

BAB V

IMPLEMENTASI DAN PENGUJIAN SISTEM

5.1 HASIL IMPLEMENTASI

Berdasarkan hasil analisis kebutuhan sistem serta perancangan yang telah dijelaskan pada bab sebelumnya, pada bab ini penulis memaparkan proses implementasi sistem deteksi penyakit daun alpukat yang dikembangkan. Tahap implementasi ini bertujuan untuk merealisasikan rancangan sistem ke dalam bentuk aplikasi yang dapat digunakan secara nyata. Proses pengambilan citra dilakukan menggunakan kamera sebagai perangkat masukan, yang terhubung ke perangkat laptop melalui media USB

Citra daun alpukat yang diperoleh selanjutnya diproses menggunakan algoritma pengolahan citra digital untuk mengekstraksi karakteristik visual daun, seperti pola bercak, warna, dan tekstur permukaan daun yang menjadi indikator adanya penyakit. Sistem deteksi penyakit daun alpukat ini diimplementasikan menggunakan bahasa pemrograman *Python* dengan metode deteksi objek YOLOv8, yang dijalankan pada lingkungan pengembangan *Visual Studio Code*. Sistem yang dibangun mampu mengidentifikasi beberapa jenis penyakit pada daun alpukat, dan hasil implementasi sistem ditampilkan pada Gambar 5.1.

```

PROBLEMS 51 OUTPUT DEBUG CONSOLE TERMINAL PORTS SPELL CHECKER 51

CLASS      | CONF      | COORDINATES (x1,y1,x2,y2)
-----
DAUN_BOLONG | 58.18% | [191, 1, 625, 465]
DAUN_SEHAT  | 54.13% | [188, 2, 394, 462]
Speed: 0.8ms preprocess, 217.0ms inference, 0.8ms postprocess per image at shape (1, 3, 480, 640)

0: 480x640 1 daun_bolong, 1 daun_sehat, 241.2ms

CLASS      | CONF      | COORDINATES (x1,y1,x2,y2)
-----
DAUN_SEHAT  | 63.11% | [189, 4, 392, 467]
Speed: 1.0ms preprocess, 241.2ms inference, 1.0ms postprocess per image at shape (1, 3, 480, 640)

```

Gambar 5.1 Potongan Program YOLO



Gambar 5.2 Hasil Deteksi

Gambar pertama merupakan tampilan hasil inferensi pada terminal/console yang memuat informasi numerik dari proses deteksi. Pada bagian ini ditunjukkan nama kelas yang terdeteksi, nilai confidence (misalnya *daun_bolong* dan *daun_sehat*), serta koordinat bounding box dalam format ($x1, y1, x2, y2$). Selain itu, ditampilkan pula waktu pemrosesan yang mencakup tahap *preprocess*, *inference*, dan *postprocess*, yang menunjukkan bahwa sistem bekerja secara efisien dalam hitungan milidetik. Secara keseluruhan, kedua gambar tersebut saling melengkapi: gambar pertama memperlihatkan hasil deteksi secara visual, sedangkan gambar kedua memberikan rincian teknis performa dan akurasi deteksi model YOLOv8.

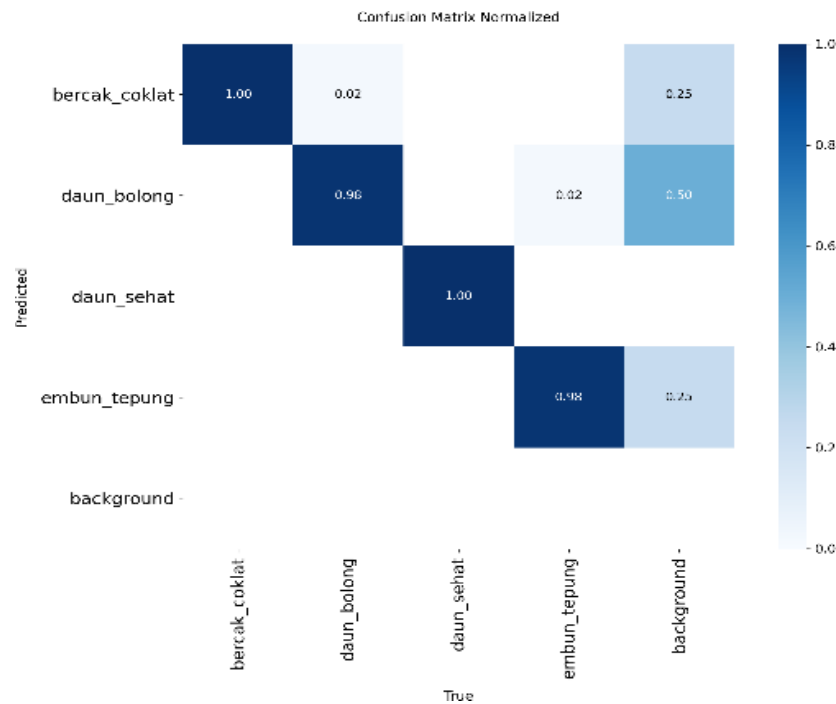
Gambar kedua menampilkan hasil deteksi objek daun menggunakan model YOLOv8 pada citra input. Terlihat sebuah daun yang berhasil dikenali dan diberi bounding box berwarna putih, disertai label kelas "*daun_sehat*" dengan nilai confidence 0,84. Nilai ini menunjukkan tingkat keyakinan model yang cukup tinggi bahwa objek yang terdeteksi benar-benar termasuk dalam kategori daun sehat. Deteksi dilakukan pada satu objek utama, dengan posisi dan ukuran bounding box yang mengikuti bentuk daun secara proporsional, menandakan bahwa model mampu mempelajari ciri visual daun dengan baik.

5.2 PENGUJIAN PERANGKAT LUNAK SISTEM

Pengujian perangkat lunak pada sistem ini dilakukan dengan memanfaatkan bahasa pemrograman *Python*, yang meliputi proses pengambilan citra penyakit pada daun alpukat menggunakan webcam, tahapan pra-pemrosesan citra, serta proses pendeteksian jenis tumbuhan herbal menggunakan model yang telah dilatih. Setiap skenario pengujian disertai dengan uraian singkat mengenai skenario yang diuji, tahapan proses yang dijalankan oleh sistem, hasil yang diharapkan, hasil aktual yang diperoleh setelah pengujian, serta kesimpulan yang diambil berdasarkan hasil tersebut.

5.2.1 *Confusion matrix*

Confusion Matrix adalah pengukuran performa untuk masalah klasifikasi *machine learning* dimana keluaran dapat berupa dua kelas atau lebih. *Confusion Matrix* adalah tabel dengan 4 kombinasi berbeda dari nilai prediksi dan nilai aktual. Ada empat istilah yang merupakan representasi hasil proses klasifikasi pada *confusion matrix* yaitu True Positif, True Negatif, False Positif, dan False Negatif.



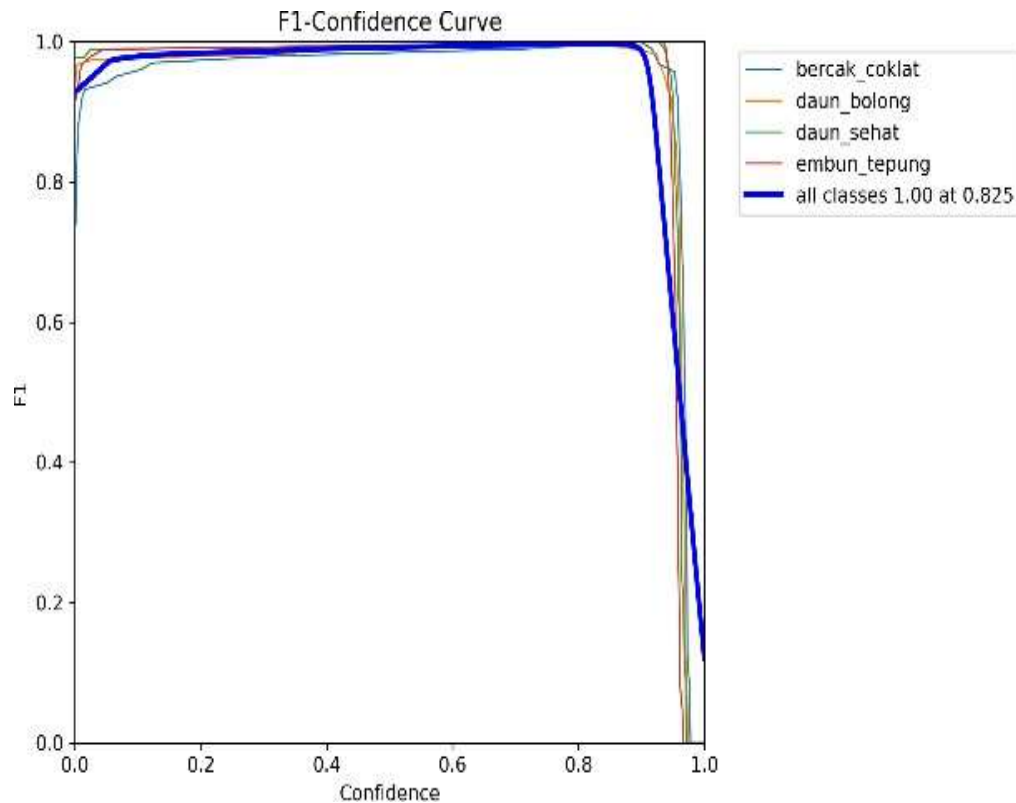
Gambar 5.3 Confusion Matrix Penyakit Daun Alpukat

Berdasarkan *Confusion matrix* tersebut, dapat ditarik beberapa informasi penting mengenai kinerja model YOLO. Gambar tersebut merupakan *Confusion Matrix Normalized* yang digunakan untuk mengevaluasi kinerja model YOLOv8 dalam mendeteksi penyakit pada daun alpukat. *Confusion matrix* ini menampilkan perbandingan antara kelas sebenarnya (*True*) dan kelas hasil prediksi model (*Predicted*) dalam bentuk matriks berwarna. Nilai pada *confusion matrix* telah dinormalisasi dalam rentang 0 hingga 1, sehingga setiap nilai merepresentasikan proporsi atau persentase prediksi terhadap masing-masing kelas.

1. Bercak coklat memiliki nilai 1.00, yang berarti seluruh data bercak coklat berhasil dideteksi dengan benar oleh model.
2. Daun bolong memiliki nilai 0.96, yang menunjukkan sebagian besar daun bolong terdeteksi dengan benar, dengan kesalahan yang sangat kecil.
3. Daun sehat memiliki nilai 1.00, menandakan model mampu membedakan daun sehat dengan sangat baik tanpa kesalahan deteksi.
4. Embun tepung memiliki nilai 0.98, yang menunjukkan tingkat keberhasilan deteksi yang sangat tinggi.

5.2.2 Kurva Kinerja Model Pada Berbagai Nilai Confidence (F1-*Confidence*)

Kurva *F1-Confidence* merupakan kurva yang digunakan untuk mengevaluasi kinerja model YOLOv8 dalam mendeteksi penyakit daun alpukat pada berbagai nilai confidence threshold. Kurva ini menunjukkan hubungan antara nilai *F1-score* dan tingkat keyakinan (*confidence*) yang digunakan oleh model dalam menentukan hasil deteksi. Kurva *F1-Confidence* sangat penting karena digunakan untuk menentukan nilai *confidence threshold* optimal, yaitu titik di mana keseimbangan antara *precision* dan *recall* berada pada kondisi terbaik.



Gambar 5.4 Kurva F1-Confidence

1. Penjelasan Sumbu Grafik
 - Sumbu Horizontal (X-Confidence), menunjukkan nilai *confidence threshold* dengan rentang 0 hingga 1. Nilai ini merepresentasikan tingkat keyakinan minimum yang harus dipenuhi oleh model agar suatu deteksi dianggap valid. Semakin tinggi nilai confidence, semakin ketat seleksi prediksi yang dilakukan oleh model.
 - Sumbu Vertikal (Y- F1-score), menunjukkan nilai F1-score, yaitu nilai harmonisasi antara *precision* dan *recall*. Nilai F1-score yang tinggi

menandakan bahwa model memiliki keseimbangan yang baik antara ketepatan deteksi dan kemampuan mendeteksi seluruh objek penyakit.

2. Penjelasan Tiap Kelas Penyakit

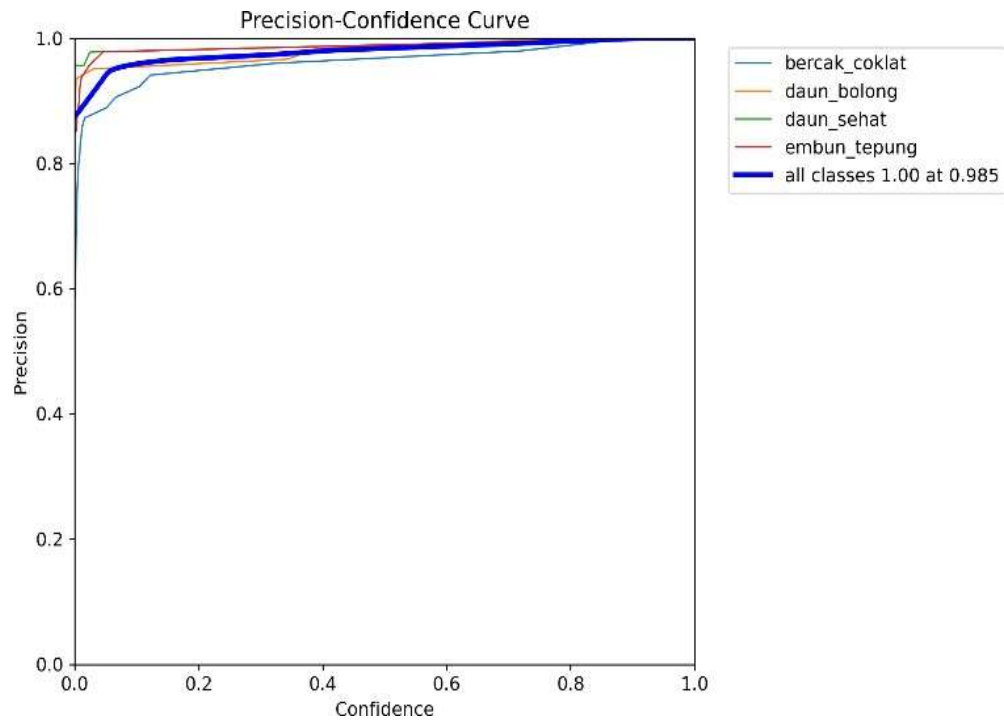
- Bercak Cokelat, Kurva F1 untuk kelas bercak coklat berada sangat dekat dengan nilai maksimum (mendekati 1.00) pada rentang confidence sekitar 0.2 hingga 0.85. Hal ini menunjukkan bahwa model YOLOv8 mampu mendeteksi penyakit bercak coklat dengan tingkat akurasi yang sangat tinggi dan stabil pada berbagai nilai *confidence*.
- Daun Bolong, Kelas daun bolong juga menunjukkan nilai F1-score yang tinggi dan relatif stabil, mendekati 1.00 pada sebagian besar rentang confidence. Ini mengindikasikan bahwa model mampu mengenali pola visual daun bolong dengan baik dan menghasilkan keseimbangan *precision* dan *recall* yang optimal.
- Daun Sehat, Kurva F1 untuk kelas daun sehat menunjukkan performa yang sangat baik dengan nilai F1-score mendekati 1.00 pada hampir seluruh rentang confidence. Hal ini menandakan bahwa model sangat efektif dalam membedakan daun sehat dari daun yang terkena penyakit.
- Embun Tepung, Kelas embun tepung juga menunjukkan nilai F1-score yang tinggi, meskipun sedikit lebih fluktuatif dibandingkan kelas lainnya. Namun, secara umum nilai F1-score tetap berada di atas 0.95, yang menunjukkan kemampuan deteksi yang sangat baik terhadap penyakit embun tepung.

3. Penjelasan garis All Classes

Garis *all classes* merupakan rata-rata nilai F1-score dari seluruh kelas penyakit daun alpukat yang diuji. Pada legenda grafik terlihat keterangan: *all classes:1.00 at 0.825*, yang artinya nilai F1-score tertinggi secara keseluruhan sebesar 1.00 diperoleh pada *confidence threshold* sekitar 0.825. Nilai ini dapat dianggap sebagai *confidence threshold* optimal, karena pada titik tersebut model mencapai keseimbangan terbaik antara precision dan recall untuk seluruh kelas penyakit.

5.2.3 Kurva Hubungan Nilai Confidence Terhadap Ketepatan Deteksi Model (*Precision-ConfidenceI*)

Kurva Hubungan Nilai *Confidence* merupakan kurva *Precision-Confidence* yang digunakan untuk mengevaluasi hubungan antara tingkat keyakinan (*confidence threshold*) dan nilai precision dari model YOLOv8 dalam mendeteksi penyakit daun alpukat. Kurva ini menunjukkan seberapa tepat model dalam memberikan prediksi benar pada berbagai tingkat *confidence* yang digunakan sebagai batas penerimaan hasil deteksi. *Precision-Confidence Curve* penting untuk mengetahui bahwa semakin tinggi *confidence threshold*, semakin kecil kemungkinan model menghasilkan prediksi salah (*false positive*), sehingga ketepatan deteksi meningkat.



Gambar 5.5 Kurva *Precision Confidence*

1. Penjelasan Sumbu Grafik
 - Sumbu horizontal (X – *Confidence*), Menunjukkan nilai *confidence threshold* dengan rentang 0 hingga 1. Nilai ini merepresentasikan tingkat keyakinan minimum yang harus dimiliki model agar suatu objek dianggap sebagai hasil deteksi yang valid.
 - Sumbu vertikal (Y – *Precision*), Menunjukkan nilai *precision*, yaitu perbandingan antara jumlah prediksi benar terhadap total prediksi yang dihasilkan oleh model. Nilai *precision* yang tinggi menandakan bahwa sebagian besar deteksi yang dilakukan oleh model adalah benar.

2. Penjelasan Tiap Kelas Penyakit

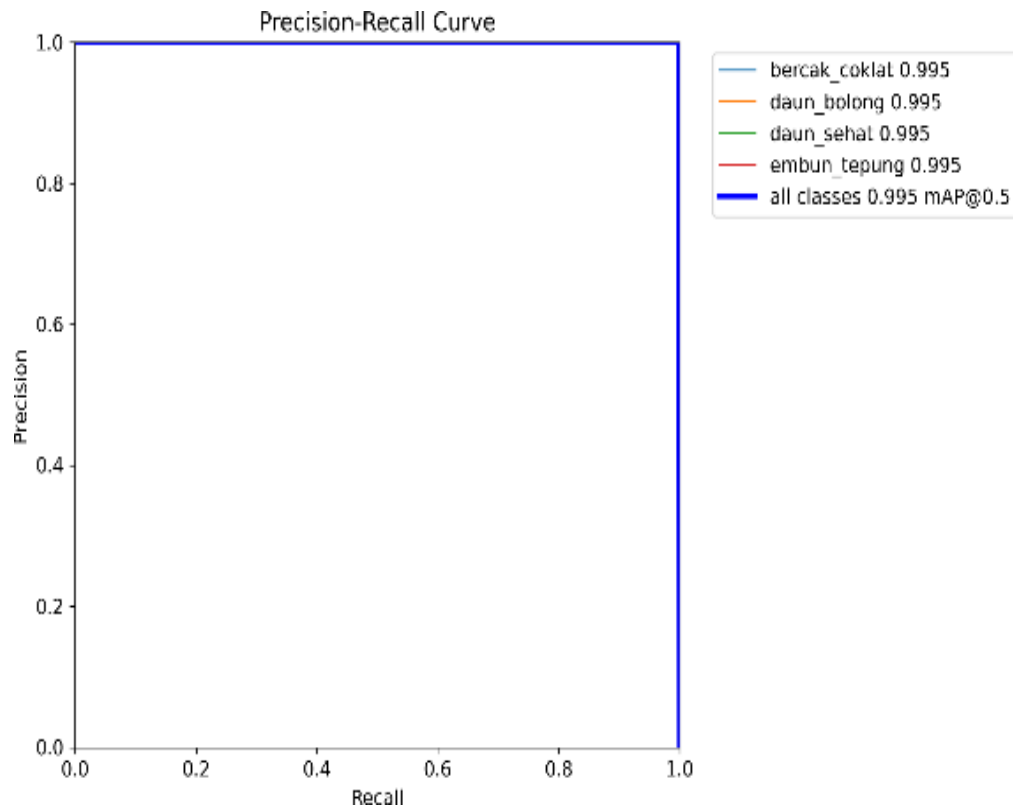
- Bercak Cokelat, Kurva *precision* untuk kelas bercak coklat menunjukkan peningkatan yang cepat dan stabil hingga mendekati nilai 1.00 pada *confidence* yang relatif rendah. Hal ini menandakan bahwa model sangat akurat dalam mendeteksi penyakit bercak coklat dan memiliki tingkat kesalahan prediksi yang sangat kecil.
- Daun Bolong, Kelas daun bolong juga menunjukkan nilai *precision* yang tinggi dan stabil pada berbagai tingkat *confidence*. Ini menunjukkan bahwa model mampu membedakan daun bolong dari kelas lain dengan tingkat ketepatan yang sangat baik.
- Daun Sehat, Kurva *precision* untuk kelas daun sehat berada sangat dekat dengan nilai maksimum sepanjang rentang *confidence*. Hal ini menunjukkan bahwa model memiliki kemampuan yang sangat baik dalam mengidentifikasi daun sehat dan jarang melakukan kesalahan prediksi pada kelas ini.
- Embun Tepung, Kelas embun tepung menunjukkan nilai *precision* yang tinggi meskipun sedikit lebih rendah pada *confidence* awal. Namun, seiring meningkatnya *confidence threshold*, *precision* meningkat hingga mendekati 1.00, yang menandakan bahwa prediksi pada kelas ini semakin akurat pada *confidence* yang lebih tinggi.

3. Penjelasan Garis *All Classes*

Garis *all classes* merupakan rata-rata nilai *precision* dari seluruh kelas penyakit daun alpukat yang diuji. Pada legenda grafik tercantum keterangan: *all classes*: 1.00 at 0.985. Artinya, nilai *precision* tertinggi secara keseluruhan sebesar 1.00 dicapai pada *confidence threshold* sekitar 0.985. Hal ini menunjukkan bahwa pada tingkat *confidence* tersebut, hampir seluruh hasil deteksi yang dihasilkan oleh model adalah prediksi yang benar tanpa kesalahan klasifikasi.

5.2.4 Kurva Keseimbangan Ketepatan dan Kemampuan Deteksi Model (*Precision-Recall*)

merupakan Kurva *Precision-Recall* (PR Curve) yang digunakan untuk mengevaluasi performa model YOLOv8 dalam mendeteksi penyakit daun alpukat. Kurva ini menggambarkan hubungan antara *precision* dan *recall* pada berbagai nilai *confidence threshold*. Kurva *Precision-Recall* sangat penting karena menunjukkan kemampuan model dalam menjaga keseimbangan antara ketepatan deteksi dan kemampuan menemukan seluruh objek penyakit. Semakin mendekati sudut kanan atas grafik, semakin baik performa model dalam melakukan deteksi.



Gambar 5.6 Kurva *Precision Recall*

1. Penjelasan Sumbu Grafik
 - Sumbu horizontal ($X - Recall$), Menunjukkan nilai *recall*, yaitu persentase objek penyakit daun alpukat yang berhasil dideteksi dengan benar oleh model dibandingkan dengan jumlah objek sebenarnya. Nilai *recall* yang tinggi menandakan bahwa model mampu mendeteksi hampir seluruh objek penyakit yang ada.
 - Sumbu vertikal ($Y - Precision$), Menunjukkan nilai *precision*, yaitu tingkat ketepatan model dalam menghasilkan prediksi benar dari seluruh hasil

deteksi yang dilakukan. *Precision* yang tinggi menunjukkan bahwa sebagian besar deteksi yang dihasilkan oleh model adalah benar.

2. Penjelasan Tiap Kelas Penyakit

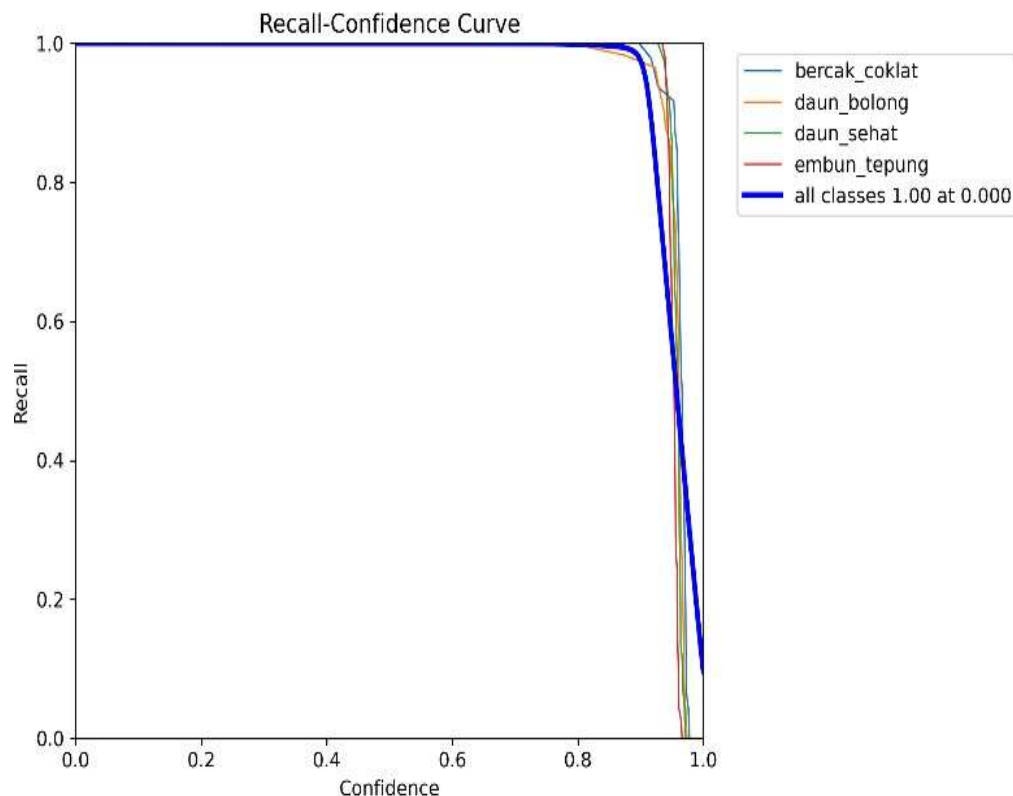
- Bercak Coklat, Kelas bercak coklat memiliki nilai *Average Precision* (AP) sebesar 0.995, yang menunjukkan bahwa model sangat akurat dalam mendeteksi penyakit bercak coklat. Kurva yang mendekati sudut kanan atas menandakan keseimbangan yang sangat baik antara *precision* dan *recall*.
- Daun Bolong, Kelas daun bolong juga memiliki nilai AP sebesar 0.995, yang menunjukkan performa deteksi yang sangat tinggi. Hal ini menandakan bahwa model mampu mengenali ciri visual daun bolong dengan tingkat kesalahan yang sangat rendah.
- Daun Sehat, Kelas daun sehat menunjukkan nilai AP sebesar 0.995, yang menandakan bahwa model dapat membedakan daun sehat dari daun yang terinfeksi penyakit dengan sangat baik dan konsisten.
- Embun Tepung, Kelas embun tepung juga memperoleh nilai AP sebesar 0.995, yang menunjukkan bahwa model memiliki kemampuan yang sangat baik dalam mendeteksi penyakit embun tepung meskipun memiliki tekstur yang cukup halus.

3. Penjelasan Garis *All Classes*

Garis *all classes* merupakan rata-rata performa *Precision-Recall* dari seluruh kelas penyakit daun alpukat. Pada grafik ditunjukkan nilai: *all classes*: 0.995 *mAP@0.5* Artinya, nilai *mean Average Precision* (mAP) pada IoU 0.5 sebesar 0.995, yang menunjukkan bahwa secara keseluruhan model YOLOv8 memiliki tingkat akurasi deteksi yang sangat tinggi dalam mendeteksi berbagai jenis penyakit daun alpukat.

5.2.5 Kurva Kemampuan Model Dalam Mendeteksi Objek (*Recall-Confidence*)

Recall-Confidence menunjukkan Kurva yang digunakan untuk mengevaluasi kinerja model YOLOv8 dalam mendeteksi penyakit daun. Kurva ini menggambarkan hubungan antara nilai *confidence threshold* dengan nilai *recall* yang dihasilkan oleh model. Kurva *Recall-Confidence* digunakan untuk melihat sejauh mana peningkatan ambang kepercayaan memengaruhi kemampuan model dalam mendeteksi seluruh objek penyakit yang ada pada citra uji. Semakin tinggi nilai *recall*, semakin banyak objek penyakit yang berhasil terdeteksi oleh model. Namun, peningkatan *confidence threshold* cenderung menyebabkan penurunan *recall* karena model menjadi lebih selektif dalam menerima hasil deteksi.



Gambar 5.7 Kurva Recall Confidence

1. Penjelasan Sumbu Grafik
 - Sumbu horizontal (X-Confidence), Menunjukkan nilai *confidence threshold*, yaitu tingkat keyakinan minimum yang harus dipenuhi agar suatu objek dianggap sebagai hasil deteksi yang valid. Nilai *confidence* berkisar antara 0 hingga 1. Semakin tinggi nilai *confidence*, semakin ketat proses seleksi deteksi yang dilakukan oleh model.
 - Sumbu vertika (Y-Recall), Menunjukkan nilai *recall*, yaitu perbandingan antara jumlah objek penyakit yang berhasil dideteksi dengan benar terhadap seluruh objek penyakit yang sebenarnya ada. Nilai *recall* yang

tinggi menandakan bahwa model mampu mendeteksi hampir seluruh objek penyakit.

2. Penjelasan Tiap Kelas Penyakit

- Bercak Coklat, Kelas penyakit bercak coklat menunjukkan nilai *recall* yang sangat tinggi pada *confidence* rendah hingga menengah. Hal ini menandakan bahwa model mampu mendeteksi sebagian besar objek bercak coklat dengan baik. Penurunan *recall* mulai terjadi ketika *confidence threshold* mendekati nilai maksimum, yang menunjukkan bahwa sebagian objek dengan tingkat keyakinan rendah tidak lagi terdeteksi. Kondisi ini masih dapat diterima karena gejala bercak coklat memiliki ciri visual yang cukup jelas dan konsisten.
- Daun Bolong, Pada kelas daun bolong, kurva *recall* mengalami penurunan yang sedikit lebih cepat dibandingkan kelas lain ketika *confidence* meningkat. Hal ini disebabkan oleh variasi bentuk dan ukuran lubang pada daun yang cukup beragam, sehingga beberapa objek dengan tingkat keyakinan lebih rendah tidak terdeteksi saat *confidence threshold* dinaikkan. Meskipun demikian, pada *confidence* rendah model tetap mampu mendeteksi hampir seluruh objek daun bolong.
- Daun Sehat, Kelas daun sehat menunjukkan nilai *recall* yang stabil dan tinggi pada *confidence* rendah. Namun, ketika *confidence threshold* meningkat, *recall* menurun karena model menjadi lebih selektif dalam membedakan daun sehat dengan daun yang memiliki gejala ringan. Hal ini menunjukkan bahwa meskipun model mampu mengenali daun sehat

dengan baik, terdapat beberapa citra yang memiliki kemiripan visual dengan daun berpenyakit ringan.

- Embun Tepung, Kelas embun tepung memperlihatkan penurunan *recall* yang relatif lebih cepat pada confidence tinggi. Hal ini disebabkan oleh karakteristik embun tepung yang memiliki tekstur halus dan warna yang tidak terlalu kontras dengan permukaan daun. Akibatnya, beberapa objek embun tepung dengan tingkat keyakinan rendah tidak terdeteksi ketika *confidence threshold* dinaikkan.

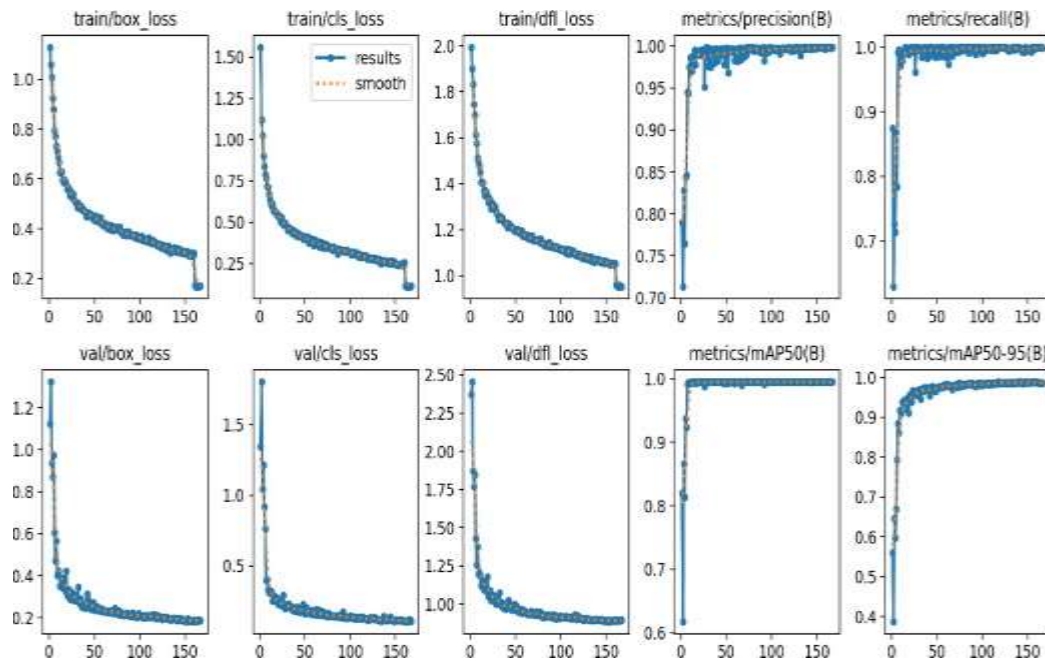
3. Penjelasan Garis All Classes

Garis *all classes* merupakan representasi rata-rata nilai *recall* dari seluruh kelas penyakit daun. Kurva ini menunjukkan bahwa secara umum model YOLOv8 memiliki nilai *recall* yang sangat tinggi pada confidence rendah, yang menandakan bahwa hampir seluruh objek penyakit berhasil terdeteksi. Namun, ketika confidence threshold mendekati 1.0, nilai recall menurun secara signifikan, yang menunjukkan adanya *trade-off* antara tingkat keyakinan deteksi dan jumlah objek yang berhasil ditemukan.

5.2.6 Training Results

Training *results* merupakan kumpulan grafik yang menampilkan perkembangan kinerja model YOLOv8 selama proses pelatihan (*training*) dari awal hingga akhir *epoch*. Grafik ini digunakan untuk mengevaluasi apakah model: berhasil belajar dari data latih, mengalami konvergensi, dan tidak mengalami

overfitting atau *underfitting*. Setiap grafik merepresentasikan parameter evaluasi berbeda yang diukur pada data *training* dan *validation*.



Gambar 5.8 Training Results

Gambar di atas merupakan visualisasi hasil pelatihan (*training results*) model YOLOv8 pada penelitian deteksi penyakit daun. Grafik ini dihasilkan secara otomatis oleh YOLOv8 selama proses *training* dan digunakan untuk mengevaluasi perkembangan kinerja model pada setiap epoch berdasarkan nilai *loss* dan metrik evaluasi yang dihitung pada data latih (*training*) dan data validasi (*validation*).

Sumbu horizontal pada seluruh grafik menunjukkan *epoch*, yaitu jumlah iterasi pelatihan model, sedangkan sumbu vertikal menunjukkan nilai *loss* atau nilai metrik evaluasi sesuai dengan jenis grafiknya. Garis berwarna biru merepresentasikan nilai hasil aktual (*results*), sedangkan garis putus-putus

berwarna oranye menunjukkan nilai yang telah dihaluskan (*smooth*) untuk memperlihatkan tren pembelajaran model secara lebih jelas.

1. *Train/Box Loss*

Grafik *train/box_loss* menunjukkan nilai kesalahan model dalam memprediksi *bounding box* pada objek penyakit daun di data latih. Penurunan nilai loss yang terjadi secara konsisten menunjukkan bahwa model semakin mampu menentukan posisi dan ukuran area daun yang terinfeksi penyakit dengan lebih akurat.

2. *Train/Cls Loss*

Grafik *train/cls_loss* menggambarkan kesalahan model dalam mengklasifikasikan jenis penyakit daun pada data latih. Nilai loss yang terus menurun menandakan bahwa model semakin baik dalam membedakan kelas penyakit daun, seperti daun sehat dan berbagai jenis penyakit daun yang diuji dalam penelitian.

3. *Train/DFL Loss*

Grafik *train/df_l_loss* (*Distribution Focal Loss*) menunjukkan kualitas prediksi distribusi *bounding box* pada data latih. Penurunan nilai DFL menandakan bahwa model semakin presisi dalam mempelajari distribusi lokasi dan batas area penyakit pada daun.

4. *Metrics/Precision (B)*

Grafik *metrics/precision (B)* menunjukkan nilai *precision* pada data validasi, yaitu tingkat ketepatan model dalam mendeteksi penyakit daun.

Nilai *precision* yang meningkat dan stabil menandakan bahwa sebagian besar hasil deteksi yang dihasilkan oleh model merupakan deteksi yang benar, sehingga tingkat kesalahan prediksi relatif rendah.

5. *Metrics/Recall (B)*

Grafik *metrics/recall (B)* menunjukkan kemampuan model dalam mendeteksi seluruh objek penyakit daun yang terdapat pada data validasi. Nilai *recall* yang tinggi menunjukkan bahwa sebagian besar area daun yang terinfeksi penyakit berhasil terdeteksi oleh model.

6. *Val/Box Loss*

Grafik *val/box_loss* menunjukkan kesalahan prediksi *bounding box* pada data validasi. Penurunan dan kestabilan nilai *loss* menandakan bahwa model tidak hanya belajar dengan baik pada data latih, tetapi juga mampu melakukan generalisasi yang baik pada data baru.

7. *Val/Cls Loss*

Grafik *val/cls_loss* menggambarkan kesalahan klasifikasi jenis penyakit daun pada data validasi. Penurunan nilai *loss* menunjukkan bahwa model mampu mengenali dan mengklasifikasikan penyakit daun secara konsisten pada data yang tidak digunakan saat pelatihan.

8. *Val/DFL Loss*

Grafik *val/dfl_loss* menunjukkan kualitas prediksi distribusi *bounding box* pada data validasi. Pola grafik yang stabil menandakan bahwa model tidak mengalami *overfitting* yang signifikan dalam mempelajari distribusi objek penyakit daun.

9. Metrics/mAP@0.5 (B)

Grafik *metrics/mAP@0.5 (B)* menunjukkan nilai *mean Average Precision* pada ambang *Intersection over Union (IoU)* sebesar 0,5. Nilai mAP@0.5 yang meningkat hingga mendekati nilai maksimum menunjukkan bahwa model memiliki performa deteksi yang sangat baik dalam mengenali penyakit daun.

10. Metrics/mAP@0.5:0.95 (B)

Grafik *metrics/mAP@0.5:0.95 (B)* menunjukkan nilai evaluasi yang lebih ketat karena menghitung rata-rata mAP pada berbagai nilai IoU, yaitu dari 0,5 hingga 0,95. Nilai yang terus meningkat menandakan bahwa model memiliki ketahanan dan konsistensi yang baik dalam mendeteksi penyakit daun dengan berbagai tingkat ketelitian.

Secara keseluruhan, grafik *training results* menunjukkan bahwa model YOLOv8 mengalami proses pembelajaran yang baik dan stabil. Hal ini ditandai dengan penurunan nilai loss pada data latih dan data validasi serta peningkatan nilai *precision*, *recall*, dan mAP. Dengan demikian, dapat disimpulkan bahwa model YOLOv8 yang digunakan dalam penelitian deteksi penyakit daun memiliki performa yang baik, tidak mengalami *overfitting* yang signifikan, dan layak digunakan untuk tahap pengujian serta implementasi sistem.

5.2.7 Hasil Deteksi Model Pada Data Validasi (Val_batch0_pred)

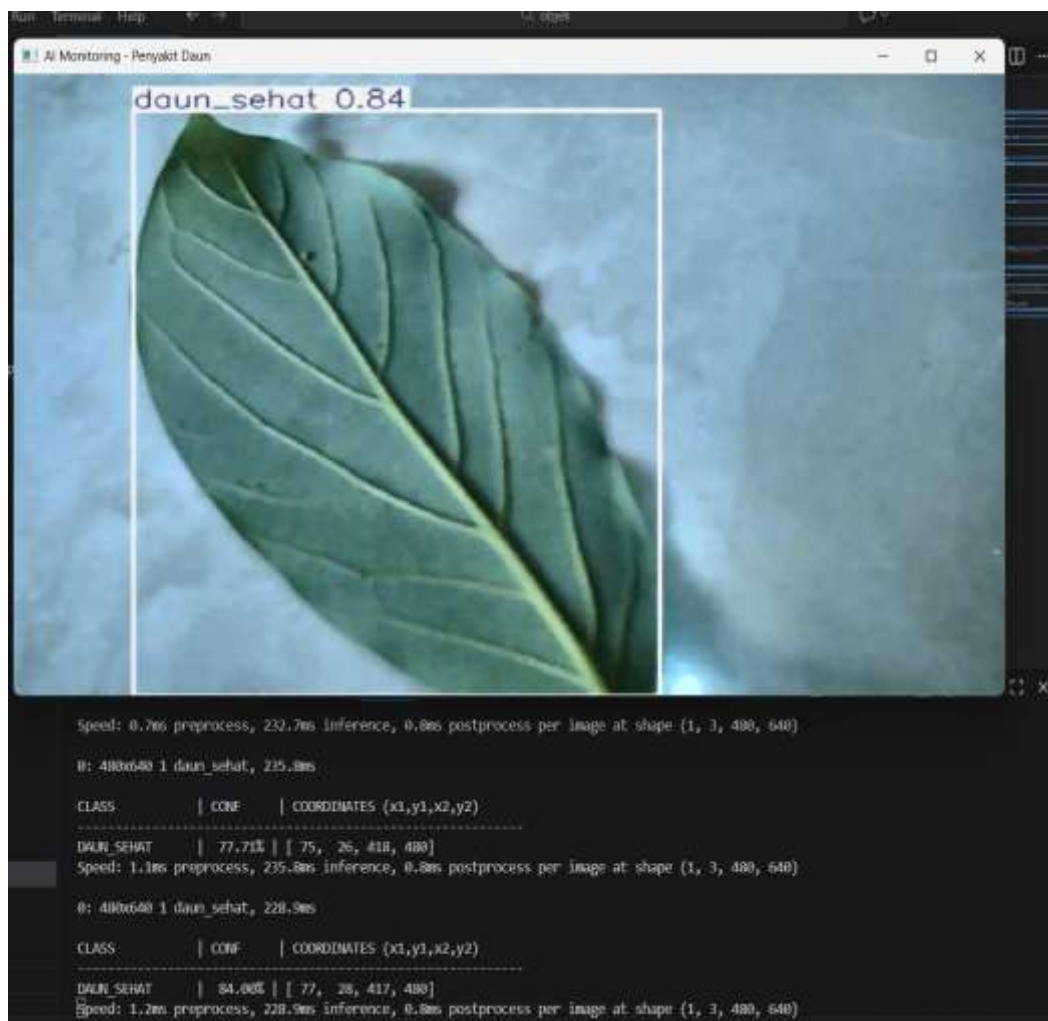
Gambar *val_batch0_pred* merupakan visualisasi hasil prediksi model YOLOv8 pada data validasi, tepatnya pada batch pertama (batch ke-0) dari proses validasi. Visualisasi ini dihasilkan secara otomatis oleh YOLOv8 untuk menunjukkan bagaimana model mendeteksi dan mengklasifikasikan objek penyakit daun pada citra yang tidak digunakan selama proses pelatihan (*training*). Pada gambar ini, setiap citra daun ditampilkan bersama *bounding box*, label kelas penyakit, dan nilai *confidence score*, yang menggambarkan tingkat keyakinan model terhadap hasil deteksi tersebut.



Gambar 5.9 val batch0 pred

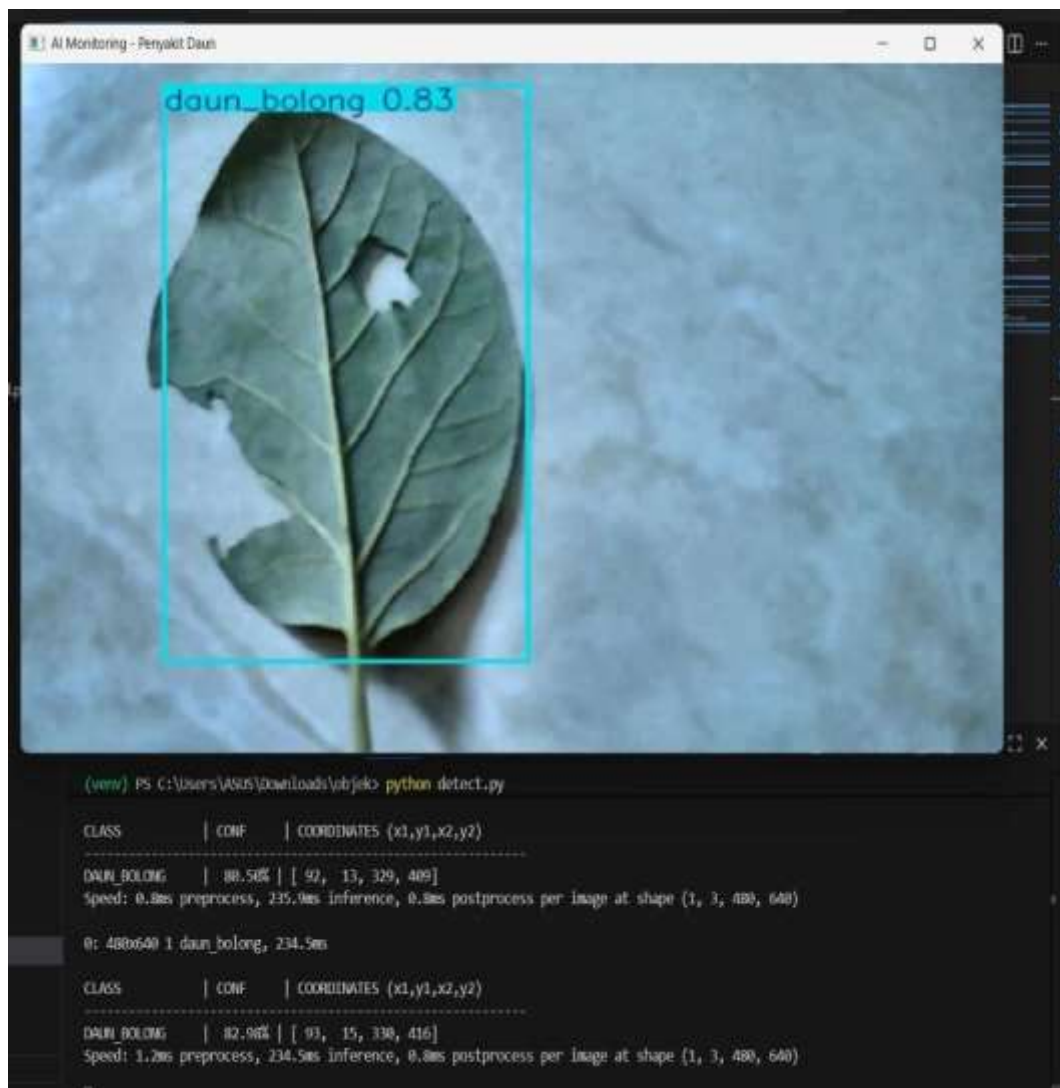
5.3 PENGUJIAN DETEKSI OBJEK

Penulis melakukan pengujian deteksi objek untuk mendeteksi tumbuhan herbal memiliki fungsi antara lain sebagai verifikasi keefektifan pengujian objek mendeteksi tumbuhan herbal pada sistem. Pengujian deteksi objek dilakukan untuk mengevaluasi kinerja sistem dalam mendeteksi dan mengenali jenis tumbuhan herbal menggunakan metode deteksi objek. Pengujian ini bertujuan untuk mengetahui tingkat akurasi deteksi serta waktu yang dibutuhkan sistem dalam melakukan proses identifikasi terhadap objek tumbuhan herbal yang diuji.



Gambar 5.10 Hasil Deteksi Daun Alpukat Sehat

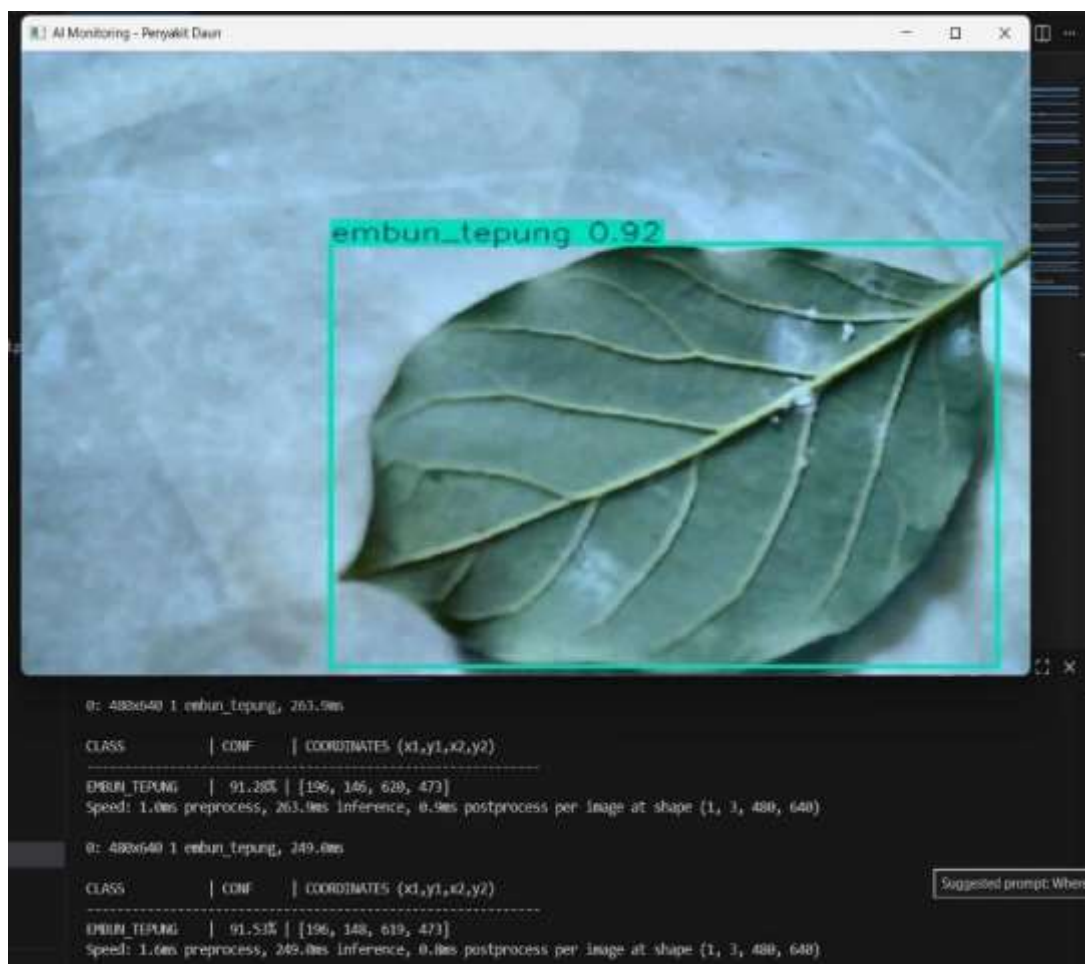
Gambar 5.10 menunjukkan hasil deteksi kondisi daun alpukat sehat menggunakan sistem *AI Monitoring* berbasis algoritma YOLOv8. Pada citra terlihat satu helai daun alpukat dengan struktur tulang daun yang jelas dan permukaan daun yang utuh, yang berhasil dikenali oleh sistem sebagai kelas “daun_sehat”. Objek daun ditandai dengan *bounding box* berwarna putih serta label kelas daun_sehat dengan nilai *confidence* sebesar 0,84, yang menunjukkan tingkat keyakinan model tergolong tinggi dalam mengklasifikasikan kondisi daun tersebut. Latar belakang yang relatif sederhana membantu model dalam memfokuskan deteksi pada objek utama. Selain itu, informasi teknis di bagian bawah layar menampilkan waktu *preprocessing*, *inference*, dan *postprocessing* dengan resolusi input 480×640 piksel, yang menandakan bahwa proses deteksi berjalan secara cepat dan efisien. Hasil ini menunjukkan bahwa model mampu mengidentifikasi kondisi daun alpukat sehat dengan baik dan dapat dijadikan dasar untuk pemantauan penyakit daun alpukat secara otomatis.



Gambar 5.11 Hasil Deteksi Daun Bolong

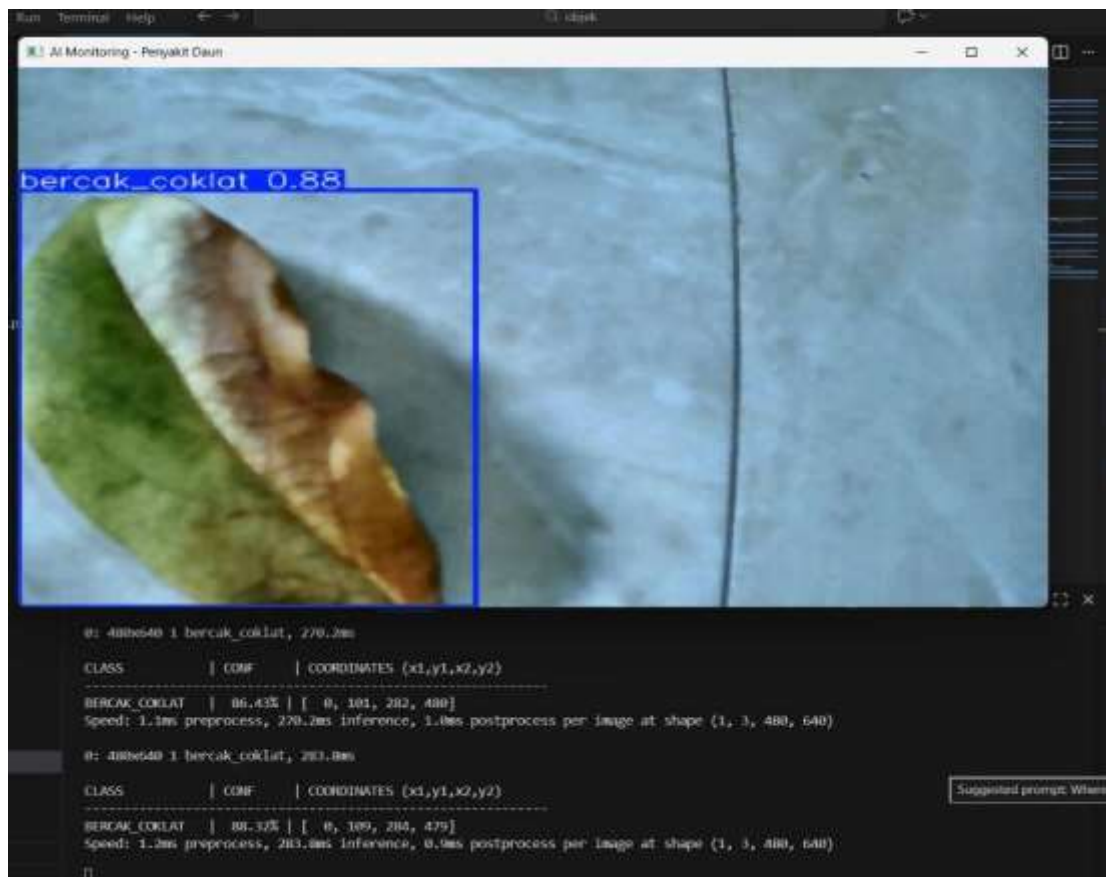
Gambar di atas menunjukkan hasil pendeteksian penyakit pada daun alpukat menggunakan sistem *object detection* berbasis YOLO, di mana objek daun yang teridentifikasi mengalami kondisi daun bolong. Pada citra terlihat sebuah daun alpukat dengan beberapa bagian permukaan yang berlubang, terutama di bagian tengah dan tepi daun, yang menandakan adanya kerusakan fisik akibat serangan hama atau penyakit. Sistem memberikan *bounding box* berwarna biru yang

membatasi area daun yang terdeteksi, disertai label kelas “daun_bolong” dengan nilai *confidence* sebesar 0,83, yang menunjukkan tingkat keyakinan model cukup tinggi dalam mengklasifikasikan kondisi daun tersebut. Informasi tambahan pada bagian bawah layar menampilkan hasil pemrosesan sistem, seperti koordinat bounding box, nilai kepercayaan, serta waktu inferensi, yang membuktikan bahwa model mampu bekerja secara real-time dan akurat dalam mendeteksi penyakit daun alpukat berdasarkan citra digital.



Gambar 5.12 Hasil Deteksi Embun Tepung

Gambar 5.12 di atas memperlihatkan hasil pendeteksian penyakit embun tepung pada daun alpukat menggunakan sistem kecerdasan buatan berbasis YOLO. Pada citra tampak satu helai daun alpukat dengan permukaan daun yang relatif utuh, namun terdapat bercak-bercak putih halus menyerupai lapisan tepung di beberapa bagian tulang daun dan permukaan daun, yang merupakan ciri khas penyakit embun tepung. Sistem berhasil mendeteksi objek daun tersebut dengan menampilkan *bounding box* berwarna hijau serta label kelas “embun_tepung” dengan nilai *confidence* sebesar 0,92, yang menunjukkan tingkat keyakinan model sangat tinggi terhadap hasil klasifikasi. Informasi teknis pada bagian bawah layar, seperti koordinat *bounding box*, nilai kepercayaan, dan waktu inferensi, menunjukkan bahwa model mampu mengenali penyakit daun alpukat secara akurat dan efisien, sehingga mendukung penerapan sistem ini sebagai alat bantu monitoring kesehatan tanaman secara otomatis.



Gambar 5.13 Hasil Deteksi Bercak Coklat

Gambar 5.13 di atas menunjukkan hasil pendeteksian penyakit bercak coklat pada daun alpukat menggunakan sistem *AI Monitoring* berbasis metode YOLO. Pada citra terlihat satu helai daun alpukat yang mengalami perubahan warna signifikan, di mana sebagian permukaan daun tampak kecoklatan hingga kekuningan, terutama di area tepi dan tengah daun, yang merupakan ciri khas penyakit bercak coklat akibat infeksi patogen. Sistem berhasil mengidentifikasi daun tersebut dengan menampilkan *bounding box* berwarna biru serta label kelas “bercak_coklat” dengan nilai *confidence* sebesar 0,88, yang menunjukkan tingkat kepercayaan model yang tinggi terhadap hasil klasifikasi. Informasi tambahan pada

bagian bawah layar, seperti koordinat *bounding box*, nilai kepercayaan, serta waktu pemrosesan, menunjukkan bahwa model mampu bekerja secara cepat dan akurat dalam mendeteksi penyakit pada daun alpukat, sehingga dapat dimanfaatkan sebagai alat bantu pemantauan kondisi tanaman secara otomatis dan berkelanjutan.

Berdasarkan hasil pengujian yang ditunjukkan pada gambar-gambar sebelumnya, dapat dilihat bahwa sistem mampu mendeteksi berbagai jenis penyakit pada daun alpukat, seperti daun bolong, embun tepung, dan bercak coklat, dengan menampilkan *bounding box* serta nilai *confidence* pada setiap objek yang terdeteksi. Hasil visual tersebut menunjukkan bahwa model YOLO yang digunakan telah bekerja dengan baik dalam mengidentifikasi karakteristik penyakit daun. Untuk memperkuat hasil tersebut, dilakukan pengujian akurasi yang disajikan dalam bentuk tabel guna mengetahui tingkat kinerja model pada setiap kelas penyakit.

Tabel 5. 1 Pengujian Deteksi Objek

No	Banyak Percobaan	Jenis Deteksi	Akurasi Deteksi (%)	Waktu (Detik)
1	1	Daun Sehat	0,61	200.6 ms
	2	Daun Sehat	0,84	228.9 ms
	3	Daun Sehat	0,47	242.1 ms
	4	Daun Sehat	0,70	233.0 ms
2	1	Daun Bolonng	0,73	255.7 ms
	2	Daun Bolong	0,85	265.0 ms
	3	Daun Bolong	0,76	250.4 ms

No	Banyak Percobaan	Jenis Deteksi	Akurasi Deteksi (%)	Waktu (Detik)
	4	Daun Bolong	0,87	234.5 ms
3	1	Embun Tepung	0,90	276.6 ms
	2	Embun Tepung	0,87	241.4 ms
	3	Embun Tepung	0,92	249.0 ms
	4	Embun Tepung	0,87	286.4 ms
4	1	Bercak Coklat	0,88	283.8 ms
	2	Bercak Coklat	0,85	238.4 ms
	3	Bercak Coklat	0,82	276.0 ms
	4	Bercak Coklat	0,77	246.8 ms

Tabel 5.1 menyajikan hasil pengujian deteksi objek penyakit daun yang dilakukan untuk mengevaluasi kinerja sistem deteksi berbasis metode YOLOv8. Pengujian ini bertujuan untuk mengetahui tingkat akurasi deteksi serta waktu pemrosesan yang dibutuhkan sistem dalam mengidentifikasi jenis penyakit daun pada setiap percobaan yang dilakukan. Pada pengujian ini, sistem diuji terhadap empat kelas kondisi daun, yaitu daun bolong, bercak coklat, embun tepung, dan daun sehat. Setiap kelas diuji sebanyak dua kali percobaan untuk melihat konsistensi hasil deteksi yang dihasilkan oleh sistem.

Berdasarkan tabel, kelas daun bolong pada percobaan pertama memperoleh nilai akurasi sebesar 0,81 dengan waktu pemrosesan 0,08 detik, sedangkan pada percobaan kedua nilai akurasi sedikit menurun menjadi 0,79

dengan waktu pemrosesan 0,15 detik. Perbedaan ini dapat dipengaruhi oleh variasi kondisi citra, seperti sudut pengambilan gambar dan pencahayaan.

Untuk kelas bercak coklat, sistem menunjukkan peningkatan performa pada percobaan kedua, di mana nilai akurasi meningkat dari 0,81 menjadi 0,92. Hal ini menunjukkan bahwa model mampu mengenali pola bercak coklat dengan baik, terutama ketika ciri visual penyakit terlihat lebih jelas. Waktu pemrosesan pada kelas ini berada pada rentang 0,10 hingga 0,15 detik.

Pada kelas embun tepung, hasil pengujian menunjukkan nilai akurasi yang cukup tinggi dan konsisten, yaitu 0,84 pada percobaan pertama dan meningkat menjadi 0,90 pada percobaan kedua. Hal ini menandakan bahwa model mampu mendeteksi penyakit embun tepung dengan baik meskipun memiliki tekstur yang relatif halus. Waktu pemrosesan pada kelas ini berada pada kisaran 0,10 hingga 0,15 detik.

Sementara itu, pada kelas daun sehat, nilai akurasi pada percobaan pertama relatif lebih rendah, yaitu 0,60, namun mengalami peningkatan signifikan pada percobaan kedua menjadi 0,85. Peningkatan ini menunjukkan bahwa model membutuhkan kondisi citra yang lebih optimal untuk membedakan daun sehat dari daun yang memiliki gejala penyakit ringan. Waktu pemrosesan pada kelas daun sehat berada pada rentang 0,08 hingga 0,10 detik.

Secara keseluruhan, hasil pengujian pada Tabel 5.1 menunjukkan bahwa akurasi deteksi sistem berada pada rentang 0,60 hingga 0,92, dengan waktu pemrosesan yang relatif singkat, yaitu antara 0,08 hingga 0,15 detik per deteksi. Hal ini menunjukkan bahwa sistem deteksi penyakit daun berbasis YOLOv8 memiliki

performa yang cukup baik, efisien, dan responsif, sehingga layak digunakan untuk mendukung proses identifikasi penyakit daun secara cepat dan akurat.

5.4 ANALISIS SISTEM SECARA KESELURUHAN

Secara keseluruhan, sistem deteksi penyakit daun alpukat berbasis YOLOv8 telah berjalan sesuai dengan tujuan penelitian. Model mampu mengenali berbagai jenis penyakit daun dengan tingkat akurasi yang baik serta waktu deteksi yang cepat. Sistem ini dapat dijadikan sebagai alat bantu dalam proses identifikasi penyakit tanaman alpukat secara otomatis.

Keterbatasan sistem terletak pada kondisi citra dengan pencahayaan rendah dan kemiripan visual antar kelas penyakit. Oleh karena itu, pengembangan lebih lanjut dapat dilakukan dengan menambah jumlah dataset, variasi kondisi citra, serta penerapan teknik augmentasi data yang lebih beragam.

Berdasarkan hasil analisis dan pembahasan pada bab ini, dapat disimpulkan bahwa sistem deteksi penyakit daun alpukat menggunakan YOLOv8 memiliki performa yang baik dari segi akurasi dan kecepatan. Sistem ini berpotensi untuk dikembangkan lebih lanjut sebagai solusi pendukung dalam bidang pertanian, khususnya dalam deteksi dini penyakit tanaman alpukat.