

**PRO-PLANT: SISTEM MONITORING KESEHATAN TANAMAN BERBASIS IOT
SEBAGAI SOLUSI INOVATIF UNTUK OPTIMALISASI PRODUKSI PERTANIAN*****PRO-PLANT: IoT-Based Plant Health Monitoring System as an Innovative Solution for
Optimizing Agricultural Production***

Venika Shafa adelia dan Jericho Lamindo Ginting
IPB University

ABSTRACT

Problems that often occur on farms are about plant diseases that can cause a decrease in production, so it is necessary to diagnose diseases in plants early. This paper focuses on making a plant monitoring system to help farmers in agricultural cultivation. The system designed uses technology in the field of image processing that can help problems in agriculture by building a system based on web systems and applications for users. Classification of plant health based on validation results with applications built using the CNN method that is programmed to analyze plant health. The results of the analysis on the land will show micro-environmental parameters that need to be monitored including nutrient temperature, air temperature, relative air humidity, light intensity, and the level of plant damage due to pests.

Keywords: Pests, monitoring system, plant health.

ABSTRAK

Permasalahan yang sering terjadi di lahan pertanian adalah mengenai penyakit tanaman yang dapat menyebabkan terjadinya penurunan hasil produksi, sehingga diperlukannya diagnosa penyakit pada tanaman lebih dini. Karya tulis ini memfokuskan pada pembuatan sistem monitoring tanaman untuk membantu petani dalam budidaya pertanian. Sistem yang dirancang menggunakan teknologi di bidang *image processing* yang dapat membantu permasalahan pada bidang pertanian dengan membangun sebuah sistem berbasis pada sistem web dan aplikasi untuk pengguna. Pengklasifikasian kesehatan tanaman berdasarkan hasil validasi dengan aplikasi yang dibangun menggunakan metode CNN yang diprogram agar dapat menganalisa kesehatan tanaman. Hasil analisis pada lahan akan menunjukkan parameter lingkungan mikro yang perlu dilakukan pemantauan antara lain suhu nutrisi, suhu udara, kelembaban udara relatif, intensitas cahaya, dan tingkat kerusakan tanaman akibat OPT.

Kata kunci : OPT, sistem monitoring, kesehatan tanaman.

PENDAHULUAN

Pertanian memiliki peran penting dalam menyediakan makanan dan bahan mentah bagi populasi global yang terus bertambah. Peningkatan produktivitas pertanian merupakan suatu kebutuhan untuk memenuhi kebutuhan pangan yang terus meningkat (Hidayah *et al.* 2022). Kesehatan tanaman sangat penting untuk menjamin kualitas buah yang baik. Tanaman menghadapi berbagai resiko seperti serangan hama, penyakit, gulma, kekurangan air, kelebihan unsur hara, dan perubahan iklim. Kerentanan terhadap perubahan iklim dapat mempengaruhi kondisi cuaca dan menyebabkan kejadian ekstrim seperti banjir, kekeringan dan badai. Tanaman rentan terhadap fluktuasi iklim dan memerlukan strategi perlindungan dan adaptasi yang tepat.

Tantangan ini dapat mengakibatkan hilangnya hasil panen dan menurunnya produktivitas. Selain menghadapi masalah hama tanaman, petani juga menggunakan pestisida. Penggunaan pestisida yang berlebihan pada pertanian modern dapat menyebabkan kerusakan lingkungan, mencemari sumber air dan meningkatkan ketahanan tanaman terhadap hama.

Tanaman menghadapi berbagai resiko seperti serangan hama, penyakit, gulma, kekurangan air, kelebihan unsur hara, dan perubahan iklim. Kerentanan terhadap perubahan iklim dapat mempengaruhi kondisi cuaca dan menyebabkan kejadian ekstrim seperti banjir, kekeringan dan badai. Tanaman rentan terhadap fluktuasi iklim dan memerlukan strategi perlindungan dan adaptasi yang tepat (Sudewi *et al.* 2020). Tantangan ini dapat mengakibatkan hilangnya hasil panen dan menurunnya produktivitas. Selain menghadapi masalah hama tanaman, petani juga menggunakan pestisida. Penggunaan pestisida yang berlebihan pada pertanian modern dapat menyebabkan kerusakan lingkungan, mencemari sumber air dan meningkatkan ketahanan tanaman terhadap hama.

Tanaman rentan terhadap berbagai ancaman seperti penyakit, serangga, kekurangan air, kelebihan unsur hara dan faktor lingkungan lainnya. Kondisi ini dapat mempengaruhi pertumbuhan, produktivitas dan kualitas hasil pertanian. Teknologi *IoT* telah mengalami kemajuan yang signifikan dan dapat diterapkan di sektor pertanian. *IoT* memungkinkan pengumpulan data secara *real-time* dari berbagai sensor yang dipasang di tanaman, tanah, dan lingkungan. Data ini memberikan informasi yang lebih baik untuk mengelola kesehatan tanaman dengan lebih baik (Prasetyo dan Sutopo 2018). Sistem pemantauan kesehatan tanaman berbasis *IoT* memungkinkan pemantauan dan pemantauan tanaman. Informasi mengenai kondisi tanah, kelembapan, tingkat unsur hara, dan kondisi iklim mikro tersedia secara *real-time*, sehingga memungkinkan petani untuk merespons dengan cepat dan mengambil tindakan yang diperlukan. Dengan menggunakan data yang dikumpulkan melalui sistem *IoT*, petani dapat meningkatkan operasi pertanian seperti irigasi, pemupukan, dan pengendalian hama. Hal ini dapat meningkatkan produktivitas tanaman dan kualitas hasil pertanian. Penerapan *IoT* pada pertanian juga dapat membantu meningkatkan penggunaan sumber daya seperti air dan energi. Hal ini sangat penting mengingat tantangan lingkungan yang terkait dengan pengelolaan sumber daya alam.

Di era globalisasi, para petani secara bertahap mulai mengubah cara berpikirnya ke arah yang lebih modern yang melahirkan inisiatif pertanian cerdas. Negara-negara berkembang juga mulai mengadopsi konsep pertanian cerdas. Pertanian cerdas adalah pendekatan pertanian yang menggabungkan teknologi informasi, sensor, perangkat lunak canggih, dan kecerdasan buatan untuk meningkatkan efisiensi, produktivitas, dan keberlanjutan bisnis pertanian (Rachmawati 2021). Berkat perkembangan teknologi dan peningkatan akses informasi, petani di negara berkembang juga dapat menerapkan dan menggunakan pertanian cerdas. teknologi untuk meningkatkan hasil panen, mengurangi kerugian dan meningkatkan kesejahteraan petani. Namun demikian, tantangan seperti akses terhadap teknologi dan infrastruktur yang memadai masih perlu diatasi untuk memastikan penerapan pertanian cerdas yang lebih luas dan adil. Oleh karena itu, diperlukan inovasi untuk mengembangkan sektor pertanian dengan memanfaatkan kemajuan teknologi. Keyakinan tersebut menjadi dasar penulis untuk menciptakan suatu inovasi berupa sistem pemantauan pertumbuhan tanaman.

Perkembangan kompleksitas masalah terkait hama dan penyakit pada tanaman semakin dihadapi secara signifikan oleh para petani dari tahun ke tahun. Kondisi ini diduga disebabkan oleh pengaruh perubahan iklim global terhadap perubahan pola musim hujan dan kemarau. Cuaca lokal yang memiliki keterkaitan erat dengan perkembangan Organisme Pengganggu Tanaman (OPT) menjadi aspek yang sangat penting dalam melakukan pemantauan OPT di pertanian, sebagaimana dikemukakan oleh (Kaparang *et al.* 2011). Hingga saat ini, sistem pemantauan OPT yang diterapkan belum dapat diandalkan sebagai landasan untuk mengambil keputusan terkait pengendalian. Disamping itu, sistem pemantauan OPT membutuhkan upaya besar dalam hal tenaga dan waktu, sehingga mengkonsumsi sumber daya yang signifikan. Untuk mengatasi permasalahan ini, penting untuk mengupayakan alternatif pemantauan yang lebih tepat dan efisien daripada metode pemantauan manual. Salah satu solusi alternatif adalah melalui penerapan kecerdasan buatan atau *artificial intelligence* (AI).

Penerapan kecerdasan buatan sering dikaitkan dengan alat identifikasi dan penyelesaian masalah. Teknologi *artificial intelligence* (AI) memungkinkan pengambilan keputusan dengan menganalisis dan menggunakan data yang tersimpan dalam sistem (Lubis 2021). (Bullock 2019) melakukan eksperimen untuk membandingkan kemampuan manusia dan AI dalam pemecahan masalah. Hasilnya menunjukkan bahwa penggunaan *artificial intelligence* (AI) memberikan kinerja unggul dalam menyelesaikan masalah yang memerlukan analisis tingkat tinggi dengan tingkat ketidakpastian dan kompleksitas yang rendah.

Pemanfaatan kecerdasan buatan *artificial intelligence* (AI) di sektor pertanian untuk mendeteksi hama dan penyakit tanaman masih belum umum. Namun *artificial intelligence* (AI) memiliki potensi besar dalam menyelesaikan masalah dan mengambil keputusan terkait pengendalian hama. Dalam beberapa tahun terakhir, teknologi *artificial intelligence* (AI) mulai diterapkan untuk mengidentifikasi hama dan penyakit dengan tujuan mengendalikan hama tanaman dan meningkatkan hasil pertanian (Chen *et al.* 2020). Penggunaan teknologi *artificial intelligence* (AI) dalam konteks pertanian menetapkan standar penting dalam identifikasi hama melalui informasi dan pembelajaran sistematis. Perkembangan teknologi *artificial intelligence* (AI) memungkinkan petani untuk menganalisis kerusakan tanaman akibat serangan hama dan penyakit, serta mengevaluasi strategi pengambilan keputusan terkait pengendalian hama (Chen *et al.* 2020).

METODE

Analisis Sistem

Analisis sistem dimulai dengan melakukan identifikasi kebutuhan sistem yang ditujukan untuk pengguna (*user*). Kebutuhan sistem terdiri dari data untuk diproses menjadi informasi yang ditampilkan serta sistematisa dan keamanan dalam menggunakan sistem. Hasil analisis ini kemudian digambarkan pada *use case* diagram. Tahap selanjutnya yaitu analisis kebutuhan fungsional dan non fungsional. Fungsi utama sistem pemantauan ini antara lain dapat melakukan akuisisi data, pengiriman data, pengolahan data, dan penampilan informasi pada web. Sistem pemantauan yang dirancang merupakan sistem pemantauan lingkungan berbasis *IoT* dengan empat parameter antara lain suhu nutrisi, suhu udara, kelembaban udara relatif, dan intensitas cahaya. Analisis kebutuhan non fungsional dilakukan untuk menentukan kebutuhan yang tidak berkaitan langsung dengan fungsi utama sistem pemantauan. Rangkaian elektronika dari sensor lingkungan diletakkan di dalam kotak hitam yang berfungsi sebagai pelindung dengan sensor

yang terkoneksi langsung pada perangkat. Perangkat sensor lingkungan ditempatkan pada titiktitik sampel yang akan diukur di dalam rumah tanaman.

Desain Sistem

Desain sistem terdiri dari rancangan rangkaian elektronika, rancangan user interface (UI), rancangan use case diagram, dan rancangan *database*. Secara umum, rancangan UI yang dibuat merupakan halaman utama yang ditampilkan pada user. Halaman utama terdiri dari halaman awal (*dashboard*), halaman sistem pemantauan lingkungan, dan halaman kelola *database* dengan left sidebar untuk lahan pertanian. Dalam pengerjaan sistem ini digunakannya *software* Android Studio dengan bahasa pemrograman java dan untuk proses training model menggunakan bahasa pemrograman *Python* dengan *library Tensorflow* serta *backend* keras, dan untuk pengembangan sistem digunakannya metode Linear Sequential Model, yang memiliki proses sistematis dengan pendekatan sekuensial yang dimulai dari analisis, perancangan, implementasi atau pengkodean dan pengujian

Pengumpulan Basis Data (*Database*)

Hama tanaman (POPT) merupakan faktor pembatas penting dalam produksi tanaman hortikultura. Saat ini, perubahan iklim juga berkontribusi terhadap peningkatan keparahan serangan hama dengan memfasilitasi penyebarannya ke wilayah baru dan mempercepat perkembangannya, sehingga memperparah serangan dan meningkatkan kerusakan tanaman. Untuk mengatasi kerusakan yang disebabkan oleh hama, diperlukan pengelolaan yang komprehensif dan dilakukan dalam bentuk Pengendalian Hama Terpadu (PHT). Langkah pertama dalam PHT adalah memantau populasi hama dan mampu mengidentifikasi hama secara akurat. Namun pemantauan di lapangan memerlukan banyak waktu dan tenaga, terutama dalam skala besar. Selain itu, menentukan penyebab gejala memerlukan tingkat keahlian dan pengalaman tertentu yang tidak dimiliki setiap individu. Meningkatnya permintaan akan makanan dan semakin populernya kegiatan berkebun di rumah menyoroti pentingnya mengidentifikasi hama secara akurat dan cepat. Oleh karena itu, diperlukan adanya teknologi peringatan dini yang dapat membantu petani meminimalisir serangan hama dan penyakit. Basis data yang disusun berdasarkan berbagai sumber akan mencakup nama tanaman, hama dan penyakit, kelembaban udara, umur pohon, suhu udara, titik serangan, tindakan pencegahan, dan metode pengendalian.

Data citra yang akan dilakukan diambil secara langsung di lahan pertanian menggunakan kamera yang ada pada mesin PROPLANT. Data citra yang diambil berupa gejala tanaman yang mengalami kekurangan unsur hara atau terkena hama dan penyakit. Pengambilan citra sampel dilakukan dengan mencari objek target pada tanaman kemudian sistem memotret tanaman tersebut. Hasil gambar tersebut dilakukan proses augmentasi untuk meningkatkan kuantitas data citra. Augmentasi citra adalah teknik untuk memperbanyak citra dalam set data dengan cara menerapkan transformasi pada citra yang sudah ada (Zhang *et al.* 2020). Data citra yang diperoleh disimpan menjadi *database* pada *cloud hosting* dan kemudian diolah menggunakan sistem pemrograman yang dirancang.

Indeks spektral bekerja dengan menghitung panjang gelombang dari komposisi band. Macam indeks spektral sangat beragam. Monitoring kesehatan menggunakan empat indeks spektral, indeks tersebut yaitu: Indeks vegetasi merupakan nilai yang diperoleh dari gabungan beberapa spektral band spesifik dari citra penginderaan jauh. Gelombang indeks vegetasi diperoleh dari

energi yang dipancarkan oleh vegetasi pada citra penginderaan jauh untuk menunjukkan tingkat kehijauan dan sebaran dari suatu tanaman

Pembentukan Model CNN

Convolutional neural network adalah salah satu tipe *neural network* yang biasa digunakan pada data *image* atau gambar. CNN dapat digunakan untuk mengetahui serta mengidentifikasi objek pada suatu gambar. Metode kerja CNN memiliki kesamaan pada MLP, namun dalam CNN setiap neuron dipresentasikan dalam bentuk dua dimensi, tidak semacam MLP yang tiap neuron hanya berukuran satu dimensi menampilkan arsitektur MLP yang mempunyai layer (kotak merah serta biru) dengan tiap-tiap layer berisikan neuron (lingkaran putih). MLP menerima input data satu ukuran serta menyebarkan data tersebut pada jaringan hingga menghasilkan output. Pada CNN operasi linear memakai operasi konvolusi, sedangkan bobot tidak lagi satu dimensi saja, tetapi berupa empat dimensi yang merupakan kumpulan kernel konvolusi karena sifat proses konvolusi, maka CNN hanya bisa digunakan pada data yang mempunyai struktur dua dimensi seperti citra dan suara. Pembentukan model CNN dilakukan menggunakan bahasa pemrograman Python melalui *framework* tensorflow. Python merupakan bahasa pemrograman yang interpretatif multifungsi dengan filosofi perancangan yang berfokus pada tingkat keterbacaan kode (Syahrudin dan Kurniawan 2018). Bahasa pemrograman Python menyediakan berbagai macam fitur, bahasa pemrograman 6 yang dinamis dan dilengkapi manajemen memori secara otomatis (Chandra 2021). Tensorflow merupakan salah satu *framework* machine learning bersifat open source yang didukung oleh Google dalam pengembangan penelitian berbasis komputer cerdas (Abadi 2016). Dalam rancangan ini model CNN dirancang untuk mengenali pola visual piksel citra dengan praproses seminimal mungkin dan ragam variasi, serta tahan terhadap distorsi dan transformasi geometri yang sederhana. Model dikembangkan dengan satu input layer, tiga *hidden layer*, dan satu output layer dengan channel RGB. Proses identifikasi citra OPT dikembangkan dalam dua fase yaitu fase pertama melakukan data latih dan fase kedua melakukan data uji.

Implementasi sistem

Implementasi sistem pemantauan lingkungan dilakukan pada titik lahan yang ditentukan. Perangkat sensor ditempatkan pada berbagai titik untuk akuisisi data kondisi lingkungan selama satu musim budidaya. Perangkat sensor akan membaca data lingkungan setiap detik kemudian dihitung rata-rata data dalam satu menit dan dikirimkan pada *database* per menit. Data tersebut kemudian diolah dan ditampilkan pada web melalui server lokal.

HASIL DAN BAHASAN

Pertanian memegang peranan strategis dalam perekonomian suatu negara. Namun, dalam beberapa tahun terakhir, peran pertanian dalam pembangunan ekonomi melambat. Beberapa alasannya adalah kurangnya infrastruktur pertanian. dan pengendalian tanaman selalu mengandalkan pengamatan langsung. Perkembangan era Revolusi Industri 4.0 yang ditandai dengan digitalisasi dan komputerisasi telah mengubah seluruh aspek produksi industri berbasis teknologi digital. Perubahan ini juga berdampak pada sektor pertanian. Teknologi *Internet of Things (IoT)* semakin banyak digunakan di sektor pertanian, misalnya penggunaan *drone* yang terintegrasi dengan *IoT* untuk meningkatkan efisiensi pemantauan tanaman. Namun pemanfaatan teknologi tersebut masih belum sepenuhnya optimal pada sektor pertanian Indonesia, capaian teknologi hanya mencapai sekitar 12,6 hingga 13,2%. Diperlukan lebih

banyak upaya untuk mengintegrasikan teknologi ini secara lebih luas ke dalam pertanian guna mendukung pertumbuhan ekonomi di sektor ini.

Dampak negatif terhadap kesejahteraan petani adalah buruknya hasil panen yang berdampak pada berkurangnya pendapatan. Meskipun pemerintah berupaya meminimalkan risiko ketidakstabilan di sektor pertanian dan mengatasi kerugian petani dengan sejumlah program yang dijalankan, namun tantangan utama yang harus diatasi adalah mengatasi kegagalan panen (Sari *et al.* 2022). Kegagalan panen disebabkan oleh serangan hama, kekeringan dan bencana alam. Laju kehilangan hasil panen akibat permasalahan tersebut adalah sebesar 0,21%, 0,50% dan 0,06% dari luas areal budidaya. wilayah. Kehilangan hasil panen akibat serangan hama saja sudah mencapai 25% (Saputra *et al.* 2021).

Kementerian Pertanian sebagai wakil pemerintah telah melaksanakan beberapa program untuk membantu mengatasi permasalahan petani seperti Gratiexs, KUR, Tani Kastras dan AUTP. AUTP merupakan bagian dari inisiatif untuk mengurangi kerugian bagi petani dan diatur dalam Undang-Undang Nomor 19 Tahun 2013 tentang Perlindungan dan Pemberdayaan Petani. Hal ini dilanjutkan dengan diterbitkannya Peraturan Menteri Pertanian Nomor 40 Tahun 2015 tentang Fasilitas Asuransi Pertanian yang bertujuan untuk mendorong petani agar dapat melindungi kegiatan agribisnis dan karirnya (Sutiknjo *et al.* 2017). Asuransi pertanian merupakan salah satu sarana manajemen risiko yang dapat dimanfaatkan oleh petani. Program AUTP dilaksanakan untuk membantu petani mengatasi kerugian akibat gagal panen dan bencana alam. Asuransi pertanian ini melibatkan pembiayaan pertanian dari pihak ketiga, baik swasta, perusahaan atau lembaga pemerintah, yang membayar premi tertentu (Marphy dan Priminingtyas 2019)

Metode pemantauan tanaman secara tradisional masih umum digunakan namun terbukti tidak efektif karena memerlukan banyak waktu, tenaga, biaya dan sumber daya manusia. Selain itu, manusia memiliki keterbatasan dalam hal konsistensi, interpretasi subjektif, dan reliabilitas ketika mengamati seluruh tanaman (Prasojo *et al.* 2020). Perkembangan teknologi telah menyebabkan berkembangnya sistem pemantauan tanaman. Pemanfaatan *drone* untuk fotografi sudah menjadi metode yang digunakan untuk memantau wilayah yang luas (Hidayat dan Mardiyanto 2017). Menurut penelitian Utomo (2018), penggunaan *drone* memiliki keuntungan dalam meningkatkan kecepatan pemantauan daratan dengan menghasilkan gambar dengan resolusi spasial tinggi, pengoperasian sederhana dan tidak memerlukan biaya, serta tidak terhalang oleh awan. Namun metode pengawasan *drone* juga memiliki kelemahan seperti sulitnya mengukur efektivitasnya secara pasti, kurangnya sumber daya manusia yang mumpuni untuk mengoperasikan *drone*, dan masih banyak lagi kelemahan lainnya. Sehingga diperlukan suatu inovasi sistem dengan memanfaatkan teknologi yang dapat memudahkan petani dalam melakukan pemantauan dan menganalisis kesehatan tanaman agar dapat meningkatkan produktivitas tanaman. Sistem yang diprogram harus mengutamakan kenyamanan pengguna yaitu petani agar dapat mengerti program yang ada baik pada sistem.

Hasil analisis sistem

Analisis Kebutuhan *Hardware*

Analisis kebutuhan hardware berkaitan dengan kebutuhan sensor untuk parameter lingkungan yang akan dilakukan pemantauan (*monitoring*). Hasil analisis pada lahan akan menunjukkan parameter lingkungan mikro yang perlu dilakukan pemantauan antara lain suhu nutrisi, suhu udara, kelembapan udara relatif, intensitas cahaya, dan tingkat kerusakan tanaman akibat OPT.

Perangkat Wi-Fi dibutuhkan sebagai gateway untuk pengiriman data. Selain itu, dibutuhkan juga komputer server sebagai perangkat penerima, pengolah, dan penampil data sehingga secara fungsional perangkat elektronika (*node sensor*) dapat berfungsi dengan baik. Analisis non fungsional berkaitan dengan aspek yang tidak berkaitan langsung dengan fungsi utama perangkat elektronika. Desain alat berbentuk tiang panjang dengan tinggi 2,5 m yang dilengkapi dengan panel surya sebagai sumber energi dari alat tersebut. Perangkat sensor ditempatkan pada kotak hitam yang terdapat pada alat PROPLANT yang berfungsi untuk melindungi sensor dari kerusakan yang oleh lingkungan. Kotak yang dirancang memiliki ukuran berukuran 11,5 x 18,5 x 6,3 cm berbahan PVC dan kedap air. Penggunaan kotak hitam dapat memudahkan ketika proses perakitan komponen dan penempatan *node sensor* pada berbagai tempat yang berbeda. Selain itu, kotak ini juga berfungsi untuk memudahkan penyimpanan setelah digunakan.

Analisis Kebutuhan Software

Analisis kebutuhan *software* untuk pengembangan web dan aplikasi berkaitan dengan interaksi antara sistem dengan pengguna. Sistem informasi yang dikembangkan berbasis web dan aplikasi sehingga dilakukan analisis desain tampilan UI/UX yang dibutuhkan oleh pengguna. Desain tampilan menghadirkan desain sistem yang mudah digunakan agar user dapat mengerti terkait penggunaan sistem yang dirancang dan dapat optimal dalam pengoperasisannya di lahan. Tampilan desain memperlihatkan tampilan terkait kesehatan tanaman secara jelas sehingga menjadikan penggunanya lebih nyaman dan mudah dalam menganalisis dan menindaklanjuti hasil analisa sistem yang ditampilkan pada web maupun aplikasi.

Berdasarkan hasil analisis, kebutuhan utama pengguna yaitu tampilan untuk mengakses data lingkungan secara mudah. Selain itu, pengguna juga membutuhkan halaman awal (*dashboard*) sebagai tampilan informasi umum dari *greenhouse* dan halaman keamanan identitas pengguna untuk mengelola *username* dan *password*. Halaman login ditambahkan untuk keamanan sistem, kemudian halaman kelola *database* untuk memudahkan admin dalam mengelola *greenhouse* dan user. Halaman-halaman sistem pemantauan tersebut dijelaskan sebagai berikut:

a. Halaman Login

Halaman login merupakan tampilan awal ketika pengguna mengakses alamat web sistem pemantauan yang digunakan seorang admin sebagai autentikasi untuk masuk kedalam web. Halaman ini berfungsi sebagai sistem keamanan dalam mengakses web menggunakan *username* dan *password* pengguna.

b. Halaman Awal (*Dashboard*)

Halaman *dashboard* merupakan tampilan awal setelah pengguna berhasil melakukan login pada sistem. Halaman ini berisi kumpulan informasi umum terkait rumah tanaman yang sedang diakses.

c. Halaman Sistem Pemantauan Lingkungan

Halaman ini berfungsi untuk menampilkan data-data lingkungan di lahan.. Data lingkungan mikro yang ditampilkan meliputi suhu nutrisi, suhu udara, kelembaban udara relatif, dan intensitas cahaya di dalam rumah tanaman.

d. Halaman Kelola *Database*

Halaman kelola *database* hanya dapat diakses oleh admin yang digunakan untuk mengelola *database*. Halaman ini memiliki fitur menambahkan rumah tanaman atau registrasi pengguna (*user*) baru yang dapat mengakses sistem.

Rancangan basis data

Akuisisi data lingkungan

Pengumpulan data lingkungan dilakukan melalui pengoperasian node sensor yang ditempatkan di tiga lokasi berbeda: blok pabrik A, B dan C. Sensor ini membaca data lingkungan setiap menit dan mengirimkan data ke *server* secara *real time* melalui sinyal Wi-Fi. Pengumpulan data ini dilakukan pada musim tanam. Namun secara fungsional, node sensor akan terus mengirimkan data selama ada listrik yang mengalir melaluinya dan ada sinyal Wi-Fi di dekatnya. Algoritma program pengoperasian sensor ini diawali dengan mendeklarasikan pustaka yang akan digunakan. Selanjutnya dilakukan *setting pin* sensor GPIO pada perangkat ESP32 dan atur variabel untuk menyimpan data yang diperoleh dari masing-masing sensor. Proses selanjutnya adalah membuat koneksi antara ESP32 dan Wi-Fi berdasarkan nama dan kata sandi Wi-Fi yang diberikan. Setelah koneksi terjalin, sensor akan memulai proses pembacaan data berupa tegangan. Data tersebut kemudian diinterpretasikan menggunakan perpustakaan yang telah ditentukan sebelumnya. Data ini akan diubah menjadi data siap kirim menggunakan persamaan kalibrasi yang telah dimasukkan ke dalam kode program. Langkah terakhir dari algoritma ini adalah proses pengiriman data dari ESP32 ke *database* di komputer server melalui koneksi sinyal Wi-Fi, berdasarkan nama tabel target di *database*.

Setiap node sensor memiliki tabel *database* unik, dan untuk memastikan keakuratan dan mengurangi potensi kesalahan selama transmisi data, metode pengiriman data POST terpisah digunakan untuk setiap board. Tujuannya untuk menghindari penumpukan atau kehilangan data yang mungkin disebabkan oleh kesalahan sensor. Proses transfer data ini memiliki dua langkah. Langkah pertama adalah mengirimkan data sensor ke file REST API (*Representational State Transfer Application Programming Interface*). Kemudian, pada langkah kedua, data dikirim dari file REST API ke tabel *database* yang sesuai dengan node sensor.

Pembentukan model CNN

Proses umum membangun model ini dimulai dengan data gambar yang ditangkap oleh kamera. Tujuan dari langkah ini adalah untuk mengembangkan model yang akan diuji pada data eksperimen. Arsitektur CNN biasanya dibagi menjadi dua bagian, yaitu lapisan ekstraksi fitur dan lapisan klasifikasi. Lapisan ekstraksi fitur bertanggung jawab untuk mengubah gambar menjadi representasi digital dan kemudian melakukan perhitungan *matriks*. Bagian lapisan ekstraksi fitur menunjukkan tiga jenis operasi pada data masukan, yaitu lapisan konvolusi, lapisan pengumpulan, dan unit linier yang diperbaiki (ReLU). Ketiga jenis aktivitas ini diulangi di setiap lapisan untuk mempelajari dan mendeteksi fitur yang berbeda.

Langkah-langkah arsitektur CNN dimulai dengan konvolusi menggunakan lapisan konvolusi dan lapisan filter, dilanjutkan dengan fungsi aktivasi yang diperoleh dari proses konvolusi. Hasilnya kemudian digabungkan melalui lapisan agregasi. Proses konvolusi melibatkan penggunaan kernel yang berulang kali menerapkan satu fungsi ke keluaran fungsi lainnya. Tujuan dari langkah konvolusi pada data citra adalah mengekstrak fitur dari citra masukan yang akan menghasilkan transformasi linier berdasarkan informasi spasial yang terdapat pada citra (Suartika *et al.* 2016).

Kemudian dilakukan layer *pooling* untuk memperkecil ukuran data gambar. Tujuan dari layer *pooling* dalam pemrosesan gambar adalah untuk meningkatkan invariansi posisi objek (Rohim *et al.* 2019). Selain itu, *pooling* layer menggabungkan fitur serupa menjadi satu, mengurangi dimensi representasi dan mencegah *overfitting* (Yu *et al.* 2017).

Terdapat dua jenis *pooling* yang umum digunakan, yaitu *average pooling* dan *max pooling*. *Max pooling* mengambil fitur terbesar dari suatu layer untuk membentuk *matriks* baru yang lebih kecil dari sebelumnya (Miranda *et al.* 2020). Dalam implementasinya, *max pooling* memilih piksel dengan nilai maksimum dan menyusunnya menjadi *matriks* baru (Albawi *et al.* 2017). Salah satu cara paling umum dan mendasar untuk mengenalkan non-linearitas dalam jaringan saraf adalah melalui penggunaan fungsi *rectified linear unit* (ReLU). ReLU memungkinkan pelatihan data yang lebih efektif dan efisien dengan mempertahankan nilai positif dan memetakan nilai negatif menjadi nol (Albawi *et al.* 2017).

Model arsitektur CNN yang memproses gambar dengan ukuran awal 220 x 220 piksel dan 3 saluran RGB yang termasuk dalam model arsitektur CNN. Prosesnya dimulai dengan melakukan konvolusi pada setiap channel menggunakan kernel 3 x 3 dan menerapkan aktivasi ReLU. Fungsi aktivasi ReLU berperan mencegah pertumbuhan perhitungan secara eksponensial dan mengirimkan hasilnya ke tahap konvolusi berikutnya. Hasil konvolusi ini mengubah ukuran gambar menjadi 218 x 218 piksel menggunakan 32 filter. Langkah selanjutnya adalah menerapkan *max pooling* untuk mengurangi dimensi spasial volume peta fitur keluaran, yang juga dikenal sebagai *downsampling*. Fitur *max binning* mengubah ukuran gambar menjadi 109 x 109 piksel dengan 32 lapisan.

Langkah selanjutnya, pada blok masukan dengan ukuran citra 109 x 109 piksel dan 32 lapisan, dilakukan proses untuk membentuk lapisan konvolusional kedua. Proses ini terdiri dari 64 filter dengan ukuran kernel 3 x 3 dan diterapkan aktivasi ReLU. Hasilnya adalah gambar berukuran 107 x 107 piksel dan memiliki 64 filter. Kemudian dilakukan *binning* maksimal untuk memperkecil dimensi spasial keluaran sehingga ukuran gambar bertambah menjadi 53 x 53 piksel dengan 64 lapisan. Proses ini dilanjutkan dengan melakukan konvolusi ulang menggunakan 128 filter dengan ukuran kernel 3 x 3 dan diterapkan aktivasi ReLU. Hasilnya adalah gambar berukuran 51 x 51 piksel dan memiliki 128 filter. Langkah terakhir dalam proses ini adalah menerapkan kembali *binning* maksimum pada keluarannya, sehingga ukuran gambar menjadi 25 x 25 piksel dengan 128 lapisan.

Kemudian pada blok masukan dengan ukuran citra 109 x 109 piksel dan 32 lapisan dilakukan proses untuk membentuk lapisan konvolusional kedua. Proses ini terdiri dari 64 filter dengan ukuran kernel 3 x 3 dan diterapkan aktivasi ReLU. Hasilnya adalah gambar berukuran 107 x 107 piksel dan memiliki 64 filter. Setelah langkah konvolusi, dilakukan *max pooling* untuk mengurangi ruang keluaran, mengubah ukuran gambar menjadi 53 x 53 piksel dengan 64 lapisan. Proses ini kemudian dilanjutkan secara revolusioner menggunakan 128 filter dan ukuran kernel 3 x 3, dan aktivasi ReLU diterapkan. Hasilnya adalah gambar berukuran 51 x 51 piksel dengan 128 filter. Langkah terakhir dalam proses ini adalah menerapkan kembali *binning* maksimum pada keluaran, sehingga menghasilkan gambar berukuran 25 x 25 piksel dengan 128 lapisan.

Kemudian, dari tahap lapisan konvolusi ke tahap lapisan/lapisan padat yang terhubung penuh, digunakan fungsi aktivasi ReLU untuk memperoleh nilai keluaran. Pada langkah terakhir, fungsi softmax digunakan dengan keluaran 4 node, sehingga membuat neuron yang saling

berhubungan yang mewakili objek dalam gambar. Data yang dihasilkan akan disimpan dalam model.

Implementasi sistem

Tampilan pengguna (UI) dikembangkan dalam bahasa pemrograman PHP dan HTML menggunakan perangkat lunak *Visual Studio Code*. Desain tata letak disederhanakan untuk memudahkan pengguna mengakses sistem, dengan penekanan pada penyediaan pratinjau konten halaman untuk memudahkan penyusunan kode program. Tiga layout utama yang dirancang adalah halaman beranda (*dashboard*), halaman data lingkungan, dan halaman manajemen *database*. Seluruh tata letak memiliki empat komponen utama: header, sidebar kiri, konten utama, dan *footer*. *Header* berfungsi sebagai batas atas sistem dan menyediakan tombol untuk menampilkan/menutup sidebar kiri serta tombol logout. Sidebar kiri berfungsi sebagai panel navigasi untuk beralih antar halaman. Posisi sidebar di sebelah kiri dipilih berdasarkan aturan kiri-ke-kanan, atas-ke-bawah (LRTB), mengikuti kecenderungan pengguna untuk membaca dari kiri atas ke kanan bawah. Konten utama berfungsi sebagai area tampilan informasi pada halaman. Setiap halaman memiliki konten utama yang berbeda. Dasbor mencakup dua bagian konten: informasi tanaman dan pertanian. Pada halaman data lingkungan, konten utama mencakup informasi tanaman di bagian atas, diikuti dengan grafik yang menampilkan data lingkungan. Sedangkan, pada halaman pengelolaan *database*, konten utamanya berisi tabel-tabel yang dapat diedit oleh administrator.

Pengujian sistem

Pengujian sistem multi-pertanian bertujuan untuk mengevaluasi kebutuhan kapasitas penyimpanan memori dalam setiap blok pabrik. Kotak Sensor Lingkungan memerlukan 184,15 KB memory *database* (dalam format data SQL) per hari dengan data yang dikirim setiap menit, yang setara dengan sekitar 5,5 MB selama musim tanam (30 hari). Jika digunakan 4 kotak sensor pada blok instalasi B, maka kapasitas memori yang dibutuhkan adalah 22 MB untuk setiap tahapan pertumbuhan. Instalasi blok A dan C hanya memerlukan 1 buah box sensor, sehingga kapasitas memori yang dibutuhkan sekitar 5,5 MB. File sistem yang berisi kode program untuk mengoperasikan Web Pemantauan Lingkungan mempunyai kapasitas 209 MB/lahan, sehingga total kapasitas yang dibutuhkan adalah Penyimpanan satu blok lahan selama masa pertumbuhan adalah sekitar 214,5 MB.

Pengujian ini juga bertujuan untuk mengevaluasi dampak frekuensi transmisi data terhadap kapasitas *database* yang dibutuhkan pada setiap node sensor. Tiga skema pengiriman data diuji, yaitu pengiriman data setiap 10 menit, 30 menit, dan 60 menit. Pengiriman data setiap 10 menit biasa digunakan pada sistem kendali, sedangkan pengiriman data setiap 30 dan 60 menit biasa digunakan pada sistem monitoring. Persyaratan *memory database* format SQL per sistem pengiriman data, dihitung untuk setiap tahun berturut-turut, adalah sekitar 7,14; 2,69; dan 1,57 MB per tahun. Data ini kemudian digunakan untuk menghitung biaya sewa *database* saat menggunakan sistem *monitoring*. Sistem monitoring yang dikembangkan dapat diakses melalui server lokal atau *online* dengan menyelesaikan proses *hosting*. Ada dua pilihan hosting, yaitu *web hosting* (cocok untuk skala kecil hingga menengah) dan *cloud hosting* (ideal untuk skala besar). Dalam sistem pemantauan ini, perbedaan utama yang perlu diperhatikan berkaitan dengan kapasitas dan jangkauan penyimpanan data. *Web hosting* memiliki kapasitas *database*

sekitar 3 GB tanpa domain, sedangkan *cloud hosting* memiliki kapasitas *database* sekitar 6 GB dengan domain sudah ada di server (Hostinger 2023).

Pada tahap ini pengujian model dijalankan sebanyak 3 kali dengan menggunakan jumlah yang berbeda yaitu 10, 15, dan 20. Setiap menjalankan dilakukan pengujian sebanyak 100 citra foto pada setiap kelasnya. Dalam CNN, proses pembelajaran yang berulang bertujuan mencapai konvergensi nilai bobot, karena nilai yang sesuai tidak dapat diketahui. Pada tahap ini diujikan beberapa nilai untuk mencapai nilai akurasi yang optimum. Keakuratan model CNN dianggap akurat ketika nilai akurasi di atas 70%. Hasil pengujian menggunakan parameter nilai menunjukkan jumlah yang digunakan berpengaruh terhadap tingkat akurasi model. Semakin banyak jumlah yang digunakan maka semakin tinggi tingkat akurasi yang didapat. Hal ini dapat dilihat dari rata-rata hasil uji setiap kelasnya. Hasil ini sejalan dengan penelitian Yuliani *et al.* 15 (2019) yang menunjukkan bahwa perbandingan jumlah berpengaruh terhadap nilai akurasi sehingga semakin banyak jumlah akan meningkatkan nilai akurasi. Ada beberapa kasus yang terjadi pada model CNN yang menunjukkan semakin besar jumlah tidak membuat akurasi naik. Hasil pengujian akan dianalisa oleh sistem dengan model CNN dan akan diproses menjadi suatu data yang diprogram untuk menampilkan tingkat kesehatan tanaman dan jenis hama dan penyakit yang menyerang. Hasil analisis tersebut akan diproses lagi oleh sistem yang telah diprogram untuk memberikan rekomendasi tindakan pencegahan maupun pengendalian yang akan memudahkan petani dalam proses budidaya secara cepat dan tepat yang nantinya akan berkorelasi terhadap produktivitas dan efisiensi biaya produksi. Pengujian Model CNN berdasarkan sistem dilakukan berdasarkan sistem yang digunakan untuk mengetahui tingkat akurasi model jika hasil citranya diperoleh dari kamera PROPLANT. Data citra yang digunakan untuk menguji akurasi kamera yaitu data citra tanaman. Jumlah sampel data citra foto baik dari kamera mencukupi untuk dilakukan pengujian.

PRO-PLANT dapat terealisasi dan memberikan dampak kebermanfaatannya yang sangat besar dalam perkembangan sistem pertanian yang berkelanjutan. Adapun pihak-pihak yang dapat mengimplementasikan serta peranannya dalam realisasi sistem monitoring ini dapat dilihat pada Tabel 1.

Tabel 1 Pihak dan peran untuk pengimplementasian PRO-PLANT

No	Pihak	Bagian	Peran Pihak terkait
1		Kementrian pertanian	Pemantauan dan pengembangan melalui program berkelanjutan
2		Badan Riset dan Inovasi Nasional (BRIN)	Evaluasi, komentar dan Kerjasama Pembangunan PROPLANT
3		Badan perencanaan Pembangunan Nasional (Bappenas)	Memberikan lisensi, merencanakan untuk membantu mengembangkan dan mengembangkan PRO- PLANT
4	Akademisi	Peneliti dan Perguruan Tinggi	Evaluasi dan kembangkan metode dan tingkatkan efisiensi PRO-PLANT

No	Pihak	Bagian	Peran Pihak terkait
5	Swasta dan Industri	Perusahaan Swasta	Menyediakan dukungan mempunyai kemampuan finansial dan menjadi mitra internal mengembangkan PROPLANT
6	Masyarakat	Petani dan Masyarakat Umum	Sebagai penyalur output dan target peningkatan sumber daya yang berkualitas

SIMPULAN

Sektor pertanian mempunyai peranan penting dalam menjamin ketahanan pangan nasional. Namun, masih banyak tantangan yang perlu diatasi di sektor pertanian. Meningkatnya konversi lahan dan tingginya serangan hama dan penyakit tanaman (OPT) menyebabkan tingkat kegagalan panen yang mengkhawatirkan, sementara penggunaan teknologi di sektor pertanian masih terbatas. Pemantauan pertumbuhan tanaman saat ini masih mengandalkan cara konvensional, dan penggunaan *drone* untuk memantau tanaman masih belum sepenuhnya efektif. PRO-PLANT merupakan inovasi teknologi terintegrasi untuk memonitor Organisme Pengganggu Tanaman (OPT) dengan tujuan mewujudkan pertanian yang berkelanjutan serta ketahanan pangan. PRO-PLANT dilengkapi dengan teknologi terpadu yang memantau kondisi tanaman, serangan OPT, dan lingkungan, sehingga dapat meningkatkan efektivitas pengendalian. Pada akhirnya, PRO-PLANT diharapkan menjadi solusi nyata untuk mencapai pertanian yang berkelanjutan dan mencapai ketahanan pangan nasional pada tahun 2045. Diperlukan kerjasama yang erat antara lembaga pemerintahan, akademisi, sektor swasta, media, dan masyarakat untuk sukses mewujudkan PRO-PLANT ini. Dengan demikian, metode pemantauan tanaman dapat ditingkatkan, dan upaya menuju pertanian yang berkelanjutan serta ketahanan pangan dapat terlaksana.

SARAN

Karya tulis ini perlu terus dilakukan upaya perbaikan diantaranya proses pengolahan citra yang perlu diprogram dengan baik agar dapat diproses dan menampilkan hasil proses yang tepat dan dimengerti petani. Kemudian menggunakan dataset yang seimbang setiap kelasnya, selain itu resolusi citra pada tahap *preprocessing* dapat ditingkatkan. Proses tersebut diharapkan dapat menaikkan akurasi validasi dan mengurangi *overfitting*. Proses pelatihan pada CNN membutuhkan komputasi yang besar, oleh karena itu penggunaan GPU dibutuhkan pada saat pelatihan model untuk menghemat waktu komputasi. Pada pengembangan model deteksi OPT menggunakan *artificial intelligence of things* diharapkan dapat terus dikembangkan dalam pengembangan aplikasi website pada smartphone.

DAFTAR PUSTAKA

- Abadi M. 2016. *Tensorflow: A system for large-scale machine learning* 12th USENIX symposium on operating system design and implementation. hlm: 265-283.
- Bullock JB. (2019). Artificial intelligence, discretion, and bureaucracy. *American Review of Public Administration*. 49(7):751-761.

- Chen CJ, Huang YY, Li YS, Chang CY, Huang YM. 2020. An *AIoT* based smart agricultural system for pests detection. *IEEEAccess*. Vol 8:180750-180761.
- Chandra NI. 2021. Klasifikasi data radar menggunakan algoritma convolutional neural network (CNN). *Journal of Computer and Information Technology*. 4(2):115-121
- Hidayah I, Yulhendri, Nora S. 2022. Peran Sektor Pertanian dalam Perekonomian Negara Maju dan Negara Berkembang : Sebuah Kajian Literatur. *Jurnal Salingka Nagari*. 1 (1) : 28-37
- Hostinger. 2023. Harga Layanan & Produk Hosting. [diakses 2023 Nov 10]. <https://www.hostinger.co.id/harga>
- Kaparang CL, Pelealu J, Salaki ChL. 2011. Populasi dan intensitas serangan *Paraeucosmetus pallicornis* pada tanaman padi di Kabupaten Minahasa Selatan. *Eugenia*. 17(3):171-178.
- Lubis MSY. 2021. Implementasi artificial intelligence pada sistem manufaktur terpadu. *SEMNASSTEK UISU*. hlm: 1-7.
- Marphy TM dan Priminingtyas DN. 2019. Analisis faktor-faktor yang mempengaruhi tingkat partisipasi petani dalam program asuransi usahatani padi (AUTP) di Desa Watugede, Kecamatan Singosari, Kabupaten Malang. *HABITAT*. 30(2): 62-70. DOI:10.21776/ub.habitat.2019.030.2.8.
- Prasetyo H dan Sutopo W. 2018. Industri 4.0: telaah klasifikasi aspek dan arah perkembangan riset. *Jurnal Teknologi Industri*. 13(1): 17-26. DOI: 10.14710/jati.13.1.17-26.
- Rachmawati RR. 2021. Smart farming 4.0 untuk mewujudkan pertanian indonesia maju, mandiri, dan modern. *Forum Peneliti Agro Ekonomi*. 38(2): 137-154. DOI:10.21082/FAE.V38N2.2020.137- 154.
- Rohim A, Yuita AS, Tibyani. 2019. *Convolutional neural network* (CNN) untuk pengklasifikasian citra makanan tradisional. *Jurnal Pengembangan Teknologi Informasi dan Ilmu Komputer*. 3(7):7037-7042.
- Saputra RA, Wasyianti S, Supriatna A, Saefuding DF. 2021. Penerapan Algoritma Convolutional Neural Network Dan Arsitektur MobileNet Pada Aplikasi Deteksi Penyakit Daun Padi. *Jurnal Swabumi*. 9(2): 184-188. ISSN: 2549-5178.
- Sari DMD, Nurhadi E, Yektiningsih E. 2022. Studi ketertarikan petani terhadap program asuransi usahatani padi sebagai upaya perlindungan petani dari risiko gagal panen. *Jurnal Agroinfo Galuh*. 9(2): 408-421.
- Suartika IW, Wijaya AY, Soelaiman R. 2016. Klasifikasi citra menggunakan convolutional neural network (CNN) pada caltech 101. *Jurnal Teknik ITS*. 5(1):65-69.
- Sudewi S, Ala A, Baharuddin, Farid M. 2020. Keragaman organisme pengganggu tanaman (OPT) pada tanaman padi varietas unggul baru (VUB) dan varietas lokal pada percobaan semi lapangan. *Jurnal Agrikultura*. 31(1):15-24.
- Sutiknjo, Dwi T, Swastika A. 2017. Studi persepsi, sikap dan tingkat partisipasi anggota kelompok tani terkait program asuransi usaha tani padi (autp). *Agrinika*. 1(2):168-89.
- Syahrudin AN, Kurniawan T. 2018. *Input dan output* pada bahasa pemrograman *Python*. *TechnoCOM*. hlm:1-7.

Zhang A, Lipton ZC, Mu L, Smola AJ. 2020. Dive into Deep Learning. <https://d2l.ai>.