

**ID: 19**

## Greengrow: Smart Greenhouse untuk Optimalisasi Budidaya Microgreen menggunakan Deep Learning

### *Greengrow: Smart Greenhouse for Optimizing Microgreen Cultivation Using Deep Learning*

**Rendi Bagus Siswoyo<sup>1</sup>, Rossy Musdawiyah Anisa<sup>2</sup>, Satria Alwan Dewantara<sup>3</sup>, Ryan Rachmadha Febriansyah<sup>4</sup>, Rin Rin Nurmalasari<sup>5</sup>**

<sup>1,2,3,4,5</sup>Universitas Islam Negeri Sunan Gunung Djati

Jl. A. H Nasution No. 483, 0227800525

1217070071@student.uinsgd.ac.id<sup>1</sup>, 1217070078@student.uinsgd.ac.id<sup>2</sup>,

1217070081@student.uinsgd.ac.id<sup>3</sup>, 1217070079@student.uinsgd.ac.id<sup>4</sup>, rinrinm@uinsgd.ac.id<sup>5</sup>

**Abstrak** – Di era modern ini, pertumbuhan populasi yang pesat dan urbanisasi yang semakin meningkat telah menjadi tantangan bagi sektor pertanian perkotaan. Oleh karena itu, penelitian ini telah menghasilkan solusi teknologi baru yang dapat diterapkan di lingkungan perkotaan, yaitu sistem budidaya microgreen dalam greenhouse dengan menggunakan teknologi pemantauan dan deep learning untuk memastikan kesehatan dan pertumbuhan tanaman. Greenhouse ini dilengkapi dengan kamera untuk pemantauan secara real-time dan sistem penyiraman otomatis yang dikendalikan oleh ESP8266. Data pemantauan dari kamera dianalisis menggunakan algoritma deep learning YOLOv8 untuk mendeteksi kondisi tanaman. Hasil penelitian ini menunjukkan bahwa penggunaan smart greenhouse dapat meningkatkan kualitas dan kuantitas produksi microgreen dibandingkan dengan metode konvensional. Status implementasi sistem ini masih dalam tahap awal, dengan tantangan biaya investasi awal dan kebutuhan data yang besar untuk melatih model deep learning. Namun, peningkatan produksi dan penggunaan sumber daya yang lebih efisien akan membantu petani mendukung praktik pertanian berkelanjutan.

**Kata Kunci:** Smart Greenhouse, Microgreen, Deep Learning, YOLOv8, Sistem Penyiraman Otomatis

**Abstract** – In this modern era, rapid population growth and increasing urbanization have challenged the predominantly urban agricultural sector. Therefore, this research has produced a new technological solution that can be applied in urban environments, namely a microgreen cultivation system in a greenhouse using monitoring and deep learning technology to ensure plant health and growth. The greenhouse has a camera for real-time monitoring and an automatic watering system controlled by ESP8266. Monitoring data from the camera is analyzed using the YOLOv8 deep learning algorithm to detect plant conditions. The results of this research showed that using smart greenhouses can increase the quality and quantity of microgreen production compared to conventional methods. The implementation status of this system is still in its infancy, facing initial investment costs and large data requirements to train deep learning models. However, better production and more efficient use of these resources will help farmers to support sustainable agricultural practices.

**Keywords:** Smart Greenhouse, Microgreen, Deep Learning, YOLOv8, Automatic Watering System

### 1. Pendahuluan

Di era modern ini, pertumbuhan penduduk yang pesat dan meningkatnya urbanisasi telah membawa tantangan baru di sektor pertanian, terutama di daerah perkotaan [1]. Indonesia, dengan jumlah penduduk mencapai 281.603,8 juta jiwa pada tahun 2024, menempati urutan keempat sebagai negara dengan populasi terbanyak di dunia [2]. Kepadatan penduduk yang tinggi di kota-

---

SENTER 2024, 03 Oktober 2024, pp. 109-119

ISSN (p): 2985-4903

ISSN (e): 2986-2477

109



kota besar menyebabkan ketersediaan lahan pertanian semakin terbatas [1]. Selain itu, polusi udara dan kualitas lingkungan yang buruk di perkotaan menjadi hambatan signifikan bagi budidaya tanaman secara konvensional [3]. Untuk mengatasi masalah ini, budidaya *microgreen* di dalam *greenhouse* merupakan solusi inovatif yang menawarkan beberapa keuntungan [4]. *Microgreen* adalah tanaman kecil yang dipanen pada fase awal pertumbuhannya, biasanya 7-14 hari setelah tanam, dan memiliki kandungan nutrisi yang tinggi [5]. Dengan menggunakan *greenhouse*, kita dapat menciptakan lingkungan yang terkendali dan terlindungi dari polusi udara serta faktor eksternal lainnya yang dapat merusak tanaman [4]. *Greenhouse* memungkinkan budidaya *microgreen* secara efisien di daerah perkotaan tanpa mengorbankan kualitas dan kuantitas produksi [6].

Selain itu, untuk memastikan pertumbuhan dan kesehatan *microgreen*, *greenhouse* dilengkapi dengan kamera yang berfungsi untuk memantau tanaman secara *real-time* [7]. Teknologi *deep learning* digunakan untuk membaca objek dari masing-masing daun *microgreen*, sehingga dapat mengidentifikasi kondisi tanaman dengan akurat [7]. Data dari kamera ini dikirim ke aplikasi yang telah dibuat, memberikan pemberitahuan berdasarkan tahapan penanaman *microgreen* [8]. Aplikasi ini tidak hanya memberikan informasi visual tentang keadaan *microgreen*, tetapi juga memberikan panduan dan rekomendasi berbasis *real-time* untuk sistem penyiraman otomatis yang terintegrasi dalam *greenhouse* [8].

Dalam membuat *greenhouse* ini, tidak membutuhkan banyak komponen untuk meminimalisir pengeluaran komponen elektronik. Oleh karena itu, percobaan yang dilakukan tidak menggunakan sensor kelembaban tanah. Melainkan menggantinya dengan perhitungan. Pompa air mini memiliki laju aliran 80-120 L/H. Ukuran pot yang digunakan memiliki diameter luar 8 cm dan diameter dalam 5,9 cm, dengan tinggi 6,6 cm. Berikut adalah perhitungan yang digunakan :

$$\text{Laju aliran} = \frac{80 \text{ L/h}}{3600 \text{ s}} = 0.0222 \text{ L/s} \tag{1}$$

Volume bola :

$$V = \frac{4}{3} \pi r^3 \tag{2}$$

$$V = \frac{4}{3} \pi (3)^3$$

$$V = 113.1 \text{ cm}^3$$

Volume setengah bola:

$$V_{\text{setengah bola}} = \frac{1}{2} \times 36\pi \text{ cm}^3 \tag{3}$$

$$V_{\text{setengah bola}} = 18\pi \text{ cm}^3$$

$$V_{\text{setengah bola}} = 56.55 \text{ cm}^3$$

Waktu yang dibutuhkan untuk membasahi tanah adalah 75% :

$$\text{Waktu} = \frac{75\% \times 56.55 \text{ cm}^3}{0.0222 \text{ liter/s}} = 1.91 \text{ detik}$$

Dengan demikian, waktu yang dibutuhkan untuk menyiram hingga 75% dari volume tanah dalam pot adalah antara sekitar 1,27 detik hingga 1,91 detik.

Penelitian ini bertujuan untuk mengembangkan sistem budidaya *microgreen* di dalam *greenhouse* yang dapat diterapkan di daerah perkotaan, dengan memanfaatkan teknologi pemantauan dan *deep learning* untuk memastikan kesehatan dan pertumbuhan tanaman [7]. Selain itu, penelitian ini juga bertujuan untuk mengurangi dampak negatif polusi udara terhadap pertanian perkotaan dan memberikan solusi praktis bagi masyarakat perkotaan untuk menanam sayuran berkualitas tinggi di lingkungan yang terbatas [5].

Dengan sistem *greenhouse* yang dilengkapi dengan teknologi canggih ini, diharapkan masyarakat perkotaan dapat lebih mudah mengakses dan menanam *microgreens* tanpa terpengaruh oleh kualitas udara yang buruk [4]. Hal ini tidak hanya berkontribusi untuk meningkatkan kesehatan masyarakat melalui konsumsi sayuran segar dan bergizi, tetapi juga mendukung ketahanan pangan di tengah pertumbuhan penduduk yang cepat [1].

Makalah ini akan membahas secara rinci desain *greenhouse*, teknologi pemantauan dan *deep learning* yang digunakan, serta penerapan sistem penyiraman otomatis. Selain itu, hasil pengujian dan analisis kinerja sistem juga akan dibahas dalam mendukung pertumbuhan dan kesehatan *microgreen* di lingkungan perkotaan.

## **2. Metode Penelitian**

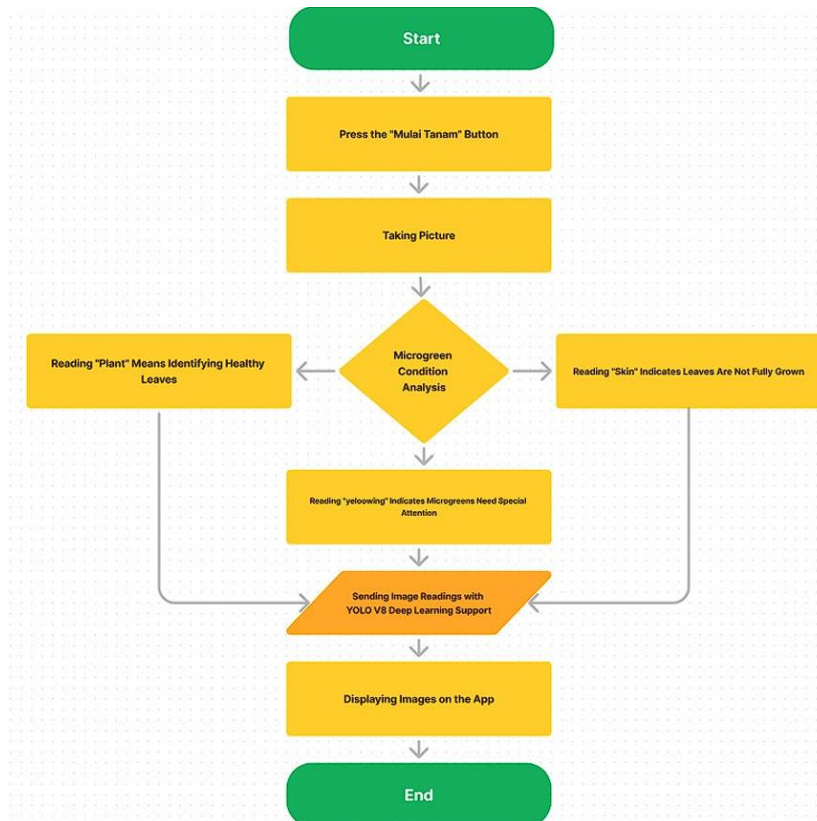
Penelitian ini menggunakan pendekatan eksperimental dengan tujuan untuk mengembangkan dan menguji sistem budidaya *microgreen* dalam smart *greenhouse* yang memanfaatkan teknologi *deep learning* dan sistem otomatisasi. Metode penelitian ini meliputi beberapa tahapan sebagai berikut:

### **2.1. Alat dan Bahan**

Eksperimen ini menggunakan berbagai alat dan bahan yang dirancang untuk memastikan pemantauan dan pemeliharaan tanaman *microgreen* yang optimal di dalam *greenhouse*. Berikut ini adalah penjelasan rinci mengenai alat dan bahan yang digunakan:

#### **2.1.1. Webcam**

Eksperimen ini menggunakan webcam beresolusi tinggi untuk memantau pertumbuhan dan kesehatan *microgreen* di dalam *greenhouse*. Webcam ini dipilih karena resolusi tinggi yang memungkinkan dapat mendeteksi setiap daun secara akurat. Webcam dipasang di atas agar dapat menjangkau seluruh area penanaman didalam *greenhouse* dan dapat mendeteksi tanaman secara maksimal. Dengan fitur ini, setiap perubahan tanaman dapat dideteksi dengan baik, pertumbuhan dan identifikasi penyakit menjadi lebih mudah. Untuk mengetahui cara kerja webcam dalam sistem monitoring dapat dilihat pada gambar 1 dibawah ini.



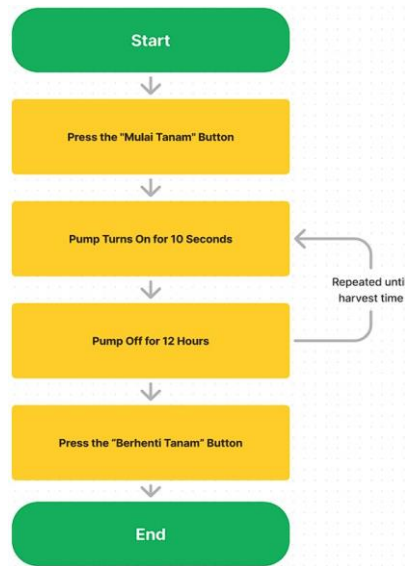
Gambar 1. Alur Kerja Sistem Monitoring

### 2.1.2. GreenHouse

*Greenhouse* yang digunakan dalam percobaan ini terbuat dari kain paranet yang mampu menahan debu dan polusi. Ukurannya 30 cm x 27 cm x 33 cm, cukup untuk menyimpan microgreen dengan tetap memungkinkan sirkulasi udara yang baik. Sistem ventilasi yang terkontrol memastikan bahwa udara bersih dapat masuk sementara udara kotor tidak dapat masuk, menjaga kondisi lingkungan didalam *greenhouse* tetap optimal untuk pertumbuhan tanaman microgreen.

### 2.1.3. Sistem Penyiraman Otomatis

Eksperimen ini menggunakan sistem penyiraman otomatis yang dikontrol menggunakan ESP8266, *mini water pump*, dan relay 4-channel untuk memastikan tanaman microgreen mendapatkan air yang cukup secara konsisten. Pompa air mini dipilih karena efisiensinya serta kemudahan instalasi didalam *greenhouse*. Dalam percobaan ini, durasi penyiraman dihitung berdasarkan perhitungan bahwa air mengalir selama 2 detik untuk mencapai 75% kelembapan yang diinginkan pada media tanam microgreen. Untuk memastikan sistem penyiraman otomatis ini bekerja dengan baik perlu dibuat alur kerja seperti yang ditampilkan oleh gambar 2.

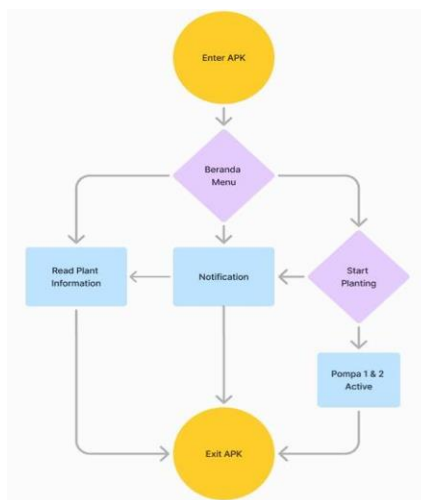


Gambar 2. Alur Kerja Sistem Penyiraman Otomatis

ESP8266 sebagai kontroler utama dalam mengatur jadwal penyiraman dengan mengontrol relay untuk mengendalikan pompa air. Relay 4 channel digunakan untuk menghubungkan dan mengatur pompa air mini, memastikan penyiraman otomatis sesuai dengan waktu dan volume air yang telah dihitung. Sistem ini dirancang untuk meminimalkan intervensi manual serta memastikan microgreens mendapatkan perlakuan optimal tanpa risiko kekurangan atau kelebihan air.

**2.1.4. Aplikasi**

Pada percobaan ini, sebuah aplikasi asisten berbasis platform android dikembangkan untuk mendukung proses penanaman dan pemantauan microgreen. Aplikasi ini memiliki berbagai fitur seperti notifikasi, panduan penanaman, dan pemantauan secara real-time. Fitur notifikasi membantu pengguna mengetahui kondisi terkini tanaman mereka, sementara panduan penanaman memberikan instruksi tahapan tatacara merawat microgreen. Fitur pemantauan secara langsung memungkinkan pengguna melihat kondisi tanaman kapan saja dan dimana saja serta memperoleh laporan analisis dari sistem *deep learning* yang mendeteksi pertumbuhan dan kesehatan tanaman. Dalam memastikan aplikasi dapat bekerja dengan baik, perlu adanya alur kerja seperti yang ditampilkan pada gambar 3 dibawah ini.



Gambar 3. Alur Kerja Aplikasi

## 2.2. Desain

Penelitian ini mencoba untuk membudidayakan microgreen ditengah kota dengan tingkat polusi yang tinggi maka diperlukan penggunaan *greenhouse* agar dapat melindungi dan mengoptimalkan pertumbuhan microgreen. *Greenhouse* ini menggunakan kain paranet untuk melindungi dari debu dan polusi serta ventilasi terkontrol untuk memastikan sirkulasi udara yang baik. Sebuah webcam beresolusi tinggi, yang diposisikan setinggi 33cm pada bagian tengah atas *greenhouse*, menangkap gambar secara berkala untuk memantau pertumbuhan dan kesehatan tanaman. Sistem penyiraman otomatis yang dioperasikan oleh mikrokontroler ESP8266 dan *mini water pump* memastikan kelembapan tanah tetap konsisten dengan mengalirkan air selama 2 detik untuk mempertahankan tingkat kelembapan sebesar 75%. Desain ini mengintegrasikan pemantauan dan penyiraman otomatis guna meminimalkan intervensi manual, mengefisienkan penggunaan air, serta memastikan microgreen tumbuh sehat dilingkungan perkotaan.

## 2.3. Metode Pengumpulan Data

Metode pengumpulan data dalam percobaan ini dirancang untuk memberikan informasi yang akurat dan secara langsung tentang pertumbuhan dan kesehatan microgreen. Pemantauan dilakukan menggunakan webcam beresolusi tinggi yang dipasang di *greenhouse*. Webcam ini secara otomatis mengambil gambar setiap 12 jam, sehingga setiap perubahan signifikan dalam pertumbuhan atau kondisi tanaman dapat didokumentasikan dengan baik. Gambar-gambar tersebut kemudian dikirim secara otomatis ke aplikasi.

Untuk analisis data dalam percobaan ini menggunakan pemodelan *deep learning* YOLOv8. Pemodelan ini telah dilatih untuk mendeteksi berbagai tanda pertumbuhan dan penyakit pada microgreen berdasarkan gambar yang diambil oleh webcam. YOLOv8 mampu mengenali dan mengklasifikasikan perubahan pada daun microgreen, seperti perubahan warna, bentuk dan ukuran, yang dapat mengindikasikan pertumbuhan normal atau adanya penyakit. Hasil analisis data ini kemudian dikirim ke aplikasi yang telah dikembangkan. Aplikasi ini memberikan notifikasi dan panduan kepada pengguna serta memungkinkan pemantauan kondisi tanaman secara langsung

Pendekatan ini memungkinkan setiap gambar yang diambil oleh webcam disimpan dan dianalisis secara mendalam, memberikan informasi yang lebih komprehensif tentang kondisi tanaman. Teknologi *deep learning* memungkinkan deteksi dini terhadap masalah potensial, sehingga tindakan perbaikan dapat segera dilakukan sebelum kondisi tanaman memburuk. Dengan kombinasi pemantauan visual otomatis dan analisis data yang cerdas, sistem ini memastikan microgreen dapat tumbuh secara optimal dan bebas dari penyakit dengan intervensi manusia yang minimal.

## 2.4. Metode Analisis Data

Metode analisis data dalam percobaan ini menggunakan pemodelan algoritma *deep learning* YOLOv8 untuk mendeteksi perubahan daun pada microgreen, seperti perubahan warna, bentuk dan ukuran yang dapat menunjukkan pertumbuhan atau adanya penyakit.

Pertumbuhan normal ditandai dengan peningkatan ukuran daun secara bertahap, sementara penyakit terdeteksi melalui perubahan warna atau pola daun, seperti munculnya warna kuning atau bintik-bintik coklat. Model YOLOv8 telah dilatih menggunakan dataset yang beragam untuk mengenali berbagai kondisi microgreen, sehingga memungkinkan deteksi dini terhadap potensi masalah. Dengan pendekatan ini, tindakan korektif dapat segera diambil untuk memastikan tanaman tetap dalam kondisi optimal.

## 2.5. Prosedur Eksperimen

Prosedur eksperimen diawali dengan persiapan *greenhouse*. *Greenhouse* dibersihkan secara menyeluruh dan diatur dengan media tanam yang sesuai serta bibit microgreen. Kamera resolusi

tinggi dipasang pada posisi strategis untuk memantau area penanaman secara menyeluruh, dan sistem penyiraman otomatis diinstal serta dikalibrasi untuk memastikan pengoperasian yang tepat.

Pemantauan berlangsung dari masa tanam hingga masa panen, di mana webcam mengambil gambar microgreen setiap 12 jam. Gambar yang diambil secara berkala ini dikirim ke server untuk dianalisis menggunakan algoritma *deep learning* YOLOv8. Analisis ini membantu mendeteksi perubahan pada daun microgreen, seperti perubahan warna, bentuk, dan ukuran, yang mengindikasikan pertumbuhan atau penyakit.

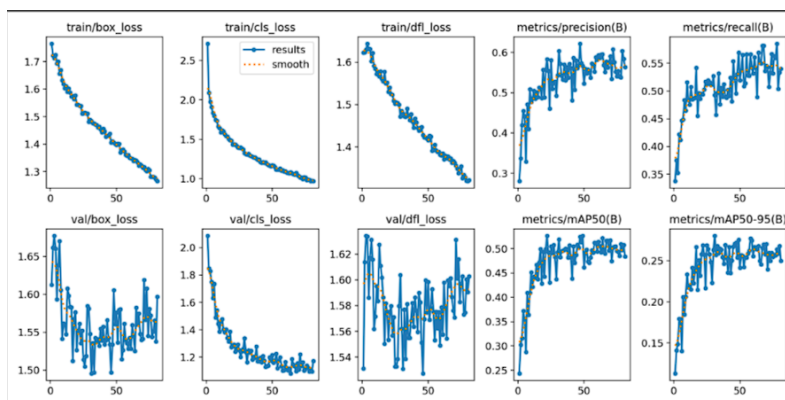
Evaluasi efektivitas dilakukan dengan mengukur pertumbuhan microgreen setiap 12 jam. Data yang diperoleh dari sistem otomatis dibandingkan dengan data dari kontrol tanpa teknologi untuk menilai keuntungan menggunakan teknologi ini. Evaluasi ini membantu menentukan apakah manfaat signifikan dalam budidaya microgreen dibandingkan dengan metode konvensional. Hasil eksperimen ini akan memberikan informasi tentang penggunaan teknologi dalam pertanian perkotaan dan memastikan perawatan optimal untuk microgreen dengan intervensi minimal.

### 3. Hasil dan Pembahasan

Bab ini berisi pemaparan hasil penelitian dan pembahasan mendalam mengenai temuan-temuan yang diperoleh dari eksperimen dan analisis data. Penelitian ini bertujuan untuk mengevaluasi efektivitas penerapan sistem budidaya microgreen dalam *smart greenhouse* yang dilengkapi dengan teknologi pemantauan berbasis *deep learning* menggunakan algoritma YOLOv8 dan sistem penyiraman otomatis berbasis ESP8266.

#### 3.1. Model Akurasi Deep Learning

Pada penelitian ini menggunakan metode *deep learning* untuk memantau penggunaan *greenhouse* untuk mengoptimalkan budidaya microgreen menggunakan *deep learning*. *Deep learning* adalah kecerdasan buatan yang mencoba meniru proses kerja otak manusia. Dalam praktiknya, metode ini membutuhkan pelatihan kinerja untuk meningkatkan akurasi. Gambar berikut menyajikan grafik model pelatihan dan validasi untuk mengoptimalkan budidaya microgreens.

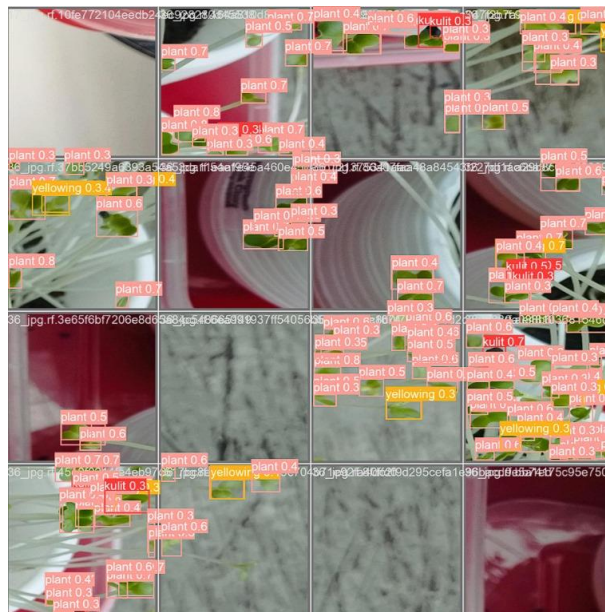


Gambar 4. Presisi dan kerugian

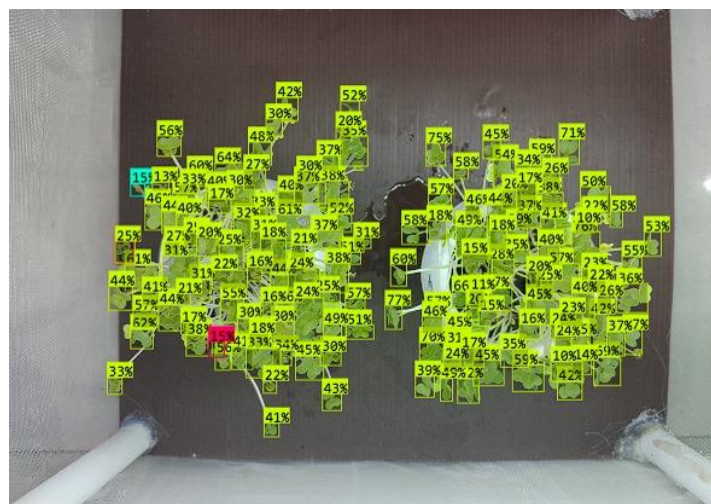
Gambar 4. menunjukkan berbagai metrik dan kerugian dari pelatihan dan validasi model YOLOv8 untuk deteksi objek. Grafik baris atas menampilkan penurunan kehilangan kotak, distribusi klasifikasi, kehilangan fokus, kerugian, dan selama pelatihan, masing-masing menunjukkan peningkatan akurasi dalam menentukan lokasi objek, klasifikasi, kotak pembatas, dan distribusi probabilitas. Metrik presisi dan penarikan juga menunjukkan kinerja model dalam mendeteksi objek dengan benar dan meminimalkan positif palsu.

Baris bawah menyajikan metrik yang sama untuk data validasi, menunjukkan pengurangan kerugian yang serupa dan peningkatan performa pada data yang tidak terlihat. Grafik presisi rata-rata (mAP) rata-rata pada ambang IoU 50% dan berbagai ambang batas dari 50% hingga 95% menunjukkan keseimbangan antara presisi dan penarikan serta kinerja deteksi objek yang kuat dalam kondisi yang berbeda. Secara keseluruhan, grafik ini menggambarkan peningkatan kinerja model yang signifikan selama fase pelatihan dan validasi.

Secara keseluruhan, grafik yang dihasilkan menunjukkan bahwa model deep learning yang digunakan menunjukkan peningkatan yang lebih baik secara konsisten selama pelatihan dan validasi. Nilai kerugian yang menurun dan nilai metrik yang meningkat menunjukkan bahwa model *deep learning* semakin baik dalam membedakan dan mengklasifikasikan objek dalam budidaya microgreen.



Gambar 5. hasil deteksi objek



Gambar 6. Hasil Deteksi Objek



Gambar 5 dan Gambar 6 yang ditampilkan memperlihatkan hasil deteksi objek menggunakan model deep learning YOLOv8, dimana setiap objek tanaman (plant) berupa daun yang mengalami yellowing telah diberi kotak pembatas (bounding box) dengan label yang sesuai. Pada gambar, setiap objek diberi label seperti "plant" atau "yellowing," diikuti dengan angka probabilitas yang menunjukkan tingkat kepercayaan model dalam mendeteksi objek tersebut. Misalnya, beberapa area pada daun yang menunjukkan tanda-tanda kekuningan (yellowing) diberi kotak kuning untuk penandaan khusus, yang mempermudah dalam mendeteksi potensi masalah pada tanaman.

### 3.2. Perbandingan dengan Metode Tradisional

Sistem *smart greenhouse* menghasilkan kualitas yang lebih konsisten dan jumlah microgreens yang lebih tinggi dengan hasil yang lebih tinggi daripada metode konvensional. Hal ini disebabkan oleh optimalisasi nutrisi kontrol lingkungan yang tepat.



Gambar 5. Tumbuhan rusak

Gambar 5 adalah hasil penanaman microgreens yang ditanam di luar *greenhouse*. Tanaman ini dirawat dalam kondisi yang berbeda dari yang ada di *greenhouse*. Perawatan yang dimaksud adalah jadwal penyiraman yang terlambat dan paparan debu lingkungan, yang menyebabkan tanaman layu dan tidak tumbuh dengan baik.



Gambar 6. *Greenhouse*

Hal-hal yang berbeda terlihat pada gambar 6 hasil tanaman yang ditanam di *greenhouse*. Tanaman ini berkualitas baik karena penyiraman dan pemantauan secara teratur.

### 3.3. Kondisi Pemantauan Lingkungan

Sistem *smart greenhouse* menggunakan kamera dalam pembelajaran mendalam, untuk memantau kondisi lingkungan secara *real-time*. Kamera terus menerus mengirim data ke sistem pusat untuk analisis dan pengambilan keputusan.

Dengan analisis data *real-time*, sistem dapat mendeteksi tanda-tanda awal penyakit atau kondisi yang tidak optimal, seperti kelembaban yang terlalu tinggi, yang dapat menyebabkan

jamur. Sistem kemudian dapat mengambil tindakan pencegahan dengan memperingatkan pengelola *greenhouse*.

### 3.4. Tingkat Pertumbuhan dan Kesehatan Microgreens

Menggunakan sistem smart *greenhouse* dapat mengoptimalkan kondisi lingkungan seperti suhu, kelembaban, dan pencahayaan. Sistem ini menghasilkan tanaman microgreens yang lebih baik daripada yang tidak menggunakan sistem.

Algoritma pembelajaran mendalam memungkinkan pemantauan kesehatan tanaman secara *real-time*, termasuk deteksi gejala dini dan kekurangan nutrisi penyakit. Akibatnya, tanaman menunjukkan tanda-tanda kesehatan yang lebih baik, seperti struktur daun yang lebih hijau.

Dengan kontrol lingkungan yang tepat dan lebih kuat, sistem smart *greenhouse* memastikan bahwa microgreens tumbuh seragam dalam ukuran dan kualitas. Hal ini penting untuk memenuhi standar pasar yang tinggi dan meningkatkan nilai penjualan produk.

### 3.5. Keuntungan dan Manfaat

Sistem smart *greenhouse* dapat mengoptimalkan dan mengatur kondisi kelembaban, cahaya, dan nutrisi secara *real-time*, menghasilkan tanaman microgreens dengan kualitas lebih tinggi dan waktu pertumbuhan yang lebih singkat.

Dengan mengoptimalkan kondisi pertumbuhan, microgreens yang dihasilkan juga memiliki pertumbuhan yang optimal. Sistem ini dapat meningkatkan hasil panen per siklus, sehingga meningkatkan produktivitas.

Sistem ini dapat memantau dan mengontrol penggunaan air dan energi secara efisien, mengurangi biaya operasional. Pemanfaatan sumber daya yang baik juga akan meningkatkan kualitas tanaman yang dihasilkan.

Mengintegrasikan teknologi *deep learning* di bidang pertanian membuka peluang untuk penelitian dan inovasi lebih lanjut karena perkembangan teknologi dapat meningkatkan hasil yang diperoleh dari pertanian dan efisien sumber daya yang digunakan.

### 3.6. Tantangan dan Keterbatasan

Menerapkan sistem smart *greenhouse* membutuhkan investasi awal yang cukup besar untuk membeli perangkat keras yang digunakan, seperti sensor, kamera, dan sistem kontrol. Biaya investasi ini juga digunakan untuk mengembangkan perangkat lunak, seperti pelatihan model *deep learning*. Ini bisa menjadi keterbatasan bagi petani skala kecil.

Untuk mencapai performa yang optimal, model *deep learning* memerlukan data berkualitas tinggi dalam jumlah besar. Mengumpulkan dan memberi label data yang memadai bisa mahal dan memakan waktu.

Implementasi ini perlu meningkatkan pemeliharaan dan pembaruan sistem. Sistem smart *greenhouse* memerlukan perawatan rutin untuk memastikan perangkat keras dan perangkat lunak berfungsi dengan baik. Selain itu, model *deep learning* harus diperbarui secara berkala dengan data baru untuk menjaga akurasi dan relevansinya.

Model *deep learning* yang dilatih dengan kumpulan data tertentu mungkin tidak berkinerja baik dalam kondisi yang berbeda dan jenis tanaman microgreen lainnya.

Model data memerlukan penyempurnaan dan pelatihan ulang untuk beradaptasi dengan lingkungan dan spesies tanaman yang berbeda.

Meskipun sistem smart *greenhouse* dapat mengendalikan banyak aspek lingkungan, faktor eksternal seperti cuaca ekstrem atau serangan hama yang tidak terduga dapat mempengaruhi hasil budidaya dan sulit bagi sistem untuk mengantisipasi sepenuhnya.

#### 4. Kesimpulan

Ini merupakan lompatan maju yang signifikan dalam inovasi pertanian: menggunakan pembelajaran mendalam untuk meningkatkan budidaya penerapan microgreens dengan sistem *IoT smart greenhouse*. Selama fase pelatihan dan validasi, model geminiviral menunjukkan akurasi dan ketahanan yang lebih baik secara seragam. Seperti yang dapat kita amati, nilai kerugian menurun, dan metrik presisi, recall, dan mAP meningkat, yang membuktikan bahwa model belajar untuk mendeteksi/mengklasifikasikan microgreen secara efisien dari waktu ke waktu.

Kualitas microgreens yang dihasilkan dari sistem *smart greenhouse* lebih tinggi dan konsisten daripada metode tradisional. Memberikan kontrol lingkungan yang akurat dan optimalisasi nutrisi dapat meningkatkan hasil panen sekaligus menjaga tanaman lebih sehat. Pemantauan kondisi lingkungan secara *real-time* dengan sensor dan kamera terintegrasi memastikan tindakan tepat waktu diambil terhadap penyakit dan pertumbuhan yang tidak optimal, membantu sistem manajemen kesehatan secara keseluruhan.

Meskipun banyak manfaat yang terbukti ketika diterapkan, sistem *smart greenhouse* dapat menghadapi beberapa hambatan. Biaya awal yang tinggi untuk investasi perangkat keras dan perangkat lunak, persyaratan volume untuk kualitas data pelatihan tertinggi, pemeliharaan berkelanjutan dan pembaruan yang diperlukan di kedua sisi perangkat keras dan model pembelajaran mendalam menciptakan hambatan masuk yang sangat besar. Selain itu, efisiensi sistem ini tidak mutlak dan dapat dipengaruhi oleh peristiwa eksternal seperti cuaca aneh atau populasi hama yang tidak terduga. Namun demikian, pengembalian produktivitas yang dikombinasikan dengan peningkatan pemanfaatan sumber daya dan kualitas tanaman memberikan potensi sistem *smart greenhouse* sebagai konsep transformatif yang dapat membantu mengamankan praktik pertanian berkelanjutan.

#### Referensi

- [1] FAO, "Urban Agriculture: Findings from Four City Case Studies," Rome: FAO, 2022. pp 13-17.
- [2] Biro Pusat Statistik, "Proyeksi Penduduk Indonesia 2020-2045," Jakarta: BPS, 2024.
- [3] World Health Organization, "Urban Air Quality and Health: Overview," Geneva: World Health Organization, 2022.
- [4] Q. Li, J. Chen, Z. Wu, and M. Gong, "Greenhouse Environmental Monitoring System Using Wireless Sensor Networks," *J. Agric. Eng.*, vol. 54, no. 6, pp. 72-81, 2020. pp 72-75.
- [5] J. Smith and R. Thompson, "The Impact of Air Pollution on Urban Agriculture," *Environ. Res. Lett.*, vol. 14, no. 2, pp. 1-9, 2019. pp 32-33.
- [6] R. E. Putri, et al., "Monitoring and Controlling System of Smart Mini Greenhouse Based on Internet of Things (IoT) for Spinach Plant (*Amaranthus sp.*)," *J. Funct. Foods*, vol. 14, no. 1, pp., 2024. ISSN: 2088-5334.
- [7] A. Rivai and B. Setiawan, "Implementation of Deep Learning in Monitoring Microgreen Growth," in *Proceedings of the International Conference on Artificial Intelligence and Data Science*, vol. 2, no. 3, pp. 45-50, 2023. pp 48-49
- [8] Y. Tan, H. Liu, and X. Zhang, "Automated Irrigation System Using IoT for Urban Farming," *J. IoT Appl.*, vol. 12, no. 4, pp. 88-96, 2020. pp 89-90.