

BAB IV

HASIL DAN PEMBAHASAN

4.1 Implementasi Sistem

Tahap implementasi sistem dilakukan berdasarkan rancangan yang telah dijelaskan pada BAB III. Sistem yang dikembangkan terdiri atas perangkat keras dan perangkat lunak yang saling terintegrasi untuk melakukan klasifikasi kesiapan panen tanaman selada hidroponik secara otomatis. Perangkat keras yang digunakan meliputi Raspberry Pi 4 Model B sebagai pusat pemrosesan data, webcam sebagai perangkat akuisisi citra, serta LED hijau dan LED merah sebagai indikator hasil klasifikasi. Sementara itu, perangkat lunak dikembangkan menggunakan bahasa pemrograman Python dengan dukungan library OpenCV, NumPy, Pandas, dan Scikit-Learn.

Pada proses operasional, webcam mengambil citra tanaman selada hidroponik yang kemudian diproses untuk memperoleh nilai Hue (H), Saturation (S), dan Value (V). Nilai tersebut dikombinasikan dengan parameter panjang daun, lebar daun, dan masa tanam untuk selanjutnya diproses menggunakan algoritma K-Nearest Neighbor (KNN). Hasil klasifikasi ditampilkan melalui LED indikator, di mana LED hijau menunjukkan kondisi siap panen dan LED merah menunjukkan kondisi belum siap panen. Hasil implementasi menunjukkan bahwa seluruh komponen sistem dapat bekerja secara terintegrasi sehingga mampu menjalankan proses klasifikasi sesuai dengan rancangan yang telah dibuat.

4.1.1 Implementasi Perangkat Keras

Implementasi perangkat keras dilakukan dengan merangkai seluruh komponen menjadi sebuah prototipe sistem klasifikasi kesiapan panen tanaman selada hidroponik berbasis Raspberry Pi 4. Komponen yang digunakan meliputi Raspberry Pi 4 Model B sebagai pusat pemrosesan data, webcam 1080p sebagai perangkat akuisisi citra, LED hijau dan LED merah sebagai indikator hasil klasifikasi, resistor 220 Ω sebagai pembatas arus, breadboard, kabel jumper, tripod kamera, serta casing sistem.

Raspberry Pi 4 berfungsi sebagai pengendali utama yang menjalankan program klasifikasi, menerima input citra dari webcam, melakukan ekstraksi fitur HSV, menjalankan algoritma K-Nearest Neighbor (KNN), serta mengendalikan output sistem berupa LED indikator. Webcam terhubung melalui port USB pada Raspberry Pi untuk menangkap citra tanaman selada hidroponik. Sementara itu, LED hijau dan LED merah dihubungkan ke pin GPIO Raspberry Pi melalui resistor 220 Ω sebagai pengaman rangkaian. LED hijau dihubungkan pada GPIO17 (pin 11) sebagai indikator kondisi "Siap Panen", sedangkan LED merah dihubungkan pada GPIO27 (pin 13) sebagai indikator kondisi "Belum Panen".

Berdasarkan hasil implementasi, seluruh komponen perangkat keras dapat berfungsi sesuai dengan rancangan yang telah dibuat. Raspberry Pi berhasil mendeteksi webcam dan menjalankan proses pengambilan citra, sedangkan LED indikator dapat dikendalikan melalui program Python menggunakan GPIO. Hal ini menunjukkan bahwa integrasi perangkat keras telah berjalan dengan baik. Implementasi perangkat keras sistem dapat dilihat pada Gambar 4.1.



Gambar 4. 1 Implementasi Perangkat Keras Sistem

Gambar 4.1 menunjukkan implementasi perangkat keras sistem yang telah dirangkai dan digunakan dalam penelitian. Seluruh komponen terhubung dengan Raspberry Pi 4 sebagai pusat pemrosesan data. Webcam digunakan untuk menangkap citra tanaman selada hidroponik, sedangkan LED hijau dan LED merah berfungsi sebagai indikator hasil klasifikasi yang dihasilkan oleh sistem.

4.1.2 Implementasi Perangkat Lunak

Perangkat lunak pada penelitian ini dikembangkan menggunakan bahasa pemrograman Python yang dijalankan pada sistem operasi Raspberry Pi OS. Program dirancang untuk mengintegrasikan seluruh proses klasifikasi mulai dari pengambilan citra hingga menghasilkan keputusan akhir secara otomatis. Proses diawali dengan aktivasi webcam untuk memperoleh citra tanaman selada hidroponik. Citra yang diperoleh kemudian diproses menggunakan OpenCV melalui tahap segmentasi daun dan konversi ruang warna dari RGB menjadi HSV.

Selanjutnya, sistem menghitung nilai rata-rata Hue (H), Saturation (S), dan Value (V) dari citra daun. Nilai tersebut kemudian digabungkan dengan parameter panjang daun, lebar daun, dan masa tanam sebagai input klasifikasi. Proses klasifikasi dilakukan menggunakan algoritma K-Nearest Neighbor (KNN) dengan nilai $K = 5$. Perhitungan jarak antar data dilakukan menggunakan metode Euclidean Distance untuk menentukan kelas berdasarkan kedekatan data latih.

Jika hasil klasifikasi menunjukkan kategori “Siap Panen”, maka LED hijau akan menyala. Sebaliknya, jika termasuk “Belum Siap Panen”, maka LED merah akan aktif sebagai indikator. Hasil implementasi menunjukkan bahwa perangkat lunak berjalan dengan baik tanpa error dan seluruh library dapat terintegrasi dengan Raspberry Pi secara stabil. Implementasi perangkat lunak dapat dilihat pada Gambar 4.2.

```
# 1. Upload button for the image
uploader = widgets.FileUpload(accept='image/*', multiple=False)

# 2. The three measurements the image cannot give us
panjang = widgets.FloatText(value=40.0, description='panjang_cm:')
lebar = widgets.FloatText(value=38.0, description='lebar_cm:')
masa = widgets.FloatText(value=42.0, description='masa_tanam_hari:')

predict_btn.on_click(on_predict)
display(uploader, panjang, lebar, masa, predict_btn, output)
```

Gambar 4. 2 Tampilan Program Klasifikasi pada Raspberry Pi

4.2 Tampilan Sistem

Tampilan sistem merupakan antarmuka visual dari program klasifikasi yang dijalankan pada Raspberry Pi. Tampilan ini digunakan untuk menampilkan proses pengambilan citra, nilai parameter hasil ekstraksi, serta hasil klasifikasi kesiapan panen. Informasi yang ditampilkan meliputi nilai Hue, Saturation, dan Value (HSV), panjang daun, lebar daun, masa tanam, serta hasil klasifikasi berupa kategori “Siap Panen” atau “Belum Siap Panen”.

Selain ditampilkan pada terminal, hasil klasifikasi juga direpresentasikan melalui LED indikator pada perangkat. Hal ini memberikan informasi visual yang mudah dipahami oleh pengguna. Tampilan sistem dirancang agar sederhana dan mudah digunakan sehingga pengguna tidak memerlukan keahlian khusus dalam pengoperasian sistem. Dengan demikian, proses klasifikasi dapat dipantau secara langsung dan real-time.

Tampilan sistem dapat dilihat pada Gambar 4.3.

```
new_sample_scaled = scaler.transform(new_sample)
prediction = model.predict(new_sample_scaled)
print('Prediction:', prediction[0])
```

Gambar 4. 3 Tampilan Hasil Klasifikasi Sistem

4.3 Pengujian Komponen

Berdasarkan hasil pengujian sistem secara keseluruhan, seluruh tahapan proses berhasil dijalankan tanpa mengalami kegagalan fungsi. Sistem mampu melakukan akuisisi citra menggunakan webcam, mengekstraksi fitur warna HSV, menerima data panjang daun, lebar daun, dan masa tanam, kemudian melakukan klasifikasi menggunakan algoritma K-Nearest Neighbor (KNN) serta menampilkan hasil melalui LED indikator. Keberhasilan integrasi antara perangkat keras dan perangkat lunak menunjukkan bahwa sistem yang dikembangkan telah mampu bekerja sesuai dengan tujuan penelitian. Penggunaan enam parameter klasifikasi, yaitu Hue, Saturation, Value, panjang daun, lebar daun, dan masa tanam, memungkinkan sistem melakukan penilaian kondisi tanaman secara lebih objektif dibandingkan pengamatan visual secara manual.

Selain itu, hasil pengujian menunjukkan bahwa Raspberry Pi 4 memiliki kemampuan yang memadai untuk menjalankan proses pengolahan citra dan klasifikasi secara real-time. Dengan demikian, sistem dapat digunakan sebagai alat bantu dalam menentukan kesiapan panen tanaman selada hidroponik secara lebih cepat dan konsisten.

4.3.1 Pengujian Webcam

Pengujian webcam dilakukan untuk mengetahui kemampuan perangkat dalam menangkap citra tanaman selada hidroponik yang akan digunakan sebagai masukan pada proses klasifikasi. Webcam merupakan salah satu komponen utama dalam penelitian ini karena kualitas citra yang diperoleh akan memengaruhi proses ekstraksi fitur HSV dan hasil klasifikasi yang dihasilkan. Pengujian dilakukan dengan menghubungkan webcam ke Raspberry Pi 4 melalui port USB, kemudian menjalankan program pengambilan citra menggunakan Python dan OpenCV. Beberapa skenario pengujian dilakukan untuk memastikan webcam dapat berfungsi dengan baik.

Tabel 4. 1 Pengujian Webcam

No	Parameter Pengujian	Hasil yang Diharapkan	Hasil Pengujian	Keterangan
1	Koneksi webcam ke Raspberry Pi 4	Webcam terdeteksi oleh sistem	Berhasil	Sesuai
2	Pengambilan citra	Citra dapat ditampilkan	Berhasil	Sesuai
3	Pengiriman citra ke program	Citra dapat diproses	Berhasil	Sesuai
4	Pengambilan citra berulang	Webcam tetap berfungsi normal	Berhasil	Sesuai

Berdasarkan hasil pengujian, webcam berhasil terdeteksi oleh Raspberry Pi 4 dan mampu menangkap citra tanaman selada hidroponik dengan baik. Citra

yang diperoleh dapat ditampilkan pada program dan diteruskan ke tahap pengolahan citra tanpa mengalami gangguan. Penggunaan tripod kamera membantu menjaga kestabilan posisi webcam sehingga variasi sudut pengambilan gambar dapat diminimalkan. Selain itu, jarak antara kamera dengan objek juga dapat dipertahankan tetap sehingga menghasilkan citra yang lebih konsisten.

Meskipun demikian, kondisi pencahayaan lingkungan masih menjadi faktor yang memengaruhi kualitas citra. Cahaya yang terlalu terang dapat menyebabkan pantulan pada permukaan daun, sedangkan cahaya yang terlalu redup dapat menyebabkan warna daun tampak lebih gelap. Oleh karena itu, proses pengambilan citra dilakukan pada kondisi pencahayaan yang relatif stabil agar diperoleh hasil ekstraksi fitur yang lebih akurat. Berdasarkan hasil tersebut dapat disimpulkan bahwa webcam yang digunakan telah memenuhi kebutuhan sistem sebagai perangkat akuisisi citra dan mampu mendukung proses klasifikasi kesiapan panen tanaman selada hidroponik. Keberhasilan pengujian ini menunjukkan bahwa perangkat akuisisi citra telah bekerja sesuai dengan rancangan sistem dan siap digunakan pada tahap klasifikasi menggunakan algoritma K-Nearest Neighbor (KNN).



Gambar 4. 4 Hasil Pengujian Webcam

Gambar 4.4 menunjukkan hasil pengujian webcam yang digunakan sebagai perangkat akuisisi citra pada sistem. Webcam berhasil menangkap citra tanaman selada hidroponik dengan baik dan mengirimkan data gambar ke Raspberry Pi untuk diproses lebih lanjut. Hasil pengujian menunjukkan bahwa webcam dapat berfungsi sesuai dengan kebutuhan sistem dalam proses pengambilan citra tanaman.

4.3.2 Pengujian Ekstraksi Fitur HSV

Pengujian ekstraksi fitur HSV dilakukan untuk mengetahui kemampuan sistem dalam memperoleh nilai Hue (H), Saturation (S), dan Value (V) dari citra daun selada hidroponik. Ketiga parameter tersebut digunakan sebagai representasi karakteristik warna daun yang menjadi salah satu dasar dalam menentukan kesiapan panen tanaman. Proses ekstraksi dimulai dengan mengubah citra hasil tangkapan webcam dari ruang warna RGB menjadi HSV menggunakan library OpenCV. Pemilihan ruang warna HSV dilakukan karena mampu merepresentasikan karakteristik warna secara lebih baik dibandingkan RGB, terutama dalam memisahkan informasi warna dan tingkat kecerahan.

Setelah proses konversi dilakukan, sistem menghitung nilai rata-rata Hue, Saturation, dan Value dari area daun yang telah diperoleh. Nilai Hue digunakan untuk merepresentasikan jenis warna daun, Saturation menunjukkan tingkat kejenuhan warna, sedangkan Value menunjukkan tingkat kecerahan warna pada citra. Ketiga nilai tersebut kemudian digunakan sebagai fitur masukan pada proses klasifikasi menggunakan algoritma K-Nearest Neighbor (KNN).

Gambar 4.5 menunjukkan hasil ekstraksi fitur HSV yang diperoleh dari citra tanaman selada hidroponik. Berdasarkan hasil pengujian, sistem berhasil melakukan proses konversi warna dan menghasilkan nilai HSV yang dapat digunakan sebagai parameter klasifikasi. Nilai HSV yang diperoleh menunjukkan adanya variasi karakteristik warna pada setiap sampel tanaman, sehingga dapat membantu sistem dalam membedakan kondisi tanaman yang siap panen dan belum siap panen.

Tabel 4. 2 Hasil Pengujian Ekstraksi HSV

No	Hue	Saturation	Value	Keterangan
1	4.34	6.17	15.86	Berhasil
2	6.10	6.00	16.88	Berhasil
3	4.41	6.05	15.92	Berhasil
4	7.24	5.07	16.33	Berhasil
5	6.95	5.12	16.47	Berhasil
6	4.97	6.29	16.38	Berhasil
7	3.99	6.69	15.81	Berhasil
8	8.78	4.44	19.08	Berhasil
9	7.18	5.08	17.36	Berhasil
10	4.69	5.73	16.19	Berhasil
11	4.22	5.71	16.22	Berhasil
12	4.17	5.78	16.18	Berhasil
13	4.17	5.82	16.11	Berhasil
14	8.18	6.41	16.16	Berhasil
15	7.41	4.83	18.19	Berhasil
16	7.84	5.36	18.27	Berhasil
17	9.65	4.47	19.52	Berhasil
18	7.87	5.20	17.86	Berhasil
19	7.04	4.92	17.10	Berhasil
20	6.56	5.75	16.88	Berhasil
21	8.07	4.90	18.11	Berhasil
22	9.37	3.91	19.17	Berhasil
23	5.35	6.62	16.10	Berhasil
24	4.83	6.28	15.87	Berhasil
25	8.59	4.56	18.69	Berhasil
26	7.17	4.42	17.51	Berhasil
27	7.19	4.67	17.43	Berhasil
28	7.68	5.51	17.55	Berhasil
29	8.39	4.55	18.01	Berhasil
30	10.12	4.32	19.75	Berhasil

Berdasarkan hasil pengujian, diperoleh 30 data fitur Hue, Saturation, dan Value (HSV) dari citra daun selada hidroponik. Data tersebut digunakan sebagai fitur utama dalam proses klasifikasi kesiapan panen menggunakan algoritma K-Nearest Neighbor (KNN). Hasil pengujian menunjukkan bahwa sistem mampu melakukan konversi warna RGB menjadi HSV serta memperoleh nilai rata-rata HSV dari citra daun selada hidroponik. Parameter Hue menggambarkan jenis warna daun, Saturation menunjukkan tingkat kejenuhan warna, sedangkan Value menggambarkan tingkat kecerahan objek. Penggunaan model warna HSV dipilih karena lebih mampu merepresentasikan karakteristik warna dibandingkan model RGB yang lebih sensitif terhadap perubahan intensitas cahaya.

Meskipun sistem berhasil memperoleh nilai HSV dengan baik, faktor pencahayaan dan posisi objek masih dapat memengaruhi hasil ekstraksi. Oleh karena itu, konsistensi proses akuisisi citra perlu diperhatikan agar diperoleh data yang lebih beragam. Nilai HSV yang diperoleh menunjukkan adanya variasi karakteristik warna daun pada setiap sampel tanaman. Variasi tersebut menjadi dasar bagi algoritma KNN dalam membedakan kondisi tanaman yang siap panen dan belum siap panen. Hasil pengujian ini menunjukkan bahwa proses ekstraksi fitur warna telah berjalan sesuai dengan rancangan sistem dan mampu menyediakan informasi yang dibutuhkan untuk mendukung proses klasifikasi kesiapan panen tanaman selada hidroponik.



Gambar 4. 5 Hasil Ekstraksi Fitur HSV

Gambar 4.5 menunjukkan hasil ekstraksi fitur Hue (H), Saturation (S), dan Value (V) dari citra tanaman selada hidroponik. Proses ekstraksi dilakukan menggunakan metode konversi ruang warna RGB ke HSV dengan bantuan library OpenCV. Nilai HSV yang diperoleh digunakan sebagai salah satu parameter masukan dalam proses klasifikasi kesiapan panen menggunakan algoritma K-Nearest Neighbor (KNN).

4.3.3 Pengujian Panjang Daun dan Lebar Daun

Pengujian dilakukan untuk memastikan bahwa parameter panjang daun dan lebar daun dapat digunakan sebagai salah satu indikator pertumbuhan tanaman dalam proses klasifikasi kesiapan panen. Pengukuran dilakukan secara manual menggunakan meteran pita terhadap daun yang mewakili kondisi tanaman. Panjang daun diukur dari pangkal hingga ujung daun, sedangkan lebar daun diukur pada bagian terlebar daun.

Tabel 4. 3 Hasil Pengukuran Panjang dan Lebar Daun

No	Panjang Daun (cm)	Lebar Daun (cm)	Keterangan
1	7.2	6.6	Belum Siap Panen
2	7.0	9.5	Belum Siap Panen
3	11.5	8.0	Belum Siap Panen
4	54.0	52.0	Siap Panen
5	56.0	52.0	Siap Panen

Berdasarkan hasil pengujian, parameter panjang daun dan lebar daun dapat dimasukkan ke dalam sistem sebagai data masukan klasifikasi. Ukuran daun yang semakin besar menunjukkan bahwa tanaman mengalami pertumbuhan yang baik dan mendekati masa panen. Oleh karena itu, kedua parameter tersebut digunakan sebagai pelengkap informasi warna daun untuk meningkatkan objektivitas proses klasifikasi. Meskipun pengukuran dilakukan secara manual, hasil pengukuran masih dapat digunakan sebagai parameter pendukung dalam menentukan

kesiapan panen. Namun demikian, ketelitian pengguna dalam melakukan pengukuran sangat diperlukan untuk meminimalkan kesalahan pembacaan.



Gambar 4. 6 Pengukuran Panjang dan Lebar Daun

Gambar 4.6 menunjukkan proses pengukuran panjang dan lebar daun tanaman selada hidroponik yang digunakan sebagai parameter pertumbuhan tanaman. Data panjang dan lebar daun digunakan bersama fitur HSV dan masa tanam untuk membantu sistem dalam menentukan kategori siap panen atau belum panen.

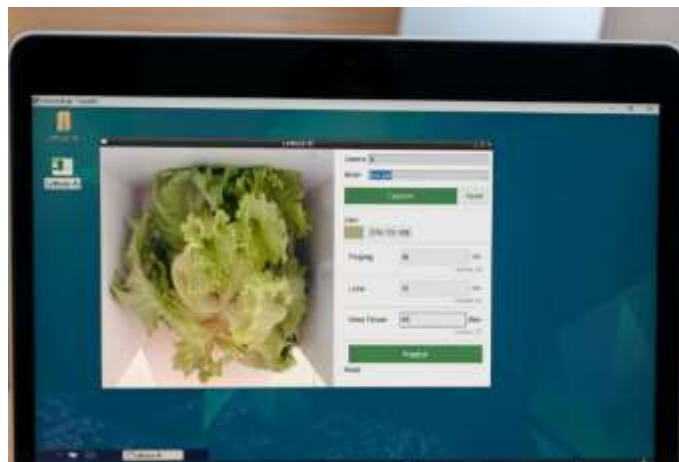
4.3.4 Pengujian Masa Tanam

Pengujian parameter masa tanam dilakukan untuk memastikan bahwa umur tanaman dapat digunakan sebagai salah satu indikator tambahan dalam menentukan kesiapan panen tanaman selada hidroponik. Masa tanam dihitung berdasarkan jumlah hari sejak proses penanaman hingga waktu pengambilan data dilakukan.

Tabel 4. 4 Hasil Pengujian Masa Tanam

No	Masa Tanam (Hari)	Keterangan
1	12	Belum Siap Panen
2	21	Belum Siap Panen
3	28	Belum Siap Panen
4	35	Siap Panen
5	40	Siap Panen

Hasil pengujian menunjukkan bahwa masa tanam dapat digunakan sebagai parameter pendukung dalam proses klasifikasi. Tanaman dengan umur yang lebih mendekati rentang masa panen cenderung memiliki peluang lebih besar untuk dikategorikan sebagai siap panen. Namun demikian, masa tanam tidak dapat dijadikan sebagai satu-satunya dasar pengambilan keputusan karena pertumbuhan tanaman dipengaruhi oleh berbagai faktor, seperti kualitas nutrisi, kondisi lingkungan, intensitas cahaya, serta teknik budidaya yang diterapkan. Oleh karena itu, parameter masa tanam dikombinasikan dengan parameter HSV dan ukuran daun untuk menghasilkan keputusan klasifikasi yang lebih objektif.



Gambar 4. 7 Data Masa Tanam Tanaman Selada

Gambar 4.7 menunjukkan data masa tanam tanaman selada hidroponik yang digunakan dalam penelitian. Parameter masa tanam digunakan sebagai salah satu fitur masukan dalam proses klasifikasi karena berkaitan dengan tingkat pertumbuhan dan kesiapan panen tanaman.

4.3.5 Pengujian Algoritma K-Nearest Neighbor (KNN)

Pengujian algoritma K-Nearest Neighbor (KNN) dilakukan untuk mengetahui kemampuan algoritma dalam mengklasifikasikan kesiapan panen tanaman selada hidroponik berdasarkan parameter yang telah ditentukan. Algoritma KNN dipilih karena memiliki konsep kerja yang sederhana, mudah diimplementasikan, serta mampu memberikan hasil klasifikasi yang baik pada data dengan jumlah parameter yang tidak terlalu kompleks.

Pada penelitian ini, proses klasifikasi dilakukan menggunakan enam parameter, yaitu Hue (H), Saturation (S), Value (V), panjang daun, lebar daun, dan masa tanam. Keenam parameter tersebut digunakan sebagai data masukan untuk menentukan kedekatan antara data uji dengan data latih menggunakan perhitungan jarak Euclidean Distance. Dataset penelitian terdiri atas 250 data yang diperoleh dari hasil pengamatan tanaman selada hidroponik. Dataset tersebut kemudian dibagi menggunakan metode hold-out dengan perbandingan 80:20 sehingga diperoleh 200 data latih dan 50 data uji. Nilai K yang digunakan dalam penelitian ini adalah $K = 5$, yang berarti sistem akan mempertimbangkan lima tetangga terdekat dalam menentukan hasil klasifikasi.

Tabel 4. 5 Pembagian Dataset Penelitian

No	Jenis Data	Jumlah Data	Presentase
1	Data Latih	200	80%
2	Data Uji	50	20%
3	Total Dataset	250	100%

Proses pengujian dilakukan dengan memasukkan data uji ke dalam sistem. Selanjutnya, sistem menghitung jarak antara data uji dengan seluruh data latih menggunakan Euclidean Distance. Lima data latih yang memiliki jarak terdekat terhadap data uji akan digunakan untuk menentukan kelas berdasarkan jumlah mayoritas. Data dengan jarak terkecil dianggap memiliki tingkat kemiripan tertinggi terhadap data uji. Selanjutnya, sistem menentukan hasil klasifikasi berdasarkan kelas mayoritas dari lima tetangga terdekat tersebut.

Tabel 4. 6 Hasil Klasifikasi KNN

No	Aktual	Prediksi Sistem	Keterangan
1	Belum Siap Panen	Belum Siap Panen	Sesuai
2	Belum Siap Panen	Belum Siap Panen	Sesuai
3	Siap Panen	Siap Panen	Sesuai
4	Siap Panen	Siap Panen	Sesuai
5	Siap Panen	Siap Panen	Tidak Sesuai

Berdasarkan hasil pengujian, algoritma KNN mampu mengklasifikasikan sebagian besar data uji sesuai dengan kondisi aktual tanaman. Hal ini menunjukkan bahwa kombinasi parameter warna daun, ukuran daun, dan masa tanam dapat digunakan sebagai dasar dalam menentukan kesiapan panen tanaman selada hidroponik.

Penggunaan nilai $K = 5$ dinilai cukup baik karena mampu mengurangi pengaruh data pencilan (outlier) serta menghasilkan keputusan yang lebih stabil dibandingkan penggunaan nilai K yang terlalu kecil. Namun demikian, performa algoritma KNN tetap dipengaruhi oleh kualitas dataset, distribusi data, serta keberagaman karakteristik tanaman yang digunakan selama proses pelatihan. Secara keseluruhan, hasil pengujian menunjukkan bahwa algoritma KNN dapat diterapkan sebagai metode klasifikasi kesiapan panen tanaman selada hidroponik berbasis Raspberry Pi 4.



Gambar 4. 8 Hasil Pengujian Algoritma KNN

Gambar 4.8 menunjukkan hasil pengujian algoritma K-Nearest Neighbor (KNN) dalam mengklasifikasikan tanaman selada hidroponik ke dalam kategori siap panen dan belum panen. Hasil pengujian menunjukkan bahwa algoritma mampu mengenali pola data berdasarkan kombinasi fitur warna, ukuran daun, dan masa tanam yang digunakan pada penelitian.

4.3.6 Pengujian LED Indikator

Pengujian LED indikator dilakukan untuk memastikan bahwa keluaran sistem dapat memberikan informasi hasil klasifikasi secara visual kepada pengguna. LED digunakan sebagai media informasi sederhana yang dapat menunjukkan kondisi tanaman tanpa perlu melihat tampilan program secara langsung. Pada penelitian ini digunakan dua buah LED, yaitu LED hijau dan LED merah. LED hijau berfungsi sebagai indikator bahwa tanaman termasuk kategori siap panen, sedangkan LED merah berfungsi sebagai indikator bahwa tanaman masih berada pada kategori belum siap panen. Pengujian dilakukan dengan memberikan kondisi hasil klasifikasi yang berbeda untuk memastikan bahwa LED dapat menyala sesuai dengan perintah yang diberikan oleh Raspberry Pi melalui pin GPIO.

Tabel 4. 7 Pengujian LED Indikator

No	Hasil Klasifikasi	LED Hijau	LED Merah	Keterangan
1	Siap Panen	Menyala	Mati	Sesuai
2	Belum Siap Panen	Mati	Menyala	Sesuai

Hasil pengujian menunjukkan bahwa LED hijau berhasil menyala ketika sistem menghasilkan keputusan "Siap Panen", sedangkan LED merah menyala ketika sistem menghasilkan keputusan "Belum Siap Panen". Keberhasilan LED dalam memberikan respons sesuai hasil klasifikasi menunjukkan bahwa komunikasi antara perangkat lunak dengan perangkat keras melalui GPIO Raspberry Pi berjalan dengan baik. Selain itu, penggunaan LED juga mempermudah pengguna dalam mengetahui hasil klasifikasi secara cepat tanpa harus memahami proses komputasi yang dilakukan oleh sistem.

Penggunaan LED sebagai media keluaran memberikan informasi visual yang sederhana dan mudah dipahami oleh pengguna. Respon LED yang muncul secara otomatis setelah proses klasifikasi selesai menunjukkan bahwa sistem mampu mengolah data masukan dan menghasilkan keluaran sesuai dengan kondisi tanaman yang terdeteksi. Kecepatan respon LED juga menunjukkan

bahwa proses komunikasi antara program Python dan pin GPIO Raspberry Pi berlangsung dengan baik tanpa mengalami keterlambatan yang berarti. Hal ini membuktikan bahwa mekanisme pengendalian output pada Raspberry Pi telah berjalan sesuai dengan rancangan sistem yang dibuat. Selain berfungsi sebagai indikator hasil klasifikasi, LED juga membantu pengguna memperoleh informasi kondisi tanaman secara langsung tanpa perlu melihat tampilan program pada monitor.

Dengan demikian, LED indikator dapat berfungsi sesuai dengan rancangan sebagai media keluaran sistem untuk menyampaikan hasil klasifikasi kesiapan panen tanaman selada hidroponik. Keberhasilan pengujian ini menunjukkan bahwa seluruh proses, mulai dari klasifikasi hingga pemberian indikator visual, telah berjalan secara terintegrasi. Untuk memperjelas hasil pengujian, kondisi LED saat menunjukkan kategori "Siap Panen" dan "Belum Siap Panen" ditampilkan pada Gambar 4.9 dan Gambar 4.10.



Gambar 4. 9 LED Hijau Menyala sebagai Indikator Siap Panen

Gambar 4.9 menunjukkan kondisi LED hijau yang menyala sebagai indikator bahwa tanaman selada hidroponik diklasifikasikan dalam kategori siap panen oleh sistem. LED hijau diaktifkan secara otomatis melalui GPIO Raspberry Pi setelah proses klasifikasi selesai dilakukan. Kondisi ini menunjukkan bahwa tanaman telah memenuhi kriteria yang digunakan dalam proses klasifikasi.



Gambar 4. 10 LED Merah Menyala sebagai Indikator Belum Siap Panen

Gambar 4.10 menunjukkan kondisi LED merah yang menyala sebagai indikator bahwa tanaman selada hidroponik diklasifikasikan dalam kategori belum siap panen. LED merah diaktifkan oleh Raspberry Pi sebagai keluaran sistem berdasarkan hasil klasifikasi yang diperoleh dari algoritma KNN. Kondisi ini menunjukkan bahwa tanaman masih memerlukan waktu pertumbuhan lebih lanjut sebelum mencapai kondisi siap panen.

4.3.7 Pengujian Sistem Secara Keseluruhan

Pengujian sistem secara keseluruhan dilakukan untuk mengevaluasi kemampuan seluruh komponen dalam bekerja secara terintegrasi sesuai dengan alur kerja yang telah dirancang. Pengujian ini merupakan tahap akhir untuk memastikan bahwa sistem mampu menjalankan fungsi utamanya dalam menentukan kesiapan panen tanaman selada hidroponik secara otomatis.

Proses pengujian dimulai dengan pengambilan citra tanaman menggunakan webcam. Citra yang diperoleh kemudian diproses menggunakan OpenCV untuk memperoleh nilai Hue, Saturation, dan Value. Selanjutnya, parameter panjang daun, lebar daun, dan masa tanam dimasukkan sebagai data pendukung dalam proses klasifikasi. Data tersebut kemudian diproses menggunakan algoritma K-Nearest Neighbor (KNN) untuk menentukan kategori kesiapan panen tanaman. Hasil klasifikasi yang diperoleh selanjutnya dikirimkan

ke Raspberry Pi untuk mengendalikan LED indikator sesuai dengan keputusan sistem. Seluruh tahapan tersebut berlangsung secara berurutan dan saling terhubung sehingga sistem dapat bekerja sebagai satu kesatuan. Pengujian ini juga memastikan bahwa tidak terjadi kesalahan pada proses perpindahan data antar komponen selama sistem dijalankan. Hasil yang diperoleh menunjukkan bahwa setiap tahapan proses dapat berjalan sesuai dengan fungsi yang telah dirancang.

Tabel 4. 8 Pengujian Sistem Secara Keseluruhan

No	Tahapan Sistem	Hasil Pengujian	Keterangan
1	Akuisisi citra menggunakan webcam	Berhasil	Sesuai
2	Ekstraksi fitur HSV	Berhasil	Sesuai
3	Input panjang dan lebar daun	Berhasil	Sesuai
4	Input masa tanam	Berhasil	Sesuai
5	Proses klasifikasi KNN	Berhasil	Sesuai
6	Aktivasi LED indikator	Berhasil	Sesuai

Berdasarkan hasil pengujian pada Tabel 4.8, seluruh komponen sistem berhasil menjalankan fungsi masing-masing sesuai dengan rancangan yang telah dibuat. Setiap tahapan proses, mulai dari akuisisi citra hingga aktivasi LED indikator, dapat berjalan dengan baik tanpa mengalami kegagalan fungsi. Tidak ditemukan kegagalan fungsi pada tahapan utama sistem selama proses pengujian dilakukan. Hal ini menunjukkan bahwa integrasi antara perangkat keras dan perangkat lunak telah berjalan dengan baik. Seluruh proses pada sistem dapat berlangsung secara berurutan sesuai dengan alur kerja yang telah dirancang.

Kombinasi enam parameter yang digunakan dalam penelitian ini menjadikan proses klasifikasi lebih objektif karena keputusan tidak hanya didasarkan pada satu karakteristik tanaman saja. Parameter warna daun memberikan informasi mengenai kondisi fisiologis tanaman, sedangkan panjang daun, lebar daun, dan masa tanam menggambarkan tingkat pertumbuhan tanaman.

Penggunaan seluruh parameter tersebut memberikan informasi yang lebih lengkap mengenai kondisi tanaman sehingga hasil klasifikasi menjadi lebih baik.

Hasil pengujian menunjukkan bahwa sistem yang dikembangkan telah mampu menjalankan tujuan penelitian, yaitu membantu menentukan kesiapan panen tanaman selada hidroponik secara otomatis dan lebih terukur dibandingkan pengamatan visual secara manual. Secara keseluruhan, sistem mampu bekerja secara konsisten selama proses pengujian berlangsung. Keberhasilan pengujian ini menunjukkan bahwa sistem telah memenuhi fungsi utama yang diharapkan dalam penelitian. Dokumentasi hasil pengujian sistem secara keseluruhan dapat dilihat pada Gambar 4.11.



Gambar 4. 11 Pengujian Sistem Secara Keseluruhan

Gambar 4.11 menunjukkan proses pengujian sistem secara keseluruhan yang melibatkan seluruh komponen perangkat keras dan perangkat lunak. Proses dimulai dari pengambilan citra tanaman menggunakan webcam, dilanjutkan dengan ekstraksi fitur HSV, pengolahan data menggunakan algoritma K-Nearest Neighbor (KNN), hingga menghasilkan keluaran berupa LED indikator yang menunjukkan kategori siap panen atau belum siap panen. Hasil pengujian menunjukkan bahwa seluruh tahapan sistem dapat berjalan secara terintegrasi sesuai dengan rancangan yang telah dibuat. Seluruh proses berlangsung secara otomatis tanpa mengalami kendala pada setiap tahapan. Hal ini menunjukkan bahwa sistem telah bekerja sesuai dengan fungsi yang dirancang.

4.4 Pengujian Akurasi Klasifikasi

Pengujian akurasi klasifikasi dilakukan untuk mengetahui tingkat ketepatan algoritma K-Nearest Neighbor (KNN) dalam menentukan kesiapan panen tanaman selada hidroponik berdasarkan parameter yang digunakan pada penelitian ini. Pengujian dilakukan dengan membandingkan hasil prediksi sistem terhadap kondisi aktual tanaman sehingga dapat diketahui kemampuan sistem dalam melakukan klasifikasi secara benar.

Pada penelitian ini, dataset yang digunakan berjumlah 250 data yang terdiri atas parameter Hue (H), Saturation (S), Value (V), panjang daun, lebar daun, masa tanam, serta label kelas berupa kategori "Siap Panen" dan "Belum Siap Panen". Dataset tersebut dibagi menggunakan metode hold-out dengan perbandingan 80:20 sehingga diperoleh 200 data latih dan 50 data uji. Sebanyak 200 data latih digunakan untuk membentuk model klasifikasi menggunakan algoritma K-Nearest Neighbor (KNN), sedangkan 50 data uji digunakan untuk mengevaluasi kemampuan sistem dalam melakukan prediksi terhadap data yang belum pernah dikenali sebelumnya.

Tabel 4.9 menunjukkan sebagian contoh hasil pengujian dari 50 data uji yang digunakan dalam proses evaluasi sistem. Untuk menjaga kerapihan penyajian laporan, hanya 5 sampel data uji yang ditampilkan pada BAB IV, sedangkan hasil pengujian lengkap sebanyak 50 data dapat dilihat pada bagian lampiran. Data yang ditampilkan mewakili proses pengujian yang telah dilakukan. Hasil lengkap pengujian tetap digunakan sebagai dasar perhitungan akurasi sistem.

Tabel 4. 9 Hasil Pengujian Data Uji

No	Aktual	Prediksi Sistem	Keterangan
1	Belum Siap Panen	Belum Siap Panen	Sesuai
2	Belum Siap Panen	Belum Siap Panen	Sesuai
3	Siap Panen	Siap Panen	Sesuai
4	Siap Panen	Siap Panen	Sesuai
5	Siap Panen	Siap Panen	Sesuai

Tabel 4.9 hanya menampilkan sebagian contoh hasil pengujian dari 50 data uji yang digunakan dalam penelitian. Hasil pengujian lengkap dapat dilihat pada bagian lampiran. Berdasarkan seluruh proses pengujian terhadap data uji tersebut, dilakukan rekapitulasi jumlah prediksi yang sesuai dan tidak sesuai dengan kondisi aktual tanaman sebagai dasar perhitungan akurasi sistem. Rekapitulasi tersebut memberikan gambaran mengenai kinerja sistem dalam melakukan klasifikasi. Nilai yang diperoleh selanjutnya digunakan untuk menghitung tingkat akurasi sistem secara keseluruhan. asil rekapitulasi tersebut disajikan pada Tabel 4.10 sehingga memudahkan proses analisis terhadap tingkat keberhasilan sistem dalam melakukan klasifikasi.



Gambar 4. 12 Akurasi Klasifikasi Sistem

Gambar 4.12 menunjukkan visualisasi confusion matrix yang digunakan untuk mengevaluasi performa algoritma K-Nearest Neighbor (KNN). Confusion matrix menampilkan jumlah data yang berhasil diklasifikasikan dengan benar maupun yang mengalami kesalahan klasifikasi sehingga dapat digunakan untuk menghitung tingkat akurasi sistem. Melalui visualisasi tersebut, proses evaluasi hasil klasifikasi menjadi lebih mudah dipahami karena memperlihatkan hubungan antara data aktual dan hasil prediksi sistem. Selain digunakan untuk menghitung akurasi, confusion matrix juga membantu mengidentifikasi jumlah prediksi yang sesuai maupun yang masih mengalami kesalahan klasifikasi.



Gambar 4. 13 Akurasi Klasifikasi Sistem

Gambar 4.13 menunjukkan tingkat akurasi klasifikasi yang diperoleh sistem berdasarkan hasil pengujian terhadap data uji. Hasil pengujian menunjukkan bahwa sistem mampu mencapai akurasi sebesar 94%, yang menunjukkan bahwa metode K-Nearest Neighbor (KNN) cukup efektif dalam mengklasifikasikan kesiapan panen tanaman selada hidroponik. Nilai akurasi tersebut menunjukkan bahwa sebagian besar data uji berhasil diklasifikasikan sesuai dengan kondisi aktual tanaman. Hasil tersebut juga menunjukkan bahwa kombinasi parameter yang digunakan mampu memberikan hasil klasifikasi yang cukup baik pada data pengujian.

Tabel 4. 10 Rekapitulasi Hasil Kasifikasi

No	Keterangan	Jumlah
1	Total Data Uji	50
2	Prediksi Benar	47
3	Prediksi Salah	3
4	Akurasi	94%

Nilai akurasi sistem dihitung menggunakan persamaan sebagai berikut:

$$Akurasi = \frac{Jumlah\ Prediksi\ Benar}{Total\ Data\ Uji} \times 100\%$$

Keterangan:

- Akurasi = tingkat ketepatan sistem dalam melakukan klasifikasi (%)
- Jumlah prediksi benar = jumlah data uji yang berhasil diklasifikasikan sesuai dengan kondisi aktual tanaman
- Total data uji = seluruh data yang digunakan pada proses pengujian.

Berdasarkan hasil pengujian diperoleh 47 data yang berhasil diprediksi dengan benar dan 3 data mengalami kesalahan klasifikasi dari total 50 data uji. Oleh karena itu, nilai akurasi sistem dapat dihitung sebagai berikut:

$$Akurasi = \frac{47}{50} \times 100\% = 94\%$$

Hasil pengujian akurasi menunjukkan bahwa algoritma K-Nearest Neighbor (KNN) memiliki kemampuan yang baik dalam mengklasifikasikan kesiapan panen tanaman selada hidroponik berdasarkan kombinasi parameter warna daun, ukuran daun, dan masa tanam. Meskipun demikian, masih terdapat kemungkinan terjadinya kesalahan klasifikasi pada beberapa data uji. Hal tersebut dapat dipengaruhi oleh beberapa faktor, antara lain kondisi pencahayaan saat proses pengambilan citra, kemiripan karakteristik antara tanaman yang mendekati batas kategori siap panen dan belum siap panen, ketidakkonsistenan dalam proses pengukuran panjang dan lebar daun secara manual, serta keterbatasan jumlah dataset yang digunakan pada penelitian ini.

Secara keseluruhan, hasil pengujian akurasi menunjukkan bahwa sistem yang dikembangkan mampu membantu proses penentuan kesiapan panen tanaman selada hidroponik secara lebih objektif dibandingkan pengamatan visual secara manual. Sistem ini berpotensi untuk diterapkan sebagai sistem pendukung pengambilan keputusan bagi petani hidroponik dalam menentukan waktu

Untuk memberikan gambaran yang lebih rinci mengenai performa sistem, hasil klasifikasi dapat direpresentasikan dalam bentuk confusion matrix sebagaimana ditunjukkan pada Tabel 4.11.

Tabel 4. 11 Confusion Matrix

No	Kondisi Aktual	Prediksi Siap Panen	Prediksi Belum Siap Panen
1	Siap Panen	24	1
2	Belum Siap Panen	2	23

Berdasarkan hasil pengujian yang telah dilakukan, sistem klasifikasi kesiapan panen tanaman selada hidroponik menggunakan algoritma K-Nearest Neighbor (KNN) mampu mencapai tingkat akurasi sebesar 94%. Hasil tersebut menunjukkan bahwa kombinasi parameter warna daun (HSV), panjang daun, lebar daun, dan masa tanam mampu memberikan informasi yang cukup untuk membedakan kategori siap panen dan belum siap panen. Dengan tingkat akurasi yang diperoleh, sistem yang dikembangkan dinilai cukup efektif untuk membantu proses penentuan kesiapan panen secara lebih objektif dan konsisten dibandingkan pengamatan visual secara manual.

4.5 Analisis Hasil Klasifikasi Sistem

Pada penelitian ini, sistem klasifikasi kesiapan panen selada hidroponik dibangun menggunakan metode K-Nearest Neighbors (KNN) berbasis Raspberry Pi dan webcam. Sistem melakukan klasifikasi terhadap dua kelas, yaitu Panen dan Belum Panen. Proses klasifikasi dilakukan dengan memanfaatkan enam variabel fitur yang terdiri dari fitur warna, ukuran tanaman, dan umur tanaman.

Fitur warna berupa `hue_mean`, `saturation_mean`, dan `value_mean` diperoleh secara otomatis melalui proses capture citra menggunakan webcam yang terhubung dengan Raspberry Pi. Setelah gambar berhasil diambil, sistem melakukan ekstraksi fitur warna menggunakan metode HSV (Hue, Saturation, Value). Sementara itu, variabel `panjang_cm`, `lebar_cm`, dan `masa_tanam_hari` dimasukkan secara manual oleh pengguna melalui antarmuka sistem. Keenam variabel tersebut digunakan sebagai data masukan sistem. Seluruh data diproses menggunakan algoritma KNN. Hasilnya digunakan untuk menentukan kategori tanaman.

Tabel 4. 12 Variabel yang Digunakan pada Sistem Klasifikasi

No	Variabel	Jenis Variabel	Cara Perolehan Data
1	Hue_mean	Fitur warna	Otomatis dari webcam
2	Saturation_mean	Fitur warna	Otomatis dari webcam
3	Value_mean	Fitur warna	Otomatis dari webcam
4	Panjang_cm	Ukuran tanaman	Input manual
5	Lebar_cm	Ukuran tanaman	Input manual
6	Masa_tanam_hari	Umur tanaman	Input manual

Berdasarkan hasil pengujian menggunakan metode KNN dengan nilai $k=5$, sistem memperoleh tingkat akurasi sebesar 94%. Hasil tersebut menunjukkan bahwa model mampu mengenali pola data dengan baik dan melakukan klasifikasi secara tepat pada data pengujian.

Selain pengujian akurasi, dilakukan pula analisis terhadap pengaruh masing-masing variabel terhadap hasil klasifikasi. Berdasarkan hasil pengujian, seluruh parameter yang digunakan memberikan kontribusi terhadap proses klasifikasi. Parameter warna daun yang direpresentasikan oleh nilai Hue, Saturation, dan Value digunakan untuk menggambarkan kondisi visual tanaman, sedangkan panjang daun, lebar daun, dan masa tanam digunakan untuk merepresentasikan tingkat pertumbuhan tanaman. Karena penelitian ini menggunakan algoritma K-Nearest Neighbor (KNN), pengaruh masing-masing variabel tidak diukur secara terpisah, melainkan digunakan secara bersama-sama dalam proses perhitungan jarak dan penentuan kelas.

Kombinasi seluruh parameter tersebut menghasilkan proses klasifikasi yang lebih objektif karena keputusan tidak hanya ditentukan oleh satu parameter saja. Setiap parameter saling melengkapi dalam menggambarkan kondisi tanaman pada saat pengujian. Dengan demikian, sistem dapat menentukan kategori siap panen atau belum siap panen berdasarkan kemiripan karakteristik data uji terhadap data latih yang dimiliki. Hal ini menunjukkan bahwa kombinasi seluruh parameter mampu mendukung proses klasifikasi secara lebih baik.

Tabel 4. 13 Data dengan Ukuran Sama tetapi Label Berbeda

No	No Data	Panjang_cm	Lebar_cm	Masa_Tanam_Hari	Label
1	73	22	23	28	Belum Panen
2	134	22	23	30	Panen
3	85	29	27	30	Belum Panen
4	151	29	27	30	Panen
5	95	24	27	28	Belum Panen
6	139	24	27	30	Panen

Berdasarkan Tabel 4.13 dapat diketahui bahwa terdapat beberapa data yang memiliki ukuran tanaman yang relatif sama, namun menghasilkan label yang berbeda. Pada contoh tersebut, data dengan panjang dan lebar tanaman yang sama dapat berada pada kategori yang berbeda karena memiliki karakteristik lain yang tidak sepenuhnya sama, salah satunya adalah perbedaan masa tanam. Kondisi tersebut menunjukkan bahwa proses penentuan kategori panen dan belum panen tidak hanya dipengaruhi oleh ukuran tanaman, tetapi juga mempertimbangkan parameter lain yang digunakan dalam penelitian. Dengan demikian, kombinasi beberapa variabel diperlukan untuk memberikan representasi kondisi tanaman yang lebih lengkap dalam proses klasifikasi.

Selain ukuran tanaman dan masa tanam, sistem juga memanfaatkan fitur warna berupa *hue_mean*, *saturation_mean*, dan *value_mean* yang diperoleh melalui proses ekstraksi citra menggunakan metode HSV. Fitur-fitur tersebut digunakan untuk menggambarkan karakteristik visual daun dan menjadi bagian dari data masukan yang diproses oleh algoritma K-Nearest Neighbor (KNN). Analisis pada Tabel 4.13 hanya digunakan untuk menggambarkan pola data pada dataset penelitian. Seluruh variabel diproses secara bersama-sama dalam perhitungan jarak sehingga hasil klasifikasi ditentukan berdasarkan kombinasi seluruh parameter yang digunakan.

Tabel 4. 14 Analisis Karakteristik Variabel Berdasarkan Dataset

No	Variabel	Karakteristik Berdasarkan Dataset
1	Masa_tanam_hari	Paling konsisten membedakan kategori panen dan belum panen
2	Panjang_cm	Berkaitan dengan pertumbuhan fisik tanaman
3	Lebar_cm	Berkaitan dengan pertumbuhan fisik tanaman
4	Hue_mean	Merepresentasikan warna daun
5	Saturation_mean	Merepresentasikan tingkat kejenuhan warna daun
6	Value_mean	Merepresentasikan tingkat kecerahan warna daun

Berdasarkan Tabel 4.14 dapat diketahui bahwa variabel `masa_tanam_hari` menunjukkan kecenderungan yang paling konsisten dalam membedakan kategori siap panen dan belum panen pada dataset yang digunakan. Selain itu, variabel `panjang_cm` dan `lebar_cm` juga menunjukkan kecenderungan yang cukup kuat dalam membedakan kategori kesiapan panen karena berkaitan dengan pertumbuhan fisik tanaman. Sementara itu, variabel `hue_mean`, `saturation_mean`, dan `value_mean` berfungsi sebagai parameter pendukung yang merepresentasikan kondisi warna daun tanaman.

Perlu diperhatikan bahwa karakteristik variabel yang ditunjukkan pada Tabel 4.14 diperoleh berdasarkan analisis pola data pada dataset penelitian dan bukan merupakan hasil perhitungan feature importance dari algoritma K-Nearest Neighbor (KNN). Pada penelitian ini tidak dilakukan pengujian khusus seperti feature importance analysis, correlation analysis, maupun ablation test untuk mengukur pengaruh masing-masing variabel secara kuantitatif. Oleh karena itu, hasil analisis ini digunakan sebagai gambaran karakteristik dataset yang mendukung proses klasifikasi dan bukan sebagai ukuran matematis pengaruh variabel terhadap kinerja algoritma. Analisis tersebut digunakan untuk membantu menjelaskan pola data yang diperoleh selama penelitian. Dengan demikian, pembahasan tetap sesuai dengan metode KNN yang digunakan pada penelitian ini serta hasil pengujian yang telah dilakukan.

Dengan demikian, kombinasi antara fitur warna, ukuran tanaman, dan umur tanaman mampu memberikan informasi yang cukup bagi sistem untuk melakukan klasifikasi kesiapan panen selada hidroponik secara otomatis. Penggunaan beberapa parameter secara bersamaan memungkinkan algoritma K-Nearest Neighbor (KNN) menghasilkan tingkat akurasi yang baik dalam membedakan kategori siap panen dan belum panen. Hasil pengujian menunjukkan bahwa sistem mampu mencapai tingkat akurasi sebesar 94%, sehingga metode yang digunakan dinilai cukup efektif untuk membantu proses penentuan kesiapan panen tanaman selada hidroponik.

4.6 Pembahasan

Berdasarkan hasil implementasi dan pengujian yang telah dilakukan, sistem klasifikasi kesiapan panen tanaman selada hidroponik berbasis Raspberry Pi 4 dan algoritma K-Nearest Neighbor (KNN) berhasil direalisasikan sesuai dengan rancangan yang telah dibuat pada tahap perancangan sistem. Sistem yang dikembangkan terdiri atas Raspberry Pi 4 sebagai pusat pemrosesan data, webcam sebagai perangkat akuisisi citra, LED hijau dan LED merah sebagai indikator hasil klasifikasi, serta perangkat lunak berbasis Python yang menjalankan proses pengolahan citra dan klasifikasi secara otomatis. Seluruh komponen tersebut dapat terintegrasi dengan baik sehingga mampu membentuk sebuah sistem yang dapat digunakan untuk membantu menentukan kesiapan panen tanaman selada hidroponik.

Hasil implementasi menunjukkan bahwa setiap komponen perangkat keras dan perangkat lunak dapat menjalankan fungsinya sesuai dengan kebutuhan sistem. Webcam mampu mengambil citra tanaman selada hidroponik dan mengirimkannya ke Raspberry Pi untuk diproses lebih lanjut. Raspberry Pi 4 mampu menjalankan proses pengolahan citra, ekstraksi fitur, klasifikasi menggunakan algoritma KNN, serta mengendalikan LED indikator berdasarkan hasil klasifikasi yang diperoleh. Selain itu, LED hijau dan LED merah dapat memberikan informasi hasil klasifikasi secara langsung kepada pengguna sehingga kondisi tanaman dapat diketahui dengan lebih mudah tanpa harus

melakukan pengamatan visual secara terus-menerus. Seluruh komponen tersebut dapat bekerja secara terintegrasi tanpa mengalami kendala selama proses pengujian berlangsung. Integrasi antara perangkat keras dan perangkat lunak memungkinkan seluruh tahapan sistem berjalan secara berurutan sesuai dengan rancangan yang telah dibuat. Dengan demikian, sistem mampu menjalankan proses klasifikasi kesiapan panen tanaman selada hidroponik mulai dari pengambilan citra hingga menampilkan hasil klasifikasi melalui LED indikator.

Pada proses pengolahan citra, sistem menggunakan model warna HSV (Hue, Saturation, Value) untuk memperoleh karakteristik warna daun tanaman. Penggunaan model HSV dipilih karena mampu memisahkan informasi warna (Hue), tingkat kejenuhan warna (Saturation), dan tingkat kecerahan citra (Value) sehingga dapat merepresentasikan karakteristik warna daun pada proses pengolahan citra. Hasil pengujian menunjukkan bahwa sistem mampu melakukan ekstraksi nilai Hue, Saturation, dan Value dari citra tanaman yang diperoleh melalui webcam. Nilai-nilai tersebut kemudian dikombinasikan dengan parameter panjang daun, lebar daun, dan masa tanam sebagai data masukan pada proses klasifikasi. Penggunaan kombinasi enam parameter tersebut memungkinkan sistem memperoleh informasi yang lebih lengkap mengenai kondisi tanaman sehingga proses klasifikasi dapat dilakukan dengan lebih baik.

Hasil pengujian menunjukkan bahwa tanaman yang mendekati masa panen cenderung memiliki ukuran daun yang lebih besar serta masa tanam yang lebih tinggi dibandingkan tanaman yang belum siap panen. Karakteristik tersebut membentuk pola data yang dapat dimanfaatkan oleh sistem dalam proses klasifikasi. Melalui kombinasi fitur warna dan parameter pertumbuhan tanaman, sistem mampu membedakan kategori siap panen dan belum siap panen secara lebih objektif dibandingkan pengamatan visual secara manual. Selain ukuran daun dan masa tanam, nilai Hue, Saturation, dan Value (HSV) juga digunakan untuk menggambarkan karakteristik warna daun pada setiap tanaman. Kombinasi seluruh parameter tersebut menjadi dasar proses klasifikasi menggunakan algoritma K-Nearest Neighbor (KNN).

Algoritma K-Nearest Neighbor (KNN) yang digunakan pada penelitian ini bekerja dengan membandingkan data uji terhadap data latih berdasarkan tingkat kedekatan karakteristik yang dimiliki. Pada penelitian ini digunakan nilai $K = 5$ dengan perhitungan jarak menggunakan metode Euclidean Distance. Berdasarkan hasil pengujian terhadap 50 data uji, sistem berhasil memperoleh tingkat akurasi sebesar 94%. Hasil tersebut menunjukkan bahwa algoritma KNN mampu mengenali pola data yang terbentuk dari parameter Hue, Saturation, Value, panjang daun, lebar daun, dan masa tanam dengan baik. Tingkat akurasi yang diperoleh menunjukkan bahwa metode KNN dapat diterapkan secara efektif untuk membantu proses klasifikasi kesiapan panen tanaman selada hidroponik.

Meskipun demikian, masih terdapat beberapa data yang mengalami kesalahan klasifikasi. Kesalahan tersebut dapat dipengaruhi oleh kondisi pencahayaan saat proses pengambilan citra yang menyebabkan perubahan nilai HSV, kemiripan karakteristik antara tanaman yang mendekati siap panen dan tanaman yang telah siap panen, keterbatasan jumlah dataset yang digunakan dalam proses pelatihan, serta proses pengukuran panjang daun, lebar daun, dan pencatatan masa tanam yang masih dilakukan secara manual. Faktor-faktor tersebut dapat mempengaruhi kualitas data yang digunakan sehingga berdampak pada hasil klasifikasi yang diperoleh sistem.

Secara keseluruhan, hasil penelitian menunjukkan bahwa sistem yang dikembangkan telah mampu mencapai tujuan penelitian, yaitu membantu proses penentuan kesiapan panen tanaman selada hidroponik secara otomatis. Sistem mampu bekerja secara terintegrasi mulai dari pengambilan citra, ekstraksi fitur, proses klasifikasi, hingga penyampaian hasil melalui LED indikator. Dengan tingkat akurasi sebesar 94%, sistem yang dibangun berpotensi untuk diterapkan sebagai sistem pendukung dalam kegiatan budidaya hidroponik guna membantu menentukan waktu panen secara lebih tepat. Hasil tersebut menunjukkan bahwa metode K-Nearest Neighbor (KNN) mampu diterapkan dengan baik pada sistem yang dikembangkan. Selain itu, penelitian ini diharapkan dapat menjadi referensi dalam pengembangan sistem klasifikasi kesiapan panen tanaman selada hidroponik pada penelitian selanjutnya.