

PEMANFAATAN *INTERNET OF THINGS* (IOT) DALAM MONITORING PRODUKTIVITAS TANAMAN SECARA *REAL TIME*: TINJAUAN LITERATUR PADA *SMART HARVESTING*, *YIELD PREDICTION*, DAN *VIRTUAL SENSOR DATA*

Shelvy Rahmadina¹, Sehat Simbolon^{2*}, Naila Fitriani³, Putri Nuralyasari⁴, Putri Ramadhani⁵, Yeni Budiawati⁶

Jurusan Agribisnis, Fakultas Pertanian, Universitas Sultan Ageng Tirtayasa

Corresponding author: sehatsimbolon.28@gmail.com

Abstrak: Penggunaan teknologi *Internet of Things* (IoT) dalam bidang pertanian kini menjadi pendekatan inovatif untuk meningkatkan produktivitas tanaman secara langsung dan berkelanjutan. Artikel ini bertujuan untuk meninjau penerapan IoT dalam tiga aspek utama, yaitu panen cerdas (*smart harvesting*), prediksi hasil panen (*yield prediction*), dan pemanfaatan sensor visual (*virtual sensor data*), dengan merujuk pada berbagai studi terbaru. Tinjauan tersebut menunjukkan bahwa IoT mampu menggabungkan sensor suhu, kelembaban, dan citra tanaman dengan sistem pemrosesan data berbasis kecerdasan buatan, sehingga memungkinkan pemantauan dan pengambilan keputusan secara cepat dan tepat. Implementasi teknologi panen cerdas melalui robotika dan sistem penjadwalan otomatis terbukti meningkatkan efisiensi proses panen. Selain itu, penerapan algoritma *machine learning* seperti LSTM (*Long Short-Term Memory*) dalam estimasi hasil panen memberikan prediksi yang lebih akurat. Penggunaan sensor visual seperti kamera multispektral dan hiperspektral juga mendukung deteksi awal terhadap kondisi tanaman. Meskipun masih dihadapkan pada kendala seperti biaya tinggi, keterbatasan infrastruktur, dan keterampilan petani, pemanfaatan IoT menunjukkan potensi besar dalam mendukung pengembangan pertanian presisi yang efisien, responsif, dan berkelanjutan.

Kata kunci: *Internet of Things* (IoT), prediksi hasil panen, *sensor visual data*, *smart harvesting*

Abstract: The use of *Internet of Things* (IoT) technology in agriculture is now an innovative approach to directly and sustainably increase crop productivity. This article aims to review the application of IoT in three main aspects, namely smart harvesting, yield prediction, and the use of visual sensors, by referring to various recent studies. The review shows that IoT can combine temperature, humidity, and crop image sensors with artificial intelligence-based data processing systems, thus enabling fast and precise monitoring and decision-making. The implementation of smart harvest technology through robotics and automatic scheduling systems has been shown to increase the efficiency of the harvest process. In addition, the application of machine learning algorithms such as LSTM (*Long Short-Term Memory*) in crop yield estimation provides more accurate predictions. The use of visual sensors such as multispectral and hyperspectral cameras also supports early detection of crop conditions. Although still faced with obstacles such as high costs, limited infrastructure, and farmer skills, the use of IoT shows great potential in supporting the development of efficient, responsive, and sustainable precision agriculture.

Keywords: *Internet of Things* (IoT), yield prediction, *sensor visual data*, *smart harvesting*

PENDAHULUAN

Dalam era pertanian modern, teknologi *Internet of Things* (IoT) berperan penting dalam meningkatkan produktivitas melalui sistem monitoring dan pengambilan keputusan berbasis data secara *real-time*. IoT memfasilitasi pemantauan berkelanjutan terhadap suhu, kelembaban, pH tanah, serta pertumbuhan tanaman, sehingga petani dapat merespons perubahan secara cepat. Teknologi ini juga menjawab tantangan pertanian konvensional seperti keterbatasan tenaga kerja dan keterlambatan informasi. Selain itu, IoT tidak hanya menyajikan data *real-time* tetapi juga mendukung otomatisasi dan prediksi hasil panen, terbukti melalui sistem agroindustri berbasis IoT yang memiliki tingkat akurasi tinggi dalam memperkirakan volume dan produktivitas panen (Yusianto et al., 2020).

Salah satu inovasi berbasis IoT adalah sistem pemanenan cerdas (*Smart Harvesting*) yang mengotomatisasi dan menjadwalkan proses panen menggunakan sensor dan perangkat pintar. Teknologi ini memonitor parameter lingkungan dan tingkat kematangan hasil pertanian secara langsung sehingga panen dapat dilakukan pada waktu yang optimal. Implementasi di

Agrowisata Purwosari, Semarang, menunjukkan keberhasilan peningkatan produksi melon madu melalui sensor tanah dan pemupukan otomatis (Rafida et al., 2023). Pengembangan sistem budidaya anggur berbasis IoT juga diterapkan di kawasan tropis untuk efisiensi sumber daya (Ruslianto et al., 2022). Smart farming 4.0 yang mengintegrasikan teknologi ini dinilai mampu mempercepat transformasi pertanian Indonesia menuju sistem yang progresif dan berkelanjutan (Rachmawati, 2020).

Teknologi prediksi hasil panen (*Yield Prediction*) juga memanfaatkan algoritma machine learning seperti *Long Short-Term Memory* (LSTM) untuk mengolah data historis dari sensor IoT, memberikan estimasi akurat terhadap hasil panen. LSTM terbukti efektif dalam memprediksi hasil panen kelapa sawit dengan nilai *Mean Squared Error* (MSE) yang rendah (Ramadhan, 2024). Sementara itu, sensor visual seperti kamera multispektral dan *Red, Green, Blue* (RGB) memungkinkan pemantauan visual tanaman, seperti yang diterapkan dalam sistem *Smart Greenbox* (Samoedra et al., 2023) dan pengolahan citra tanaman dengan Raspberry Pi untuk klasifikasi tanaman (Kamath et al., 2019). Dengan integrasi teknologi ini, IoT mendorong pertanian presisi yang efisien, adaptif, dan berkelanjutan, serta memperkuat peran digitalisasi dalam sistem pertanian global. Oleh karena itu, penulisan artikel ini bertujuan untuk mengkaji potensi pemanfaatan teknologi IoT dalam meningkatkan produktivitas tanaman secara *real-time* melalui *smart harvesting*, *yield prediction*, dan *virtual sensor data*. Dengan meninjau berbagai literatur dan hasil penelitian terkini yang dapat menjadi solusi atas tantangan pertanian konvensional serta mendukung pengembangan sistem pertanian presisi yang lebih adaptif, efisien, dan berkelanjutan melalui integrasi sensor, analitik data, dan kecerdasan buatan.

LANDASAN TEORI

Internet of Things (IoT)

Kemajuan teknologi untuk proses produksi saat ini semakin berkembang. Salah satu sektor yang dapat memanfaatkan perkembangan teknologi adalah pertanian. Teknologi yang digunakan yaitu IoT (Ganesa & Fatma, 2023). IoT merupakan sebuah gagasan dimana seluruh benda di dunia nyata dapat berkomunikasi antara satu sama lain sebagai bagian dari satu kesatuan sistem terpadu dengan jaringan internet sebagai penghubungnya (Efendi, 2018).

IoT awal mula dikenalkan oleh Kevin Ashton saat presentasi di perusahaan Procter & Gamble (P&G) pada tahun 1999 (Ashton, 2010). Awalnya IoT diperkenalkan pada industri manufaktur yang merupakan bagian sekunder perekonomian, kemudian berkembang pada sektor lainnya termasuk sektor primer seperti pertanian, perkebunan, kehutanan, perikanan, dan pertambangan (Hartanto, 2020). Perkembangan IoT pada sektor pertanian menjadi keharusan karena semakin tingginya kebutuhan pangan, sehingga dapat membantu memenuhi kebutuhan (Antony et al., 2020).

Sebelum IoT berkembang, data pertanian dikumpulkan secara manual melalui survei dan sensus, yang membutuhkan banyak waktu dan uang. Kesalahan manusia dan keterlambatan pengambilan keputusan juga dapat terjadi selama proses manual ini. Petani dapat memperoleh data secara real-time dan murah dengan IoT, yang memungkinkan mereka membuat keputusan yang cepat dan tepat berdasarkan data yang akurat dan *up to date* (Ramadani, 2023). IoT dapat menghasilkan *big data* dengan melalui sensor dan perangkat yang terhubung dan secara terus menerus mengumpulkan data seperti teks, gambar, video, dan suara. Analisis *big data* dapat membantu mengetahui lebih banyak tentang pola cuaca, pertumbuhan tanaman, kesehatan ternak, dan efisiensi penggunaan sumber daya. Analisis data besar dapat membantu petani mengoptimalkan hasil pertanian, mengurangi risiko kerugian, dan meningkatkan ketahanan pangan (Morchid et al., 2024).

Produktivitas Tanaman

Produktivitas tanaman adalah hasil panen produk pertanian yang didapatkan dari per satuan luas lahan dalam periode waktu tertentu. Produktivitas dapat dipengaruhi oleh beberapa faktor, seperti faktor internal (*genetic* tanaman) maupun faktor eksternal (lingkungan, teknik budidaya, input pertanian, dan iklim) (Sofian et al., 2022). Terdapat berbagai teknik yang dapat mempengaruhi produksi tanaman, seperti teknik tanam jejar legowo dan SRI (*System of Rice Intensification*) dan penggunaan pupuk organik dan pupuk anorganik yang sudah terbukti mempengaruhi produktivitas tanaman. Penggunaan teknik tersebut untuk mendapatkan pertumbuhan tanaman yang optimal dan meningkatkan hasil serta pendapatan petani (Makmur et al., 2020). Petani diharapkan dapat mengevaluasi kegiatan-kegiatan usaha tani yang telah dijalankan, seperti dalam aspek produksi padi ataupun produktivitas tanaman, penggunaan pupuk organik setiap musim tanam. Dengan memperhatikan jumlah maupun jenisnya, pemakaian pestisida di lahan usahatani, jenis dan tingkat serangan Organisme Pengganggu Tanaman (OPT), kondisi air dan juga biaya usaha tani. Selain mendapatkan hasil produksi yang melimpah, kualitas tetap harus terjaga sehingga petani memiliki daya tawar yang baik di pasaran dan mendapatkan keuntungan yang baik (Makmur et al., 2020).

Selain menggunakan teknik atau metode budidaya yang tepat, terdapat cara lain untuk meningkatkan produktivitas tanaman, yaitu dengan memanfaatkan limbah-limbah, seperti menggunakan pupuk kompos. Untuk meningkatkan kesuburan lahan, dapat menambahkan pupuk organik dengan dosis yang lebih tinggi untuk mengurangi penggunaan pupuk anorganik. Penggunaan tanah yang intensif jika tidak diimbangi dengan manajemen pemupukan yang tepat dan seimbang, produktivitas lahan dan tanaman akan menurun (Zainudin & Kesumaningwati, 2021)

Smart Harvesting

Teknologi *smart harvesting* merupakan salah satu inovasi penting dalam pertanian *modern* yang mengandalkan sensor, data *real-time*, dan sistem otomasi untuk menentukan waktu panen yang paling optimal serta mempercepat proses pemanenan. Dengan memanfaatkan informasi dari sensor visual, suhu, kelembaban, hingga tingkat kematangan tanaman, sistem ini mampu mengidentifikasi secara akurat tanaman yang siap dipanen. (Rachmawati, 2020). Menurut (Jha et al., 2019a) integrasi teknologi sensor dan otomasi dalam proses panen tidak hanya meningkatkan efisiensi kerja, tetapi juga mendukung produktivitas pertanian secara menyeluruh.

Pengembangan teknologi robotik dan penerapannya dalam bidang pertanian menjadi topik yang semakin menarik dan banyak dipertimbangkan, karena penerapan solusi robotik untuk pemantauan tanaman dan panen dianggap memiliki dampak yang signifikan terhadap keuntungan produksi karena memungkinkan proses panen yang otomatis, lebih cepat, dan lebih mudah, serta meningkatkan kualitas dan hasil panen. Selama beberapa tahun terakhir, jumlah penelitian yang dilakukan tentang masalah ini terus meningkat (Zhang et al., 2019).

Smart Harvesting secara otomatis menggunakan robot pada buah atau sayuran, memiliki dampak besar terhadap produktivitas pertanian. Terdapat dua konsep *smart harvesting*, yaitu massal dan selektif. Konsep massal yang melibatkan pemanenan semua buah tanpa pengecualian yang dapat menjadi masalah pada batang dan cabang pohon sehingga merusak pohon. Dengan menggunakan pemanenan selektif, sistem akan menentukan target panen terlebih dahulu, seperti buah matang yang sudah diidentifikasi dengan sensor, kemudian akan dilakukan pemanenan. Menentukan target panen dan tingkat kematangan sangat penting bagi para petani untuk memperkirakan kuantitas dan kualitas hasil panen. Konsep selektif melibatkan seluruh pemindaian tanaman di *greenhouse* untuk menentukan target, sehingga dapat memotong dan memetiknyanya dan hasil panen dapat disimpan (Hafsa et al., 2024).

Yield Prediction

Yield Prediction (prediksi hasil panen) merupakan suatu proses yang bertujuan untuk memperkirakan jumlah hasil panen yang akan diperoleh dari sebuah lahan. Proses ini mempertimbangkan sejumlah faktor yang mempengaruhi, seperti iklim, cuaca, kondisi tanah, serta praktik pertanian yang diterapkan. Dalam beberapa tahun terakhir, penerapan teknologi IoT di sektor pertanian telah menunjukkan kemajuan yang pesat, terutama dalam hal prediksi hasil panen (Malhotra & Firdaus, 2022). Penelitian yang dilakukan oleh (Malhotra & Firdaus, 2022) mengungkapkan bahwa pemanfaatan perangkat IoT, seperti sensor tanah, drone, dan alat pemantau cuaca, memungkinkan pengumpulan data secara *real-time* mengenai variabel-variabel krusial seperti suhu, kelembapan udara, kelembapan tanah, dan kesehatan tanaman.

IoT dengan *cloud computing* dan *Artificial Intelligence* (AI) dapat meningkatkan akurasi prediksi hasil panen (Mustapha et al., 2021). Dengan menggunakan data historis dan analisis tren, petani bisa membuat keputusan lebih baik terkait irigasi dan pemupukan, meningkatkan produktivitas pertanian. Lebih lanjut, penelitian Jha et al., (2019), menunjukkan bahwa algoritma pembelajaran mesin dalam analisis data IoT memberikan wawasan tentang faktor yang mempengaruhi hasil panen. Model prediktif ini bisa membantu petani mengidentifikasi pola yang tidak terlihat dengan metode tradisional, termasuk dampak perubahan iklim pada hasil panen. Hasil ini memperlihatkan bahwa gabungan IoT dan AI meningkatkan efisiensi dan perencanaan jangka panjang untuk ketahanan pangan.

Penelitian yang dilakukan oleh (Singh et al., 2021) menekankan betapa pentingnya kolaborasi antar disiplin ilmu dalam mengembangkan sistem prediksi hasil panen yang lebih efektif. Dengan menggabungkan keahlian di bidang agronomi, ilmu data, dan teknik rekayasa, para peneliti dapat menciptakan model yang lebih akurat dan dapat diandalkan. Sistem ini tidak hanya memberikan manfaat bagi petani besar, tetapi juga dapat diakses oleh petani kecil, sehingga menciptakan kesetaraan dalam akses terhadap teknologi pertanian modern. Oleh karena itu, penerapan IoT dalam prediksi hasil panen memiliki potensi untuk merevolusi cara pertanian yang dilakukan dan meningkatkan ketahanan pangan di tingkat global.

Sensor Visual Data

Teknik pengolahan citra digital yang dipadukan dengan AI, khususnya *deep learning*, telah merevolusi deteksi dini hama dan penyakit tanaman. Dengan memanfaatkan perangkat seperti kamera, drone, atau satelit, citra tanaman diproses melalui tahap proses untuk mengekstraksi fitur penting seperti warna, tekstur, dan bentuk. Model *Convolutional Neural Network* (CNN) memungkinkan otomatisasi *feature engineering* dan mampu mengenali pola kompleks pada tanaman terinfeksi (Alami et al., 2023). Studi oleh (Hartiwi et al., 2020) menunjukkan akurasi deteksi di atas 90%. Implementasi teknologi ini dalam platform *mobile* dan drone memungkinkan pemantauan *real-time* dan respon cepat. Namun, tantangan seperti keterbatasan data, variasi lingkungan, dan efisiensi komputasi di perangkat *edge* masih perlu diatasi. *Transfer learning* menjadi solusi penting untuk meningkatkan keandalan sistem.

Teknologi dapat dimanfaatkan untuk meningkatkan efisiensi dan efektivitas. Dalam pertanian presisi, teknologi penginderaan jauh seperti *sensor visual* menjadi teknologi yang efektif untuk memantau kondisi tanaman secara *real-time*. Teknologi yang dapat digunakan yaitu kamera multispectral dan kamera hiperspektral yang akan menangkap data pada berbagai panjang gelombang cahaya yang tidak dapat dilihat oleh mata manusia (Sukmono & Bashit, 2019). Citra multispektural merupakan citra yang mempunyai saluran multispektrum yang tinggi yang dapat memberikan warna pantulan dan penyerapan sinar elektromagnetik oleh objek yang ditangkap oleh sensor. Citra multispektral memiliki resolusi spasial yang rendah, akan tetapi memberi informasi warna yang tinggi. Kamera yang digunakan adalah kamera tunggal berlensa jamak. Kamera multispektral dapat merekam gambar dalam beberapa band elektromagnetik yang terpisah, yaitu merah, hijau, biru, dan *Near Infrared* (NIR). Kamera

multispectral mendeteksi tingkat kehijauan tanaman, stress air, dan serangan penyakit melalui indeks vegetasi seperti NDVI (*Normalized Differnce Vegetation Indeks*) (Junarto & Djurjani, 2020).

Perkembangan teknologi penginderaan jauh saat ini sedang berkembang, seperti teknologi *airbone hyperspectral* merupakan pengembangan teknologi multispektral yang memiliki ratusan kanal yang sempit, sehingga dapat menghasilkan *spectral* yang berkelanjutan pada setiap objek yang diamati. Data hiperspektral memiliki ratusan dan ribuan kanal yang sempit, data hiperspektral mampu memberikan informasi yang jauh lebih detail dari data biofisik tanaman, sehingga data estimasinya lebih mendekati nilai sesungguhnya (Alami et al., 2023).

METODE

Penelitian ini menggunakan metode kajian *literatur review* untuk mengidentifikasi dan mengevaluasi pemanfaatan teknologi IoT dalam pemantauan produktivitas tanaman secara *real-time*. Sumber data yang digunakan merupakan data sekunder, yang diperoleh melalui penelusuran literatur pada *database* Researchgate dan Google Scholar untuk menemukan jurnal-jurnal ilmiah yang relevan. Pemilihan jurnal disesuaikan dengan kesesuaian dengan fokus kajian, yaitu implementasi IoT pada proses *smart harvesting*, *yield prediction*, dan *virtual sensor data*.

Jurnal-jurnal yang telah ditemukan kemudian diseleksi berdasarkan relevansi dengan topik penelitian. Sebelum dilakukan penelitian lebih lanjut, penulis menyajikan ringkasan dalam bentuk tabel yang memuat informasi seperti nama penulis, metode penelitian, instrumen yang digunakan, jenis intervensi teknologi serta hasil utama dari setiap studi. Hasil pencarian ditemukan 20 jurnal dengan 12 jurnal rujukan bersumber Google Scholar dan 8 jurnal rujukan bersumber Researchgate yang kemudian diseleksi lebih lanjut sehingga diperoleh 6 jurnal utama yang memenuhi kriteria yang telah melakukan *original research* serta dapat meningkatkan produktivitas dan efisiensi pada penerapannya dan dianalisis lebih lanjut dalam kajian literatur ini.

Tabel 1. Jurnal Penelitian

Nama Peneliti (Author)	Metode Penelitian	Instrumen Penelitian	Intervention (Penerapan Teknologi)	Hasil
(Hidayaturohman et al., 2021)	Kualitatif	Sensor suhu dan kelembapan, NodeMCU, ESO8266, <i>Web server</i>	Integrasi sensor suhu dan kelembapan untuk pemantauan lingkungan secara <i>real-time</i> melalui NodeMCU dan ESP8266	Hasil penelitian menunjukkan sistem berhasil menampilkan data suhu dan kelembapan secara <i>real-time</i> dalam bentuk grafik yang bisa diakses melalui komputer ataupun <i>smartphone</i>
(Mahdaliza & Sugandi, 2021)	Kualitatif	Kamera, sensor visual, software pengolah citra	Teknologi yang diterapkan berupa pengolahan citra digital melalui tahapan <i>filter</i> warna HSL, konversi ke	Hasil penelitian menunjukkan bahwa sistem mampu memprediksi berat buah dengan rata-rata tingkat kesalahan

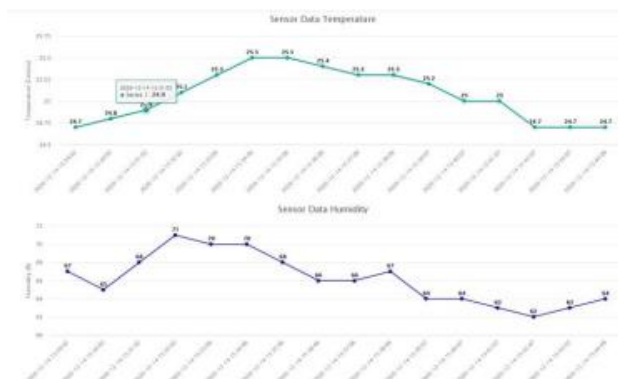
			<i>grayscale</i> dan binarisasi, serta perhitungan jumlah piksel yang kemudian dianalisis menggunakan persamaan regresi linier dan non-linier	(<i>error</i>) sebesar 4,44% dan harga buah dengan rata-rata <i>error</i> sebesar 5,64%. Sistem ini terbukti efektif digunakan secara real-time untuk berbagai jenis buah seperti jeruk, apel, naga, pir, dan lainnya.
(Ramadhan & Fachrie, 2024)	Kualitatif	Sensor IoT, Algoritma LSTM (<i>Long Short-Term Memory</i>), <i>web app</i> (Streamlit), <i>Time series data</i>	Penggunaan LSTM untuk prediksi hasil panen hasil panen sawit berbasis data historis dan <i>real-time</i> , dengan antarmuka Streamlit	Hasil penelitian menunjukkan prediksi hasil panen sawit menjadi lebih akurat, membantu petani dalam pengambilan keputusan, dan mudah diakses melalui antarmuka <i>website</i> interaktif
(Ganesa & Fatma, 2023)	Mix Method (gabungan kuantitatif dan kualitatif)	Dataset FAO & World Bank (<i>pesticides, rainfall</i> , suhu, hasil panen), model <i>machine learning</i> (<i>Decision Tree, Random Forest, Extra Trees</i>), analisis statistik (korelasi dan regresi linear)	Penerapan algoritma prediksi hasil panen (CYPA) berbasis IoT dan pembelajaran mesin, ditambah metode <i>active learning</i> untuk mengurangi kebutuhan data berlabel serta penggunaan <i>big data</i> dan pembelajaran mesin untuk mengolah variabel iklim, cuaca, dan input kimia pertanian	Hasil penelitian menunjukkan bahwa CYPA mampu mencapai akurasi prediksi yang sangat tinggi, dengan skor 0.9814 untuk <i>DecisionTreeRegressor</i> , 0.9903 untuk <i>RandomForestRegressor</i> , dan 0.9933 untuk <i>ExtraTreeRegressor</i> . Selain itu, penerapan <i>active learning</i> berhasil menurunkan jumlah data berlabel yang diperlukan serta meningkatkan efisiensi pelatihan
(Barnett et al., 2020)	Kualitatif	Robot panen kiwifruit dengan lengan robot Cartesian (<i>robot arms</i>), vision system,	Pengujian distribusi tugas antar lengan robot (<i>robot arms</i>) dalam memanen buah kiwi di kebun	Hasil penelitian menunjukkan uji coba di kebun Batemans dan Newnham menunjukkan distribusi kerja robot

		dan scheduler		rata-rata 0,94 dari nilai ideal 1, menandakan pembagian tugas panen yang cukup merata. Hambatan seperti kluster buah dan distribusi tidak seimbang dapat diatasi melalui penjadwalan ulang.
(Tao Li et al., 2023)	Mix Method (gabungan kuantitatif dan kualitatif)	Robot panen apel 4 lengan, kamera RGB-D, sistem kendali dan <i>edge computing</i> , simulasi NVIDIA Omniverse, algoritma MARL (<i>Multi-Agent Reinforcement Learning</i>)	Penerapan teknologi perencanaan tugas panen buah menggunakan <i>Markov Game</i> dan pelatihan algoritma PPO dalam MARL, diterapkan pada robot panen apel 4 lengan	Hasil penelitian menunjukkan dapat mengurangi waktu panen hingga 17,56%, mempercepat waktu perencanaan menjadi 1 detik, serta meningkatkan keberhasilan panen hingga 79,31% dalam uji coba lapangan di kebun apel

HASIL DAN PEMBAHASAN

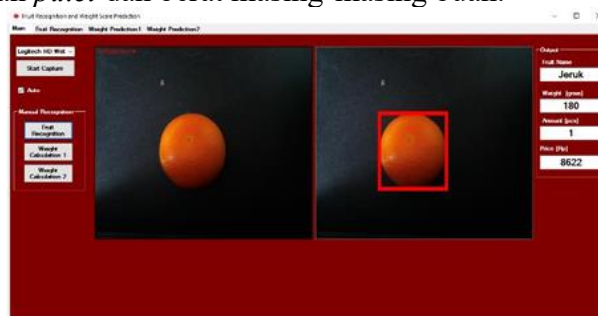
IoT saat ini memiliki peran yang sangat penting di sektor pertanian dalam membantu meningkatkan efisiensi dan produktivitas di sektor ini. Penggunaan teknologi dalam pertanian mencakup pemanfaatan sensor dan perangkat yang saling terhubung untuk memantau dan mengatur kondisi pertanian dengan efisien. Hasil dari berbagai jurnal yang dianalisis menunjukkan potensi besar dari teknologi IoT dalam meningkatkan efisiensi hasil pertanian melalui monitoring dan pengelolaan tanaman secara *real-time*.

Pada bidang sensor data visual, seperti yang dijelaskan (Hidayaturohman et al., 2021) IoT dapat digunakan untuk mengintegrasikan sensor suhu dan kelembaban melalui perangkat NodeMCU dan *node server* berbasis ESP8266 yang terhubung dengan *web server*. Data sensor akan tersimpan secara *real-time* di dalam basis data yang sudah terintegrasi dengan *web server*. Sistem ini memungkinkan visualisasi data sensor berupa tampilan grafik melalui antarmuka *web*. Hasil dari visualisasi pada antarmuka *website* dapat diakses melalui komputer maupun *smartphone*. Adapun bentuk grafik yang ditampilkan dalam antarmuka *web* sebagai berikut.



Gambar 1. Hasil Visualisasi Data di Antarmuka Website (Hidayaturrohman et al., 2020)

Sensor data visual selain digunakan untuk mengetahui suhu dan kelembaban lingkungan, dapat diimplementasikan juga untuk memprediksi berat dan harga buah (Mahdaliza & Sugandi, 2021). Seperti yang dijelaskan dalam penelitian (Mahdaliza & Sugandi, 2021) berat dan harga buah dapat diprediksi menggunakan sensor visual. Metode yang dilakukan dalam penelitian ini yaitu dengan memperhitungkan jumlah *pixel* dan dianalisa menggunakan persamaan regresi. Tahapan yang dilakukan dalam proses penelitian ini yaitu penangkapan citra menggunakan kamera yang kemudian dilakukan pemfilteran menggunakan filter warna *Hue* (H), *Saturation* (S), dan *Luminance* (L). Citra buah yang terdeteksi akan ditransformasi ke format citra lain yaitu citra *gray scale* dan citra biner. Citra biner yang diperoleh digunakan untuk perhitungan *pixel* kemudian, persamaan regresi akan didapatkan dari hubungan antara jumlah *pixel* dan berat masing-masing buah.



Gambar 2. Hasil Pengenalan dan Prediksi Buah Jeruk (Mahdaliza & Sugandi, 2021)

Gambar 2 menunjukkan salah satu hasil pengenalan dan prediksi buah jeruk. Pada gambar sebelah kiri merupakan buah yang diuji sedangkan gambar sebelah kanan merupakan hasil pengenalan dan prediksi buah oleh sistem (kotak merah). Sistem berhasil mengenali, memprediksi berat dan harga buah jeruk (Mahdaliza & Sugandi, 2021) Hasil penelitian (Mahdaliza & Sugandi, 2021) menunjukkan bahwa output perkiraan berat buah memiliki eror berat rata-rata 4,44%. Sementara proses perkiraan harga buah menghasilkan eror harga buah rata-rata sebesar 5,64%.

Selain pemantauan lingkungan, teknologi IoT juga berkontribusi dalam prediksi hasil panen (*yield prediction*) yang terus dikembangkan dengan pendekatan yang lebih kompleks. Seperti penelitian yang dilakukan oleh (Ramadhan & Fachrie, 2024) dalam mengembangkan sistem prediksi hasil panen kelapa sawit menggunakan model algoritma LSTM. Model ini menggunakan data historis petani selama satu tahun dan melalui pelatihan dengan pembagian data training dan testing sebesar 80%: 20%. Dengan parameter *hidden unit* sebanyak 128 dan epochs 150, sistem ini berhasil mencapai nilai MSE sebesar 5.3968, yang menunjukkan tingkat akurasi tinggi dalam prediksi. Selain itu, sistem ini diintegrasikan dengan antarmuka berbasis Streamlit, sehingga memungkinkan petani untuk mengakses prediksi hasil panen secara interaktif dan real-time, sehingga dapat membantu pengelolaan kebun secara lebih efektif.

Sementara itu, penelitian lain yang dilakukan oleh (Talaat, 2023) dalam memprediksi hasil panen pada sistem pertanian presisi berfokus pada pengembangan model *Crop Yield Prediction Algorithm* (CYPA). Model yang digunakan mengintegrasikan sensor lingkungan untuk mengumpulkan data seperti temperatur, curah hujan, dan penggunaan pestisida. Kemudian dianalisis menggunakan *machine learning* seperti *DecisionTreeRegressor*, *RandomForestRegressor*, dan *ExtraTreeRegressor*. Hasil penelitian menunjukkan tingkat akurasi prediksi lebih dari 0.98, menandakan ketepatan yang tinggi dalam memprediksi hasil panen. Selain itu, penerapan metode *active learning* dalam model ini meningkatkan efisiensi pelatihan dengan mengurangi jumlah data berlabel yang diperlukan. Penerapan teknologi IoT ini memberikan keunggulan dalam menangani variabilitas lingkungan, serta prediksi hasil panen dapat lebih tepat dan adaptif terhadap perubahan kondisi eksternal.

IoT juga memiliki peran penting dalam proses pemanenan seperti pemanenan cerdas atau dikenal juga sebagai *smart harvesting*. Pemanfaatan IoT dalam pemanenan cerdas telah memberikan solusi inovatif terhadap tantangan dalam sektor pertanian. Penelitian yang dilakukan oleh (Barnett et al., 2020) telah memanfaatkan robot dalam pemanenan cerdas buah kiwi. Sistem robot ini menggunakan beberapa lengan robot cartesian yang diatur pada *platform* bergerak dilengkapi dengan *vision system* untuk mendeteksi lokasi buah dalam kanopi tanaman. Dengan memanfaatkan *scheduler* otomatis, sistem ini mengalokasikan tugas pemanenan ke masing-masing lengan robot berdasarkan posisi buah yang diperoleh dari sistem visual.



Gambar 3. Pemanen Cerdas Robot *Arms* (Barnett et al., 2020)

Penelitian ini menunjukkan bahwa penggunaan lengan-lengan robot tersebut dapat meningkatkan efisiensi panen dengan mengurangi waktu penyelesaian tugas. Rata-rata nilai distribusi kerja yang diperoleh adalah 0,94 yang menunjukkan bahwa beban kerja maksimum oleh lengan robot yang paling sibuk berada dalam 6% dari distribusi kerja ideal. Hal ini menegaskan pentingnya strategi manajemen tugas yang efektif dalam sistem robotik untuk mencapai efisiensi maksimum.

Terdapat penelitian lain yang menjelaskan hal sama yaitu pemanenan cerdas menggunakan lengan robot. Namun pada penelitian (Li et al., 2023) lengan robot yang digunakan adalah empat lengan cartesian dengan pendekatan *Multi Agent Reinforcement Learning* (MARL) untuk memanen apel.



Gambar 3. Robot Pemanen Apel Multi Lengan (Li & Feng, 2023)

Robot dalam penelitian (Li et al., 2023) dilengkapi dengan kamera RGB-D, sistem conveyor, dan platform bergerak yang dirancang untuk bekerja di kebun apel dengan arsitektur kanopi yang sempit. Terdapat tantangan dalam penerapan robot multi lengan ini yaitu konflik antar lengan dan alokasi tugas yang efisien. Peneliti mengatasinya dengan diformulasikan sebagai *Markov Game* di mana dua agen (kelompok lengan atas dan bawah) yang dikendalikan secara terpusat untuk menghindari konflik antar lengan dan mengoptimalkan alokasi target buah serta urutan pemetikan. Selain itu, dalam penelitian ini algoritma *Proximal Policy Optimization* (PPO) digunakan untuk melatih jaringan MARL dalam menghadapi skenario pemetikan yang dinamis, termasuk kegagalan dalam mengambil buah. Hasil simulasi dan eksperimen menunjukkan metode ini mampu mencapai tingkat keberhasilan pemetikan sebesar 79,31% dengan waktu rata-rata pemetikan 5,8 detik per buah (Li et al., 2023).

Pemanfaatan teknologi IoT dalam sektor pertanian menyediakan berbagai inovasi yang tidak hanya meningkatkan efisiensi produksi, tetapi juga memungkinkan pengambilan keputusan yang lebih akurat berbasis data. Berdasarkan hasil penelitian dari beberapa jurnal yang menjadi landasan yang telah dianalisis, IoT memiliki peran penting dalam tiga aspek utama yaitu pemantauan kondisi lingkungan dan hasil produktivitas tanaman melalui sensor data visual, prediksi hasil panen dengan algoritma kecerdasan buatan, serta otomatisasi panen melalui sistem smart harvesting.

Pada aspek sensor data visual, penerapan IoT dapat memudahkan petani dalam memantau suhu dan kelembaban secara *real-time* melalui perangkat yang terkoneksi dengan internet di mana informasi disajikan melalui grafik pada antarmuka *web*. Sistem pemantauan ini dapat membantu petani dalam merespons perubahan kondisi lingkungan dengan cepat. Hal ini juga memberikan keuntungan yang besar karena petani tidak perlu lagi memantau langsung kondisi tanaman di lahan. Selain itu, pemanfaatan sensor visual yang digunakan sebagai alat prediksi berat dan harga produk pertanian juga memberikan kemudahan untuk petani maupun *stakeholder* lainnya yang bersangkutan dalam mengelola hasil panen dengan lebih efisien. Namun, masih terdapat tantangan dalam penerapan teknologi ini yaitu keterbatasan akurasi sensor dan ketergantungan pada jaringan internet yang stabil.

Dalam aspek prediksi hasil panen, penggunaan algoritma seperti LSTM dan CYPA telah mampu memberikan estimasi yang lebih akurat dibandingkan dengan metode konvensional. Dengan menggabungkan data historis dan variabel lingkungan seperti suhu, kelembaban, serta pola cuaca, sistem ini memungkinkan petani untuk mengambil keputusan yang lebih tepat dalam menentukan strategi panen dan alokasi sumber daya. Akurasi prediksi yang lebih baik tidak hanya berdampak pada peningkatan hasil produksi tetapi juga mendorong efisiensi distribusi dan optimalisasi penggunaan lahan serta input pertanian. Tantangan terbesar dalam penerapan teknologi ini adalah kebutuhan data dalam jumlah yang harus berkualitas tinggi serta proses analisis yang kompleks dan memerlukan daya komputasi yang tinggi. Selain itu, ketidakpastian lingkungan menjadi faktor yang harus diperhitungkan, karena variabilitas

cuaca dan kondisi tanah dapat mempengaruhi hasil panen secara signifikan. Sehingga, pendekatan yang menggabungkan data historis dengan pemantauan lingkungan secara langsung dapat menjadi solusi untuk meningkatkan akurasi prediksi sekaligus membuat sistem lebih adaptif terhadap perubahan kondisi di lapangan.

Sementara itu, dalam aspek *smart harvesting* pemanfaatan robot pemanen dengan IoT memberikan kemudahan bagi petani dalam proses panen. Studi menunjukkan bahwa penggunaan lengan robot yang dilengkapi dengan sistem visio mampu meningkatkan efisiensi panen buah dengan mengurangi ketergantungan pada tenaga kerja manusia. Selain itu, penelitian lainnya menunjukkan bahwa sistem pemanenan berbasis IoT dapat meningkatkan produktivitas pertanian dengan mengoptimalkan distribusi tugas pemanenan. Meskipun teknologi *smart harvesting* menawarkan banyak keuntungan, akan tetapi terdapat hambatan dalam penerapannya seperti memerlukan biaya investasi yang relatif tinggi serta keterbatasan pelatihan petani agar dapat mengoperasikan teknologi ini dengan baik.

Secara keseluruhan, pemanfaatan IoT dalam pertanian memberikan banyak keuntungan, mulai dari pemantauan kondisi lingkungan, prediksi hasil panen yang lebih akurat, hingga otomatisasi panen yang dapat meningkatkan efisiensi produksi. Namun, tantangan dalam implementasinya cukup besar, terutama dalam hal biaya, infrastruktur, serta kesiapan petani dalam mengadopsi teknologi baru. Oleh karena itu, dukungan dari pemerintah dan swasta sangat diperlukan agar penerapan IoT dalam sektor pertanian dapat berjalan lebih optimal dan berkelanjutan.

KESIMPULAN

Pemanfaatan teknologi IoT di sektor pertanian telah terbukti mampu meningkatkan efisiensi dan produktivitas melalui integrasi sensor dan perangkat yang saling terhubung. Penggunaan sensor data visual seperti pengukuran suhu dan kelembaban secara real-time melalui antarmuka web memungkinkan petani untuk memantau kondisi lahan secara efisien. Selain itu, implementasi sensor visual untuk memprediksi berat dan harga buah memberikan solusi inovatif yang praktis dan cukup akurat dalam pengelolaan hasil pertanian, meskipun masih menghadapi tantangan seperti akurasi sensor dan kebutuhan akan koneksi internet yang stabil.

Dalam hal prediksi hasil panen, teknologi IoT yang dikombinasikan dengan algoritma kecerdasan buatan seperti LSTM dan CYPA mampu memberikan hasil prediksi yang lebih presisi. Model-model ini memanfaatkan data historis dan data lingkungan untuk menghasilkan estimasi yang akurat, dengan tingkat eror yang rendah. Integrasi dengan antarmuka interaktif seperti Streamlit juga mendukung aksesibilitas dan kemudahan penggunaan bagi petani dalam mengambil keputusan berbasis data secara *real-time*, yang berpotensi meningkatkan perencanaan dan efisiensi produksi pertanian.

Teknologi IoT juga memainkan peran penting dalam otomatisasi proses panen melalui sistem *smart harvesting*. Penggunaan robot pemanen yang dilengkapi dengan sistem visual dan algoritma pembelajaran penguatan (*reinforcement learning*) terbukti efektif dalam meningkatkan efisiensi dan akurasi pemanenan buah. Meskipun teknologi ini menjanjikan, tantangan seperti kompleksitas koordinasi antar lengan robot, biaya investasi yang tinggi, serta kebutuhan pelatihan bagi petani tetap menjadi kendala yang harus diatasi. Secara keseluruhan, IoT memberikan peluang besar dalam mentransformasi pertanian menuju sistem yang lebih modern, efisien, dan berbasis data. Oleh karena itu, diperlukan dukungan dari pemerintah, akademisi, dan sektor swasta untuk menyediakan pelatihan, subsidi, serta infrastruktur guna mempercepat adopsi IoT secara merata dan berkelanjutan di sektor pertanian.

DAFTAR PUSTAKA

- Alami, T., Herdiyeni, Y., Kusuma, Ananta, W., Tjahjono, B., & Siregar, Z. I. (2023). Kecerdasan Buatan untuk Monitoring Hama dan Penyakit pada Tanaman Eucalyptus: Systematic Literature Review. *Jurnal Ilmu Komputer Dan Agri-Informatika*, 10(2), 224–237.
- Antony, A. P., Leith, K., Jolley, C., Lu, J., & Sweeney, D. J. (2020). A review of practice and implementation of the internet of things (IoT) for smallholder agriculture. *Sustainability (Switzerland)*, 12(9), 1–19.
- Ashton, K. (2010). (n.d.). *That 'internet of things' thing*. *RFID journal*. 22(7), 97-114.
- Barnett, J., Duke, M., Kit Au, C., & Lim Him, S. (2016). *Work distribution of multiple Cartesian robot arms for kiwifruit harvesting*. May 2018, 1–23.
- Efendi, Y. (2018). Internet of Things (Iot) Sistem Pengendalian Lampu. *Jurnal Ilmiah Ilmu Komputer*, 4(1), 19–26.
- Fajar, R., & Muhammad, F. (2024). Implementasi Algoritma Long Short-Term Memory (LSTM) Pada Sistem Prediksi Hasil Panen Sawit. *Jurnal Informatika Teknologi Dan Sains (JINREKS)*, 6; No. 4, 937–944.
- Ganesa, S. H., & Fatma, Y. (2023). Pemanfaatan Teknologi Internet of Things (Iot) Pada Bidang Pertanian. *JATI (Jurnal Mahasiswa Teknik Informatika)*, 7(1), 1–5.
- Goda, K. D., & Neta, A. D. P. S. (2024). Kajian Pengembangan Internet of Things (IoT) pada Sektor Pertanian di Kabupaten Ngada, Nusa Tenggara Timur. *Jurnal Kridatama Sains Dan Teknologi*, 6(02), 478–493.
- Hafsa, N., Rushd, S., Alzoubi, H., & Al-Faiad, M. (2024). Accurate prediction of pressure losses using machine learning for the pipeline transportation of emulsions. *Heliyon*, 10(1), e23591.
- Hartanto, B. (2020). Internet of Things Innovation in Agriculture Sector : A Scientometrics Analysis. *Informatika Pertanian*, 29(2), 111–122.
- Hartiwi, Y., Rasywir, E., Pratama, Y., & Jusia, P. A. (2020). Eksperimen Pengenalan Wajah dengan fitur Indoor Positioning System menggunakan Algoritma CNN. *Paradigma - Jurnal Komputer Dan Informatika*, 22(2), 109–116.
- Hidayaturrohmah, Q. A., Yulianto, P., & Rizal, R. (2021). Visualisasi Data Sensor Pada Sistem Pemantauan Suhu Dan Kelembaban Ruangan Berbasis Antarmuka Web. *Bina Teknika*, 16(2), 73.
- Jha, K., Doshi, A., Patel, P., & Shah, M. (2019a). A comprehensive review on automation in agriculture using artificial intelligence. *Artificial Intelligence in Agriculture*, 2(September), 1–12.
- Jha, K., Doshi, A., Patel, P., & Shah, M. (2019b). A comprehensive review on automation in agriculture using artificial intelligence. *Artificial Intelligence in Agriculture*, 2, 1–12.
- Junarto, R., & Djurjani, D. (2020). Pemanfaatan Teknologi Unmanned Aerial Vehicle (UAV) untuk Pemetaan Kadaster. *BHUMI: Jurnal Agraria Dan Pertanahan*, 6(1), 105–118.
- Kamath, R., Balachandra, M., & Prabhu, S. (2019). Raspberry Pi as Visual Sensor Nodes in Precision Agriculture: A Study. *IEEE Access*, 7, 45110–45122.
- Li, T., Xie, F., Qiu, Q., & Feng, Q. (2023). Multi-Arm Robot Task Planning for Fruit Harvesting Using Multi-Agent Reinforcement Learning. *IEEE International Conference on Intelligent Robots and Systems*, 4176–4183.
- Mahdaliza, R., & Sugandi, B. (2021). Prediksi Berat dan Harga Buah Menggunakan Sensor Visual. *Jurnal Integrasi*, 13(1), 10–14.
- Makmur, M., Karim, H. A., K, H., & Suryadi, S. (2020). Uji berbagai Sistem Tanam terhadap Pertumbuhan dan Produktivitas Tanaman Padi (*Oryza sativa* L.). *AGROVITAL : Jurnal Ilmu Pertanian*, 5(2), 94.

- Malhotra, K., & Firdaus, M. (2022). Application of Artificial Intelligence in IoT Security for Crop Yield Prediction. *ResearchBerg Review of Science and Technology*, 2(1), 136–157.
- Morchid, A., El Alami, R., Raezah, A. A., & Sabbar, Y. (2024). (n.d.). *Applications of internet of things (IoT) and sensors technology to increase food security and agricultural Sustainability: Benefits and challenges*. *Ain Shams Engineering Journal*, 15(3), 102509.
- Mustapha, U. F., Alhassan, A. W., Jiang, D. N., & Li, G. L. (2021). Sustainable aquaculture development: a review on the roles of cloud computing, internet of things and artificial intelligence (CIA). *Reviews in Aquaculture*, 13(4), 2076–2091.
- Rachmawati, R. R. (2020). SMART FARMING 4.0 UNTUK MEWUJUDKAN PERTANIAN INDONESIA MAJU, MANDIRI, DAN MODERN Smart Farming 4.0 to Build Advanced, Independent, and Modern Indonesian Agriculture Rika Reviza Rachmawati. *Forum Penelitian Agro Ekonomi*, 38(2), 137–154.
- Rafida, N. S., Muara, R. M., Ferryanto, A., Fatikhaturrohman, A., Aditya Septian, D., & Sayekti, I. (2023). Penerapan teknologi smart farming berbasis internet of things untuk meningkatkan kualitas melon madu di agrowisata purwosari. *Orbith*, 19(3), 263–272.
- Ramadani, R. (2023). Potensi Internet of Things (IoT) sebagai Sumber Official Statistics Bidang Pertanian. *Seminar Nasional Official Statistics*, 2023(1), 161–166.
- Ruslianto, I., Ristian, U., & Hasfani, H. (2022). Sistem Pintar Untuk Anggur (Sipunggur) Pada Kawasan Tropis Berbasis Internet of Things (IoT). *Jurnal Edukasi Dan Penelitian Informatika (JEPIN)*, 8(1), 121.
- Samodra, K. F., Elektro, F. T., Telkom, U., Bogi, N., Karna, A., Elektro, F. T., Telkom, U., Irawan, A. I., Elektro, F. T., Telkom, U., & Greenbox, S. (2023). *Implementasi Sistem Pemantauan Untuk Pertumbuhan Tanaman Sayur Dengan Iot Berbasis Smart Greenbox*. 10(5), 4177–4183.
- Singh, R. K., Berkvens, R., & Weyn, M. (2021). AgriFusion: An Architecture for IoT and Emerging Technologies Based on a Precision Agriculture Survey. *IEEE Access*, 9, 136253–136283.
- Sofian, A. R. S., Sudarti, & Handayani, D. R. (2022). Analisis Korelasi Curah Hujan dan Produktivitas Tanaman Hasil Pertanian Kabupaten Jember. *Jurnal Pendidikan Mipa*, 12(2), 287–293.
- Sukmono, A., & Bashit, N. (2019). Pembentukan Model Leaf Area Index (Lai) Tanaman Padi Pada Citra Hyperspectral Berbasis Spektral in Situ Untuk Pemantauan Fase Tumbuh Padi. *Elipsoida : Jurnal Geodesi Dan Geomatika*, 2(02), 30–38.
- Talaat, M. F. (2023). Crop yield prediction algorithm (CYPA) in precision agriculture based on IoT techniques and climate changes. *Neural Computing and Applications*, 35(23), 17281–17292.
- Yusianto, R., Marimin, Suprihatin, & Hardjomidjojo, H. (2020). Iot Based Smart Agro-Industrial Technology With Spatial Analysis. *Jurnal Teknologi Industri Pertanian*, 30(30), 319–328.
- Zainudin, Z., & Kesumaningwati, R. (2021). *Penilaian status kesuburan tanah pada beberapa penggunaan lahan di Samarinda*. *Jurnal Agroekoteknologi Tropika Lembab*, 3; No 2, 3(2), 106-111.
- Zhang, Z., Zhang, Z., Wang, X., Liu, H., Wang, Y., & Wang, W. (2019). Multi-purpose apple harvest platform economic evaluation modeling and software development. *International Journal of Agricultural and Biological Engineering*, 12(1), 74–83.

