

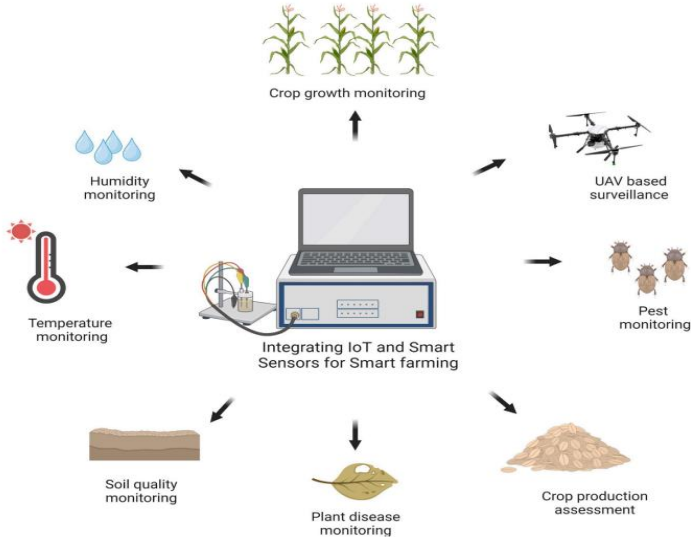
BAB 1

Pengenalan IoT Bidang Pertanian

1.1 Latar belakang perkembangan teknologi IoT

Sejak pertama kali diperkenalkan pada awal tahun 2000-an, teknologi Internet of Things (IoT) telah berkembang pesat menjadi salah satu teknologi terpenting di era digital. Berawal dari gagasan dasar bahwa miliaran perangkat di seluruh dunia terhubung satu sama lain, memungkinkan pertukaran data tanpa interaksi manusia secara langsung. Berbagai faktor yang mendorong kemajuan Internet of Things; Ini termasuk peningkatan teknologi sensor, penurunan harga perangkat keras, peningkatan kapasitas komputasi, dan perkembangan jaringan komunikasi yang semakin cepat dan efisien seperti 5G (Atzori, Iera and Morabito, 2017; Kumar, Tiwari and Zymbler, 2019; Ud Din *et al.*, 2019). Faktor-faktor ini telah membuka peluang besar bagi integrasi Internet of Things ke berbagai industri, seperti industri, kesehatan, transportasi, dan pertanian. Di bidang pertanian, IoT muncul sebagai solusi inovatif untuk mengatasi tantangan global seperti perubahan iklim, keterbatasan sumber daya alam, dan kebutuhan untuk meningkatkan produktivitas pangan guna memenuhi permintaan populasi yang terus bertambah (Nguyen *et al.*, 2023; Shahab *et al.*, 2024). Teknologi ini memungkinkan petani untuk mengumpulkan data secara real-time mengenai kondisi tanah, cuaca, kelembaban, dan kesehatan

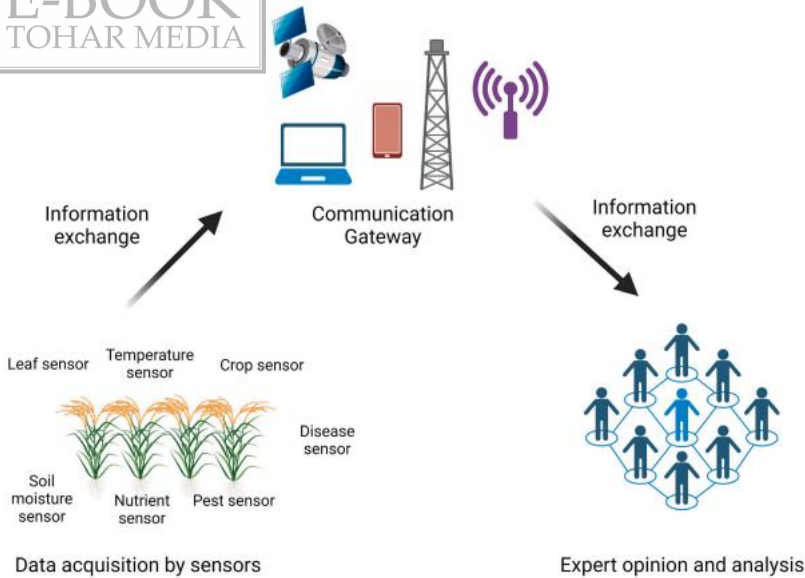
tanaman, yang kemudian dapat dianalisis untuk mendukung pengambilan keputusan yang lebih cerdas dan efisien.



Gambar 1.1 IoT Smart Farming (Rajak *et al.*, 2023)

Pada era pertanian tradisional, kegiatan seperti pemantauan kondisi lahan dan penentuan kebutuhan irigasi dilakukan secara manual, yang seringkali tidak akurat dan memakan waktu. Dengan adanya IoT, pertanian kini dapat dikelola secara presisi, di mana setiap aspek produksi dapat dioptimalkan berdasarkan data yang akurat. Hal ini tidak hanya meningkatkan hasil panen, tetapi juga mengurangi penggunaan sumber daya seperti air dan pupuk, sehingga mendukung praktik pertanian yang lebih berkelanjutan (Talaviya *et al.*, 2020). Transformasi yang dibawa oleh IoT menciptakan landasan bagi munculnya konsep Pertanian 4.0, di mana teknologi digital dan otomatisasi menjadi tulang punggung pengelolaan pertanian modern. Dengan terus berkembangnya teknologi ini, IoT diprediksi akan semakin berperan penting dalam membentuk masa depan sektor pertanian, menjadikannya lebih tangguh, efisien, dan adaptif terhadap tantangan global. Internet of Things (IoT) telah menjadi salah satu pendorong utama dalam transformasi sektor pertanian

modern (Ángel Giménez Pérez *et al.*, 2024). Di tengah meningkatnya tantangan global seperti perubahan iklim, pertumbuhan populasi, dan keterbatasan sumber daya alam, pertanian konvensional menghadapi tekanan untuk meningkatkan produktivitas dan efisiensi sambil mengurangi dampak lingkungan. Di sinilah IoT berperan penting sebagai teknologi revolusioner yang mengubah cara kita bertani dengan mengintegrasikan perangkat cerdas, sensor, dan analisis data untuk menciptakan sistem pertanian yang lebih responsif dan berkelanjutan (Mentsiev, Aygumov and Abdurashidov, 2023). Penerapan IoT dalam pertanian modern memungkinkan pengumpulan data secara real-time dari berbagai sumber, seperti kondisi tanah, cuaca, kelembaban udara, hingga kesehatan tanaman dan ternak. Data ini memberikan wawasan yang lebih mendalam dan akurat, memungkinkan petani membuat keputusan yang lebih tepat dalam waktu singkat. Misalnya, dengan sensor kelembaban tanah yang terhubung dengan sistem irigasi otomatis, petani dapat mengatur penyiraman tanaman secara presisi, sehingga mengurangi penggunaan air dan meningkatkan efisiensi penggunaan sumber daya. IoT membantu dalam memonitor kesehatan tanaman dan ternak secara berkelanjutan. Sistem berbasis sensor dapat mendeteksi gejala awal penyakit atau kekurangan nutrisi, memungkinkan tindakan pencegahan yang lebih cepat dan tepat sasaran.



Gambar 1.2 Sensor berbasis IoT (Rajak *et al.*, 2023)

Hal ini tidak hanya mengurangi risiko gagal panen tetapi juga meminimalkan penggunaan pestisida dan pupuk yang berlebihan, yang berkontribusi pada pertanian yang lebih ramah lingkungan. IoT juga mendukung pertanian presisi, yang merupakan pendekatan yang memaksimalkan output dengan meminimalkan input. Dengan bantuan teknologi seperti drone yang dilengkapi dengan kamera multispektral dan perangkat GPS, petani dapat memetakan lahan dengan detail yang sangat tinggi dan mengidentifikasi area yang membutuhkan perhatian khusus, seperti area yang kekurangan air atau terlalu padat. Pendekatan ini meningkatkan efisiensi operasional, mengurangi biaya, dan secara signifikan meningkatkan hasil panen (Mentsiev, Aygumov and Abdurashidov, 2023).

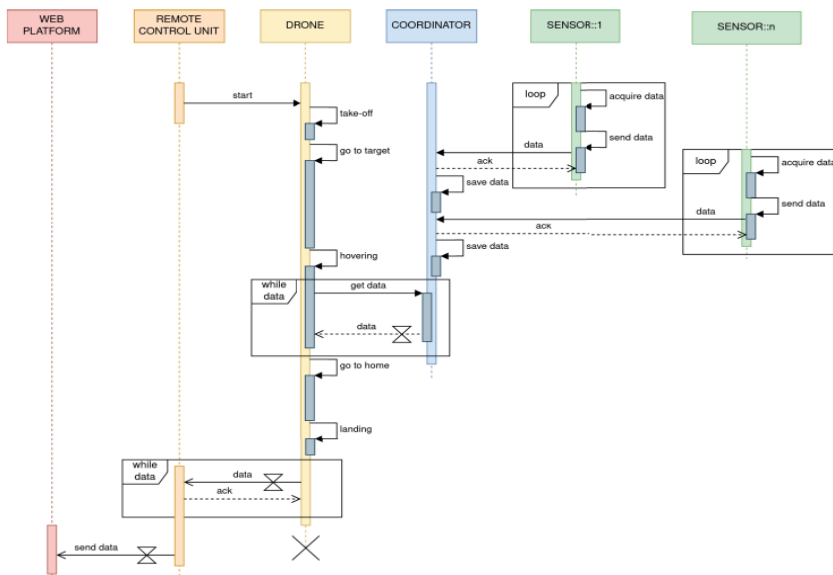


Gambar 1.3 Berbagai sensor pertanian digunakan untuk pengelolaan nutrisi tanah (Getahun, Kefale and Gelaye, 2024)

Transformasi yang dibawa oleh IoT juga membuka jalan bagi otomatisasi dan pengelolaan jarak jauh dalam pertanian. Petani kini dapat mengontrol dan memantau ladang mereka dari mana saja menggunakan aplikasi yang terhubung dengan perangkat IoT. Ini tidak hanya meningkatkan produktivitas tetapi juga mengurangi kebutuhan tenaga kerja manual, yang menjadi tantangan utama di banyak wilayah. Pentingnya IoT dalam transformasi sektor pertanian modern terletak pada kemampuannya untuk menghadirkan pertanian yang lebih cerdas, efisien, dan berkelanjutan. Dengan terus berkembangnya teknologi ini, IoT berpotensi untuk menjadi solusi jangka panjang dalam mengatasi tantangan pangan global dan mendukung tercapainya ketahanan pangan di masa depan.

1.2 Konsep Dasar IoT dalam Pertanian

Internet of Things (IoT) adalah konsep teknologi yang menghubungkan berbagai perangkat fisik melalui internet, memungkinkan mereka untuk berkomunikasi, mengumpulkan, dan bertukar data secara otomatis. Dalam konteks pertanian, IoT merevolusi cara petani mengelola lahan, tanaman, dan ternak dengan menyediakan informasi real-time yang akurat dan dapat diakses kapan saja. Relevansi IoT di bidang pertanian terletak pada kemampuannya untuk mengoptimalkan proses pertanian melalui otomatisasi dan analisis data, membantu petani dalam membuat keputusan yang lebih cepat dan tepat. Teknologi ini memberikan solusi efektif untuk mengatasi berbagai tantangan pertanian, seperti perubahan iklim, kekurangan air, dan kebutuhan akan peningkatan produktivitas. IoT dalam pertanian terdiri dari beberapa komponen utama yang bekerja bersama untuk menciptakan sistem pertanian yang cerdas dan efisien.



Gambar 1.4 Komponen dalam Sistem Berbasis IoT

Sensor merupakan elemen penting dalam IoT yang bertugas mengumpulkan data dari lingkungan pertanian. Jenis sensor yang sering digunakan meliputi sensor kelembaban tanah, suhu, pH tanah, kelembaban udara, dan sensor cahaya. Sensor ini memantau kondisi tanaman dan tanah secara kontinu, memberikan data yang dibutuhkan untuk pengambilan keputusan berbasis data.

b. Konektivitas

Konektivitas mengacu pada teknologi yang menghubungkan sensor dan perangkat IoT lainnya ke internet atau jaringan lokal. Teknologi konektivitas seperti Wi-Fi, LPWAN (Low Power Wide Area Network), dan 5G memainkan peran kunci dalam memastikan data yang dikumpulkan dapat ditransmisikan dengan cepat dan efisien. Konektivitas yang baik memungkinkan data untuk dikirim dan dianalisis secara real-time, mempercepat respons terhadap kondisi lapangan.

c. Data Analytics

Data analytics adalah proses pengolahan dan analisis data yang dikumpulkan oleh sensor untuk menghasilkan wawasan yang berguna. Analisis data memungkinkan pemantauan kesehatan tanaman, prediksi hasil panen, dan identifikasi potensi masalah sebelum menjadi kritis. Dengan menggunakan algoritma machine learning dan kecerdasan buatan (AI), sistem IoT dapat mengidentifikasi pola dan memberikan rekomendasi untuk perbaikan.

d. Perangkat Cerdas

Perangkat cerdas seperti drone, robot pemanen, dan sistem irigasi otomatis adalah bagian integral dari IoT di pertanian. Perangkat ini dapat dioperasikan secara jarak jauh atau bekerja secara otomatis berdasarkan data sensor, membantu mengurangi pekerjaan manual dan meningkatkan efisiensi

operasional. Misalnya, sistem irigasi otomatis akan menyiram tanaman secara tepat waktu berdasarkan data kelembaban tanah yang diterima.

e. Web Platform

Platform berbasis web yang berfungsi untuk mengirimkan data atau perintah kepada drone melalui sistem kontrol jarak jauh.

IoT bekerja di lingkungan pertanian dengan menghubungkan berbagai perangkat dan sensor yang tersebar di seluruh area pertanian, menciptakan jaringan yang saling terintegrasi. Proses dimulai dengan sensor yang ditempatkan di lapangan untuk mengumpulkan data penting tentang kondisi tanah, cuaca, kelembaban, suhu, dan kesehatan tanaman. Data yang dikumpulkan oleh sensor ini kemudian dikirim melalui koneksi jaringan ke platform IoT, di mana data tersebut diproses dan dianalisis. Hasil analisis digunakan untuk memberi petani wawasan yang berharga dan rekomendasi tindakan yang tepat. Misalnya, jika sensor mendeteksi bahwa kelembaban tanah berada di bawah level yang optimal, sistem irigasi otomatis akan diaktifkan untuk menambahkan air sesuai kebutuhan. Drone dapat dikendalikan untuk memantau area yang luas dan mengidentifikasi area tanaman yang mungkin memerlukan perhatian lebih, seperti area yang terkena hama atau penyakit. Sistem bekerja secara sinkron untuk menciptakan lingkungan pertanian yang lebih efisien, mengurangi risiko kesalahan manusia, dan mengoptimalkan penggunaan sumber daya. Dengan demikian, IoT tidak hanya meningkatkan hasil panen tetapi juga membantu petani mengelola lahan mereka dengan lebih baik, mengurangi biaya operasional, dan mendukung praktik pertanian yang lebih berkelanjutan.

1.3 Sejarah dan Perkembangan IoT di Pertanian

Sejarah penerapan teknologi dalam pertanian dimulai sejak revolusi pertanian pertama pada abad ke-18, ketika mesin dan alat-alat mekanis mulai digunakan untuk meningkatkan efisiensi produksi pertanian. Penggunaan traktor, mesin pemanen, dan alat irigasi konvensional menandai langkah awal dalam mekanisasi pertanian, yang secara drastis mengubah cara petani bekerja. Meskipun teknologi mekanis ini meningkatkan produktivitas, mereka tetap bergantung pada penilaian manual dan intuisi petani dalam pengambilan keputusan, yang seringkali kurang efisien dan tidak selalu akurat. Pada akhir abad ke-20, teknologi digital mulai memasuki sektor pertanian dengan diperkenalkannya sistem GPS (Global Positioning System) untuk pemetaan lahan dan alat pengukur otomatis untuk irigasi dan pemupukan (Jones *et al.*, 2017). Teknologi ini membantu petani memantau kondisi lahan dengan lebih presisi, mengurangi pemborosan input seperti pupuk dan air. Teknologi digital telah membawa peningkatan signifikan, masih terdapat kebutuhan akan sistem yang lebih terintegrasi dan otomatis, yang mampu merespon kondisi lapangan secara real-time. Perkembangan teknologi Internet of Things (IoT) menandai era baru dalam pertanian, di mana berbagai perangkat dan sensor terhubung melalui internet untuk mengumpulkan, menganalisis, dan bertindak berdasarkan data secara otomatis. Evolusi ini memungkinkan terjadinya transformasi dari sistem pertanian yang statis dan berbasis intuisi menuju pertanian presisi yang dinamis dan berbasis data. IoT memanfaatkan perkembangan pesat dalam teknologi sensor, perangkat lunak analisis data, dan konektivitas jaringan. Sebelumnya, petani harus melakukan pemantauan lapangan secara manual, yang seringkali tidak efisien dan memakan waktu. Dengan hadirnya IoT, pengumpulan data dapat dilakukan secara otomatis dan terus-menerus, memungkinkan pengambilan keputusan yang lebih cepat dan akurat (Soussi *et al.*, 2024). Otomatisasi perangkat

seperti sistem irigasi pintar dan drone pertanian memudahkan pengelolaan lahan secara real-time, mengurangi ketergantungan pada tenaga kerja manual dan meningkatkan efisiensi operasional. Contoh penerapan IoT dalam pertanian dimulai sejak awal tahun 2000-an ketika sensor sederhana mulai digunakan untuk memantau kelembaban tanah dan mengendalikan sistem irigasi otomatis. Salah satu penerapan awal yang menonjol adalah penggunaan sensor tanah di ladang anggur di California, Amerika Serikat, yang membantu petani mengelola irigasi berdasarkan kebutuhan air yang spesifik, mengurangi penggunaan air hingga 30%. Seiring waktu, penggunaan IoT dalam pertanian semakin meluas dan kompleks. Di Belanda, misalnya, pertanian presisi dengan IoT diterapkan secara intensif pada rumah kaca yang menggunakan sensor untuk mengendalikan suhu, kelembaban, dan pencahayaan secara otomatis, menciptakan kondisi ideal bagi tanaman sepanjang tahun. IoT juga digunakan dalam peternakan sapi perah di Eropa, di mana perangkat wearable pada sapi memantau kesehatan dan perilaku ternak, membantu peternak mendeteksi penyakit lebih awal dan meningkatkan kualitas susu yang dihasilkan. Di masa kini, penerapan IoT di pertanian semakin berkembang dengan integrasi teknologi kecerdasan buatan (AI) dan machine learning. Sistem IoT tidak hanya mengumpulkan data, tetapi juga menganalisisnya untuk memberikan rekomendasi prediktif, seperti kapan waktu terbaik untuk menanam atau memanen berdasarkan cuaca dan kondisi tanah. Di India, penggunaan drone berbasis IoT untuk pemetaan lahan dan penyebaran pupuk juga menjadi solusi inovatif untuk meningkatkan efisiensi dan mengurangi dampak lingkungan. Sejarah dan perkembangan IoT di pertanian menunjukkan transformasi besar dari teknik tradisional menuju era pertanian modern yang lebih cerdas dan berkelanjutan. Dengan terus berkembangnya teknologi, IoT diharapkan akan terus membawa inovasi baru yang membantu petani mengatasi tantangan masa

depan dan menciptakan sistem pertanian yang lebih efisien dan tangguh (Alazzai *et al.*, 2024; Mana *et al.*, 2024; Soussi *et al.*, 2024).

1.4 Aplikasi Utama IoT dalam Pertanian

Pemantauan tanaman dan lingkungan adalah salah satu aplikasi utama IoT dalam pertanian yang mengandalkan penggunaan berbagai jenis sensor untuk mengukur kondisi tanah, cuaca, dan kelembaban. Sensor-sensor ini memberikan data real-time mengenai kelembaban tanah, suhu, curah hujan, dan kualitas udara yang sangat penting untuk mendukung pertumbuhan tanaman yang optimal. Dengan adanya sensor tanah, petani dapat mengetahui kapan tanah mulai kering dan memerlukan air, sehingga dapat mencegah overwatering atau underwatering yang sering menjadi penyebab penurunan hasil panen (Morchid *et al.*, 2024). Data yang dikumpulkan oleh sensor-sensor ini memungkinkan petani untuk memahami pola cuaca dan kondisi lingkungan di lapangan secara lebih baik. Hal ini membantu mereka membuat keputusan yang lebih tepat, seperti menentukan waktu terbaik untuk menanam, memanen, atau melakukan pemupukan. Dengan informasi ini, petani tidak hanya dapat meningkatkan produktivitas, tetapi juga mengurangi penggunaan sumber daya secara efisien, seperti air dan pupuk, yang berkontribusi pada praktik pertanian yang lebih berkelanjutan. Manajemen irigasi cerdas merupakan salah satu penerapan IoT yang paling signifikan dalam pertanian modern. Sistem irigasi otomatis yang terintegrasi dengan data sensor kelembaban tanah dan informasi cuaca memungkinkan irigasi dilakukan dengan lebih presisi. Sensor yang ditempatkan di tanah mengukur tingkat kelembaban dan mengirimkan data tersebut ke sistem pengontrol irigasi yang terhubung dengan internet. Berdasarkan data yang diterima, sistem irigasi akan mengatur kapan dan berapa banyak air yang dibutuhkan oleh tanaman. Keunggulan dari manajemen irigasi cerdas adalah kemampuannya untuk mengoptimalkan penggunaan air secara signifikan, yang sangat penting terutama di daerah-daerah

dengan keterbatasan air. Sistem ini dapat menghentikan penyiraman jika hujan terdeteksi atau menambah frekuensi penyiraman jika tanah menunjukkan kekurangan kelembaban. Dengan cara ini, tanaman mendapatkan jumlah air yang tepat sesuai kebutuhan, mengurangi pemborosan, dan mendukung pertanian yang lebih efisien. IoT juga memainkan peran penting dalam peternakan melalui aplikasi pemantauan kesehatan ternak. Sensor yang dipasang pada hewan, seperti kalung cerdas atau chip subkutan, memungkinkan peternak melacak kondisi kesehatan dan perilaku ternak secara terus-menerus. Sensor ini dapat memantau parameter vital seperti suhu tubuh, detak jantung, dan pola makan, serta mendeteksi perubahan perilaku yang mungkin menunjukkan tanda-tanda penyakit atau stres. Dengan informasi yang diperoleh dari sensor ini, peternak dapat melakukan intervensi lebih awal, seperti memberikan perawatan medis sebelum penyakit menyebar atau melakukan perbaikan dalam manajemen pakan. Pemantauan yang berkelanjutan membantu meningkatkan kesejahteraan ternak, meningkatkan kualitas dan kuantitas produk seperti susu, daging, dan telur. IoT dalam peternakan tidak hanya meningkatkan efisiensi operasional, tetapi juga berkontribusi pada kesehatan ternak yang lebih baik. Manajemen pertanian presisi adalah pendekatan berbasis data yang menggunakan teknologi IoT seperti drone dan GPS untuk memetakan lahan secara detail dan mengoptimalkan penggunaan input pertanian seperti pupuk dan pestisida. Drone dilengkapi dengan kamera multispektral dapat menangkap gambar lahan secara real-time, memungkinkan petani untuk mengidentifikasi area yang membutuhkan perhatian khusus, seperti area yang kekurangan nutrisi atau terinfeksi hama. Dengan bantuan data GPS, pemetaan presisi ini memungkinkan petani untuk melakukan pemupukan dan penyemprotan pestisida secara tepat sasaran, hanya pada area yang membutuhkannya. Pendekatan ini tidak hanya mengurangi biaya input tetapi juga mengurangi dampak lingkungan karena penggunaan bahan kimia yang lebih terkontrol. Manajemen

pertanian presisi membantu petani mencapai hasil panen yang lebih tinggi dengan efisiensi yang lebih baik, mendukung ketahanan pangan dan pertanian yang berkelanjutan (Karunathilake *et al.*, 2023; Garg, Rumjit and Roy, 2024; H *et al.*, 2024).

1.5 Tujuan dan manfaat Perangkat IoT di Pertanian

Sensor adalah elemen kunci dalam penerapan IoT di pertanian yang bertugas mengumpulkan data penting dari lingkungan lapangan secara real-time. Berbagai jenis sensor digunakan untuk memantau kondisi yang berbeda, yang semuanya berkontribusi terhadap peningkatan produktivitas dan efisiensi pertanian. Sensor kelembaban tanah, misalnya, sangat penting dalam mengukur kadar air di dalam tanah, sehingga petani dapat mengetahui kapan waktu yang tepat untuk melakukan irigasi, menghindari overwatering atau underwatering yang dapat merusak tanaman. Sensor suhu dan pH tanah juga banyak digunakan untuk memantau kondisi tanah yang mempengaruhi pertumbuhan tanaman. Sensor suhu membantu dalam mengukur suhu udara dan tanah, memberikan informasi yang dibutuhkan untuk melindungi tanaman dari suhu ekstrem. Sensor pH tanah memberikan data tentang keasaman atau kebasaan tanah, memungkinkan petani untuk menyesuaikan pemupukan dan pengapuran sesuai kebutuhan spesifik tanaman. Penggunaan sensor ini tidak hanya meningkatkan kesehatan tanaman tetapi juga membantu mengurangi penggunaan input secara berlebihan, yang berdampak positif terhadap lingkungan.

1.5.1 Peran Konektivitas (Wi-Fi, LPWAN, 5G) dalam Ekosistem Pertanian Pintar (smart farming)

Ekosistem pertanian pintar (smart farming) yang memanfaatkan teknologi IoT untuk mengoptimalkan pengelolaan pertanian melalui konektivitas, pengumpulan data, dan pengambilan keputusan berbasis AI dan machine learning.

Fokus utama dari gambar ini berkaitan dengan berbagai teknologi komunikasi yang memungkinkan perangkat IoT di bidang pertanian saling terhubung dan berfungsi dengan baik. Peran Konektivitas (Wi-Fi, LPWAN, 5G) dalam Pertanian IoT Cerdas (Ali *et al.*, 2023).

a. Teknologi Komunikasi untuk Konektivitas IoT

Menampilkan berbagai teknologi komunikasi yang digunakan untuk mentransmisikan data antara perangkat di lapangan (seperti sensor, drone, robot) dan sistem cloud atau aplikasi yang digunakan oleh petani. Teknologi komunikasi ini dibagi menjadi beberapa kategori berdasarkan jangkauan:

- 1) Short Range (jarak pendek) Menggunakan teknologi seperti Bluetooth untuk komunikasi antar perangkat di area yang sangat dekat.
- 2) Medium Range (jarak menengah) Menggunakan teknologi seperti Wi-Fi dan Zigbee, yang umumnya digunakan di dalam ruangan atau area pertanian yang tidak terlalu luas.
- 3) Long Range (jarak jauh) Teknologi seperti LPWAN, Sigfox, NB-IoT, LoRa, LoRaWAN, dan juga 5G digunakan untuk menghubungkan perangkat IoT di lahan pertanian yang luas, dengan jarak transmisi yang lebih panjang. Ini memungkinkan sensor dan perangkat untuk tetap terhubung bahkan di area pedesaan yang luas atau jauh dari infrastruktur jaringan konvensional.

b. Peran Konektivitas dalam Pertanian IoT

Konektivitas memainkan peran penting dalam mengintegrasikan seluruh perangkat IoT di lahan pertanian. Wi-Fi sering digunakan di area yang lebih terbatas atau di rumah kaca, di mana sinyal dapat

mencakup seluruh area tanpa hambatan. Di sisi lain, LPWAN (Low Power Wide Area Network), NB-IoT, dan LoRa memungkinkan perangkat IoT yang tersebar di area yang sangat luas untuk tetap terhubung meskipun berada jauh dari pusat kontrol. Ini penting dalam pertanian presisi yang membutuhkan data real-time dari sensor yang ditempatkan di berbagai titik lahan.

c. Penyampaian Data ke Cloud dan Aplikasi

Data yang dikumpulkan oleh berbagai perangkat IoT, seperti soil sensor (sensor tanah), UV sensor, drone, dan robot, dikirimkan melalui jaringan komunikasi ini ke sistem cloud untuk dianalisis. Di cloud, data diproses menggunakan artificial intelligence (AI) dan machine learning untuk memberikan keputusan yang optimal mengenai pengelolaan pertanian, seperti irigasi, pemupukan, dan pengendalian hama. Setelah dianalisis, hasilnya disampaikan kembali ke petani melalui aplikasi mobile atau smartphone, memungkinkan mereka memantau kondisi pertanian dan membuat keputusan yang lebih tepat waktu dan efisien.

d. Integrasi Teknologi Jaringan (5G, LPWAN, Wi-Fi) untuk Efisiensi

Teknologi konektivitas seperti 5G menawarkan kecepatan transmisi data yang sangat cepat dan latensi yang rendah, yang penting untuk aplikasi real-time seperti pengendalian drone atau robot secara otomatis. Sementara itu, LPWAN dan LoRaWAN sangat efisien dalam hal konsumsi energi, sehingga cocok untuk perangkat yang menggunakan daya baterai rendah namun perlu tetap aktif untuk jangka waktu yang lama.

Konektivitas berperan sentral dalam pertanian IoT dengan memastikan bahwa semua perangkat di lapangan tetap terhubung satu sama lain dan ke pusat pengolahan data.

Teknologi seperti Wi-Fi, LPWAN, dan 5G memungkinkan data dari sensor dan perangkat IoT di lapangan dikirimkan secara real-time untuk dianalisis di cloud. Hasil analisis tersebut kemudian dikembalikan kepada petani melalui aplikasi di smartphone atau laptop, sehingga mereka dapat membuat keputusan yang lebih cerdas dan efisien dalam mengelola lahan pertanian mereka. Integrasi ini meningkatkan produktivitas dan efisiensi pertanian serta mendukung keberlanjutan dalam jangka panjang .



Gambar 1. 5 Arsitektur Komponen Pertanian Cerdas

(Ali *et al.*, 2023)

LPWAN memungkinkan sensor dan perangkat IoT bekerja dalam jangkauan yang lebih jauh dari pusat kontrol dengan daya baterai yang tahan lama. Teknologi 5G menawarkan kecepatan

transmisi data yang sangat tinggi dan latensi rendah, memungkinkan komunikasi hampir instan antara perangkat IoT dan sistem analitik. Ini sangat penting dalam aplikasi yang memerlukan respons cepat, seperti irigasi otomatis atau pemantauan kesehatan ternak. Dengan konektivitas yang baik, petani dapat memantau kondisi lapangan dari jarak jauh melalui aplikasi atau platform berbasis cloud, membuat pengelolaan pertanian menjadi lebih fleksibel dan efisien. Teknologi konektivitas ini juga memungkinkan integrasi yang lebih baik dengan perangkat lain seperti drone, robot pemanen, dan sistem prediksi cuaca, sehingga menciptakan ekosistem pertanian yang benar-benar terhubung.

1.5.2 Analisis Data dan Penggunaan AI dalam Pengambilan Keputusan

Pengumpulan data oleh sensor IoT hanyalah langkah awal; nilai sebenarnya dari IoT dalam pertanian terletak pada kemampuan untuk menganalisis data tersebut dan menggunakannya untuk mendukung pengambilan keputusan. Teknologi analisis data dan kecerdasan buatan (AI) memainkan peran penting dalam mengubah data mentah menjadi wawasan yang bermanfaat. Dengan bantuan AI, data yang dikumpulkan dari sensor dapat diproses untuk mengidentifikasi pola, membuat prediksi, dan memberikan rekomendasi tindakan yang tepat. Misalnya, analisis data yang digabungkan dengan AI dapat memprediksi kebutuhan irigasi berdasarkan data cuaca, kelembaban tanah, dan pola hujan, serta menyarankan waktu dan jumlah air yang optimal untuk tanaman. Dalam peternakan, AI dapat memantau pola makan dan aktivitas ternak, mendeteksi perubahan yang mungkin menandakan penyakit, dan memberikan peringatan dini kepada peternak untuk mengambil tindakan preventif. Berbagai aplikasi pertanian pintar berbasis IoT (IoT-based smart farming applications), seperti precision farming, agricultural drones, livestock monitoring, dan lain-lain. Semua aplikasi ini berhubungan erat dengan analisis data dan

penggunaan kecerdasan buatan (AI) dalam pengambilan keputusan di sektor pertanian.

a. Precision Farming (Pertanian Presisi)

Dalam precision farming, sensor IoT di lapangan mengumpulkan data secara terus-menerus, seperti kondisi tanah, kelembaban, suhu, dan pertumbuhan tanaman. Data ini kemudian dianalisis menggunakan AI untuk memberikan rekomendasi yang tepat tentang kapan harus menanam, menyiram, atau memanen. Analisis data memungkinkan petani untuk melakukan penyesuaian yang sangat spesifik terhadap tanaman di berbagai lokasi, mengoptimalkan penggunaan sumber daya dan meningkatkan hasil panen.

b. Agricultural Drones

Drone pertanian digunakan untuk pengumpulan data dari area pertanian yang luas. Drone ini dilengkapi dengan kamera multispektral dan sensor untuk memantau kesehatan tanaman dari udara. Data yang dikumpulkan dianalisis menggunakan machine learning dan AI untuk mendeteksi anomali seperti hama, penyakit tanaman, atau area yang kekurangan nutrisi. Hasil analisis ini membantu petani dalam pengambilan keputusan tentang perawatan yang harus dilakukan untuk area tertentu.

c. Livestock Monitoring (Pemantauan Ternak)

Sensor IoT yang dipasang pada ternak dapat melacak kesehatan dan perilaku hewan secara real-time. Data yang dikumpulkan, seperti suhu tubuh, pola makan, dan aktivitas fisik, dianalisis oleh AI untuk mendeteksi tanda-tanda awal penyakit atau stres pada hewan. Dengan adanya analisis ini, peternak dapat mengambil tindakan preventif sebelum masalah kesehatan hewan menjadi lebih serius, meningkatkan produktivitas dan kesejahteraan ternak.

d. Remote Sensing (Penginderaan Jarak Jauh)

Teknologi remote sensing menggunakan satelit atau drone untuk mengumpulkan data lingkungan dari area pertanian yang luas. Data ini kemudian dianalisis oleh AI untuk memprediksi kondisi cuaca, mengidentifikasi pola tanah, dan memberikan rekomendasi tentang strategi pertanian yang lebih efisien. Ini memungkinkan petani untuk menyesuaikan metode pertanian mereka sesuai dengan kondisi lingkungan.

e. Monitor Climate Conditions (Pemantauan Kondisi Iklim)

Data cuaca dari sensor IoT, yang mengukur suhu, curah hujan, dan kelembaban udara, dianalisis oleh AI untuk memprediksi perubahan iklim yang dapat mempengaruhi tanaman. Analisis ini memberikan wawasan penting kepada petani tentang kapan harus melakukan aktivitas seperti penanaman atau perlindungan tanaman dari cuaca ekstrem, sehingga mereka dapat meminimalkan risiko kerugian akibat perubahan iklim.

f. Smart Greenhouses (Rumah Kaca Pintar)

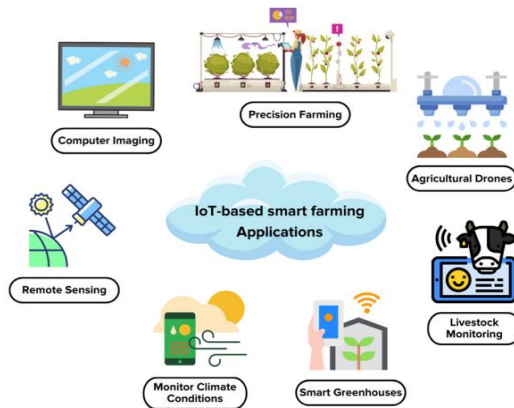
Rumah kaca pintar menggunakan sensor IoT untuk memantau dan mengontrol faktor lingkungan seperti suhu, kelembaban, dan pencahayaan secara otomatis. AI menganalisis data ini untuk memastikan kondisi optimal bagi tanaman di dalam rumah kaca, dan secara otomatis menyesuaikan sistem pengaturan lingkungan jika diperlukan. Ini memastikan bahwa tanaman tumbuh dalam kondisi terbaik sepanjang waktu tanpa memerlukan intervensi manusia yang berlebihan.

g. Computer Imaging (Pencitraan Komputer)

Computer imaging digunakan untuk memproses data visual dari lahan pertanian atau tanaman. Dengan bantuan AI, gambar dari kamera atau drone dapat dianalisis untuk mendeteksi masalah seperti penyakit tanaman, kerusakan

akibat cuaca, atau hama dengan cepat dan akurat. Berdasarkan analisis ini, petani dapat mengambil langkah yang diperlukan untuk mengatasi masalah tersebut lebih awal.

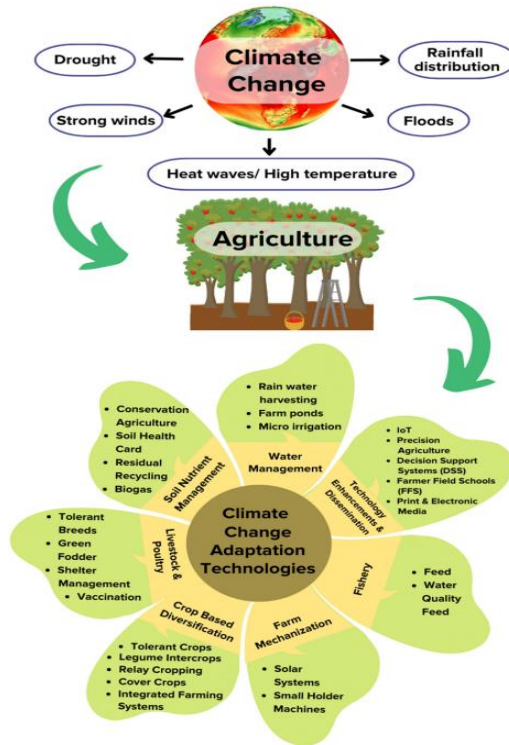
Dalam sistem pertanian pintar berbasis IoT, analisis data dan AI adalah kunci untuk membuat pengambilan keputusan yang cerdas dan efisien. Data yang dikumpulkan dari berbagai sensor dan perangkat IoT di lapangan dianalisis oleh AI untuk memberikan wawasan dan prediksi yang akurat, memungkinkan petani dan peternak untuk mengoptimalkan hasil mereka, mengurangi pemborosan sumber daya, dan meningkatkan keberlanjutan pertanian. AI membantu menyederhanakan proses yang kompleks, memungkinkan respons cepat terhadap perubahan kondisi lapangan, serta meminimalkan risiko dan kerugian di seluruh siklus produksi pertanian.



Gambar 1.6 Aplikasi IoT dalam Pertanian Cerdas
(Ali *et al.*, 2023)

Analisis data dan AI juga memungkinkan personalisasi perawatan tanaman berdasarkan kebutuhan spesifik setiap plot lahan, mendukung konsep pertanian presisi yang mengoptimalkan penggunaan input dan meningkatkan hasil panen. Dengan pemantauan real-time dan otomatisasi keputusan, petani dapat merespon perubahan kondisi lahan

lebih cepat. AI membantu memprediksi kebutuhan tanaman di masa mendatang, memungkinkan persiapan yang lebih baik untuk menghadapi tantangan lingkungan seperti cuaca ekstrem atau serangan hama. Integrasi ini menciptakan sistem pertanian yang lebih berkelanjutan, produktif, dan hemat biaya, mengurangi risiko kerugian.



Gambar 1.7 Dampak Iklim pada Pertanian dan Teknologi Adaptasi untuk Memerangi Perubahan Iklim (Ali *et al.*, 2023)

Hubungan antara perubahan iklim dan dampaknya terhadap sektor pertanian serta teknologi adaptasi yang digunakan untuk menghadapi perubahan tersebut. Beberapa masalah iklim yang disebutkan dalam gambar termasuk kekeringan, distribusi curah hujan yang tidak merata, banjir,

angin kencang, dan gelombang panas/suhu tinggi. Untuk mengatasi tantangan ini, teknologi adaptasi perubahan iklim di pertanian ditampilkan melalui berbagai sektor seperti manajemen air, manajemen nutrisi tanah, diversifikasi tanaman, mekanisasi pertanian, dan penggunaan teknologi seperti IoT dan sistem dukungan keputusan (Decision Support Systems - DSS).

a. IoT dan Precision Agriculture

Internet of Things (IoT) dan pertanian presisi adalah teknologi utama yang memungkinkan petani untuk mengumpulkan data real-time tentang kondisi lingkungan, cuaca, dan tanaman. Data yang dikumpulkan oleh sensor IoT dapat berupa kelembaban tanah, suhu, curah hujan, dan kualitas air. AI kemudian digunakan untuk menganalisis data ini, mendeteksi tren, dan memberikan rekomendasi yang optimal dalam pengelolaan lahan pertanian. AI membantu membuat keputusan yang lebih tepat mengenai waktu terbaik untuk menyiram tanaman, memanen, atau bahkan melakukan irigasi.

b. Decision Support Systems (DSS)

Sistem dukungan keputusan (DSS) memungkinkan petani untuk membuat keputusan yang lebih baik dengan bantuan analisis data. Dengan AI, DSS dapat memproses sejumlah besar data yang dikumpulkan dari berbagai sumber, seperti sensor cuaca dan data iklim historis, untuk memprediksi hasil panen, risiko banjir atau kekeringan, dan kebutuhan irigasi di masa mendatang. Penggunaan machine learning dalam DSS juga memungkinkan perbaikan keputusan secara terus-menerus berdasarkan data baru yang masuk.

c. Manajemen Air dan Nutrisi Tanah

Dalam manajemen air, teknologi seperti pengumpulan air hujan, kolam pertanian, dan irigasi mikro memanfaatkan sensor IoT untuk memantau penggunaan air. Dengan AI, data ini dianalisis untuk memastikan penggunaan air yang optimal sesuai dengan kondisi spesifik setiap lahan. Selain itu, untuk manajemen nutrisi tanah, AI dapat membantu menganalisis data kualitas tanah dan memberikan rekomendasi tentang kebutuhan pemupukan atau pH tanah yang harus disesuaikan untuk meningkatkan hasil panen.

d. Diversifikasi Tanaman dan Sistem Pertanian Terintegrasi

AI juga memainkan peran penting dalam diversifikasi tanaman dan pengelolaan sistem pertanian terintegrasi. Dengan memantau kondisi iklim dan tanah, AI dapat membantu petani memilih jenis tanaman yang lebih tahan terhadap kondisi lingkungan tertentu, seperti kekeringan atau banjir. Misalnya, tanaman yang toleran terhadap kekeringan dapat dipilih berdasarkan analisis prediksi AI tentang pola curah hujan yang tidak menentu.

e. Mekanisasi Pertanian

Teknologi mekanisasi pertanian seperti mesin kecil untuk petani dapat diintegrasikan dengan AI dan IoT. Dengan bantuan data real-time, AI dapat mengatur penggunaan alat-alat tersebut untuk mengoptimalkan waktu operasional, mengurangi energi, dan meningkatkan produktivitas. Mesin yang dipasangkan dengan sensor dapat menganalisis kondisi lahan, memastikan efisiensi dalam penggunaan bahan bakar dan tenaga kerja.

Berbagai tantangan yang dihadapi pertanian akibat perubahan iklim dan bagaimana teknologi adaptasi seperti IoT, analisis data, dan AI dapat mendukung pengambilan keputusan yang lebih cerdas dan efisien. Dengan memanfaatkan analisis data dan AI, petani dapat

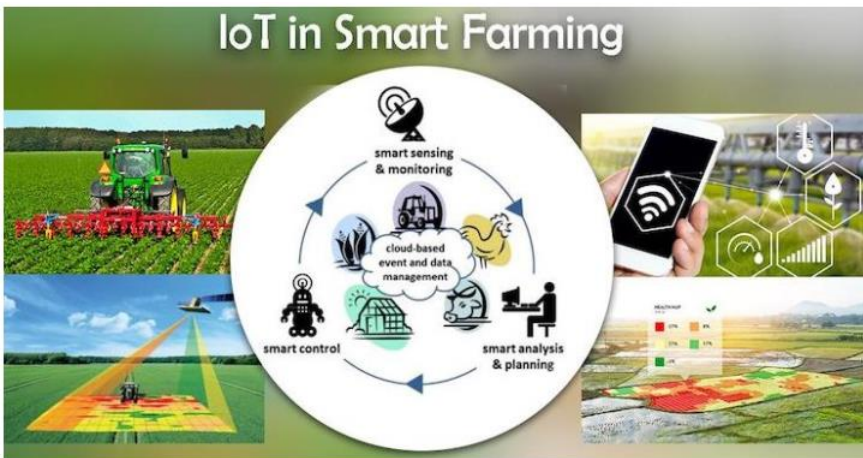
membuat keputusan yang lebih akurat tentang penggunaan air, pengelolaan tanah, pemilihan tanaman, serta memprediksi risiko cuaca, yang pada akhirnya membantu meningkatkan ketahanan pertanian terhadap perubahan iklim. Dengan kemampuan ini, IoT tidak hanya meningkatkan efisiensi operasional tetapi juga membantu petani beradaptasi dengan perubahan lingkungan dan tantangan yang kompleks, menjadikan pertanian lebih tangguh dan berkelanjutan.

Internet of Things (IoT) telah mengubah cara bisnis mengelola sumber daya, manusia, dan lingkungan secara signifikan. IoT menawarkan solusi yang lebih akurat dan efisien untuk berbagai aspek bisnis, mulai dari manajemen inventaris hingga kesehatan anak. IoT menggunakan sensor, analitik, dan analisis data AI untuk membuat keputusan lebih cepat, lebih akurat, dan lebih berbasis data, meningkatkan produktivitas dan efisiensi operasional. IoT tidak hanya meningkatkan manajemen lingkungan dan manajemen sumber daya tetapi juga meningkatkan efisiensi input seperti udara, air, dan pestisida. IoT juga mengurangi dampak negatif lingkungan dengan mengurangi penggunaan air. Potensi IoT dalam mengubah sektor pangan sangat signifikan, karena dapat membantu menyediakan makanan yang lebih baik dan mengurangi pemborosan makanan. IoT telah membuat industri makanan lebih modern dan berorientasi pada data, mengoptimalkan setiap keputusan untuk mencapai hasil yang lebih baik sambil meminimalkan konsumsi makanan.

Bab 2

TEKNOLOGI IOT DAN KOMPONEN UTAMA

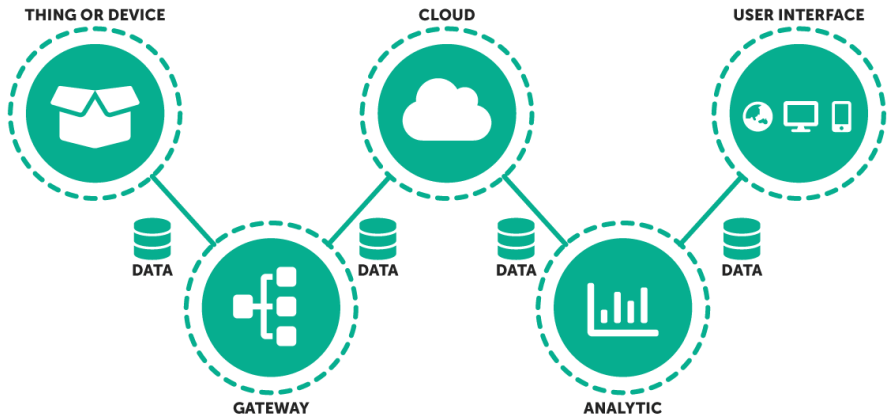
Teknologi *Internet of Things* (IoT) telah mengubah berbagai sektor, termasuk pertanian, dengan menyediakan solusi cerdas yang meningkatkan efisiensi dan keberlanjutan. Pada era pertanian modern, IoT membantu petani memonitor kondisi lapangan, mengoptimalkan penggunaan sumber daya, serta meningkatkan produktivitas melalui data *real-time* dan otomatisasi.



Gambar 2.1 IoT Era Pertanian Modern
(<https://rethinkcleveland.org/>)

Teknologi IoT didukung oleh berbagai komponen utama yang memungkinkan sistem IoT berfungsi secara efektif.

Komponen utama IoT meliputi sensor dan aktuator, *gateway*, *cloud*, analitik data, dan *user interface* (UI).



Gambar 2.2 Komponen Utama IoT (www.rfpage.com)

Sensor dan aktuator bertanggungjawab untuk berinteraksi dengan dunia fisik. Sensor dapat mendeteksi berbagai parameter seperti suhu, kelembaban, cahaya, dan gerakan, sementara aktuator memproses informasi tersebut dan mengambil tindakan sesuai kebutuhan. *Gateway* bertindak sebagai jembatan yang menghubungkan sensor dengan *cloud*. *Gateway* melakukan pra-proses data dan mentransmisikannya ke *cloud* untuk penyimpanan lebih lanjut. Fungsi lainnya adalah mengamankan transfer data antara perangkat dan platform IoT. Data yang dikumpulkan oleh sensor, dikirim melalui *gateway* kemudian disimpan dan diproses di *cloud*. *Cloud* menyediakan tempat penyimpanan yang fleksibel dan aman untuk data besar dan memungkinkan pemrosesan serta analisis lebih lanjut. Analitik data berfungsi untuk memproses dan menganalisis data yang dikumpulkan dari perangkat IoT. Proses ini memungkinkan pengambilan keputusan yang lebih baik berdasarkan wawasan yang didapat dari data yang diolah. Antarmuka grafis yang memungkinkan pengguna berinteraksi dengan sistem IoT disebut *user interface* (UI), berfungsi untuk

Bab ini akan mengeksplorasi lebih lanjut untuk memberikan landasan teknis yang diperlukan dan memahami cara IoT mendukung transformasi pertanian menuju era digital yang lebih cerdas, efektif, dan efisien.

2.1. Sensor dan Aktuator

Dalam pertanian modern, integrasi sensor dan aktuator memainkan peran penting dalam meningkatkan efisiensi dan produktivitas. Sensor adalah perangkat yang berfungsi untuk mengukur dan mendeteksi kondisi lingkungan di sekitar tanaman. Dalam konteks pertanian modern, sensor berperan penting dalam pengumpulan data untuk meningkatkan efisiensi dan produktivitas. Jenis sensor yang umum digunakan meliputi:

- ✚ **Sensor Tanah**, meliputi sensor kelembapan, suhu, dan pH tanah. Data ini membantu petani dalam pengaturan irigasi dan pemupukan yang tepat.
- ✚ **Sensor Cuaca**, berfungsi untuk mengumpulkan informasi tentang kondisi atmosfer seperti suhu, kelembapan, kecepatan angin, dan curah hujan. Data ini penting untuk perencanaan dan pengelolaan pertanian.
- ✚ **Sensor Hama**, berfungsi untuk mendeteksi serangan hama dan penyakit dengan memantau perubahan perilaku tanaman atau mengidentifikasi keberadaan hama tertentu.

Melengkapi sensor ini, aktuator berfungsi untuk melakukan aksi fisik berdasarkan data yang diterima dari sensor. Aktuator mengontrol berbagai sistem di pertanian, seperti:

- ✚ **Irigasi Otomatis**: Menggunakan aktuator untuk membuka dan menutup katup air berdasarkan kelembapan tanah yang diukur oleh sensor, sehingga memastikan tanaman mendapatkan jumlah air yang tepat.

Pengendalian Pupuk: Aktuator dapat digunakan untuk mendistribusikan pupuk secara otomatis berdasarkan kebutuhan yang terdeteksi melalui data sensor.

- ✚ **Sistem Perlindungan:** Aktuator juga dapat mengontrol perangkat untuk melindungi tanaman dari hama, seperti pemancar suara atau penghalang fisik yang aktif ketika sensor mendeteksi ancaman.

Dengan kombinasi sensor dan aktuator ini, sistem IoT dalam pertanian dapat beroperasi secara otomatis dan efisien, memungkinkan pengelolaan yang lebih baik dan responsif terhadap kebutuhan tanaman.

2.2. Gateway

Gateway adalah komponen penting dalam sistem *Internet of Things* (IoT) yang berfungsi sebagai jembatan antara perangkat IoT, seperti sensor atau aktuator, dengan sistem *cloud* atau internet. *Gateway* memungkinkan komunikasi dua arah antara perangkat IoT dan *cloud*. *Gateway* mengumpulkan data dari perangkat IoT dan kemudian mengirimkannya ke *cloud* untuk analisis, atau sebaliknya, menerima perintah dari *cloud* untuk dieksekusi oleh perangkat.

Gateway juga berfungsi sebagai manajemen data yang dapat melakukan prapemrosesan data, seperti menyaring dan mengelompokkan data sebelum dikirimkan ke *cloud*. Hal ini membantu mengurangi beban jaringan dan meningkatkan efisiensi pengelolaan data. Selain itu, *gateway* juga berperan dalam meningkatkan keamanan sistem IoT, dengan melakukan enkripsi data, mengelola autentikasi perangkat, dan melindungi data dari ancaman keamanan siber yang potensial.



Gambar 2.3 Protokol Komunikasi IoT (www.rfpage.com)

Gateway mendukung berbagai protokol komunikasi, seperti *LoRa*, *Wi-Fi*, *Bluetooth*, *Zigbee*, atau jaringan seluler, untuk memungkinkan berbagai perangkat dapat terhubung. Komunikasi dapat terhubung antara perangkat ke perangkat (*device-to-device*) maupun perangkat ke *cloud* (*device-to-cloud*), tergantung pada kebutuhan sistem IoT. Komunikasi perangkat ke perangkat (*device-to-device*) memungkinkan komunikasi langsung antar perangkat dalam jaringan IoT tanpa perlu mengirim data ke *cloud*. Hal ini penting untuk efisiensi dan kecepatan, terutama dalam aplikasi *real-time*. Sedangkan komunikasi perangkat ke *cloud* (*device-to-cloud*) memungkinkan perangkat mengirimkan data ke *cloud* untuk pemrosesan lebih lanjut, penyimpanan, atau analitik. Hal ini memungkinkan sistem IoT untuk memanfaatkan kekuatan komputasi *cloud* dalam skala besar. Dengan peran sentral ini, *Gateway* menjadi elemen kunci dalam menghubungkan, memantau, dan mengelola ekosistem IoT yang terdistribusi secara luas.

Dalam sistem IoT, khususnya di bidang pertanian, keamanan data menjadi isu penting karena banyaknya perangkat yang terhubung dan volume data sensitif yang dihasilkan. Data yang dikumpulkan dari sensor IoT dan perangkat lainnya sering

kali dikirim secara daring, sehingga menjadi rentan terhadap serangan siber. Data pertanian yang melibatkan informasi cuaca, kelembapan tanah, dan kualitas udara harus dilindungi untuk mencegah gangguan yang dapat memengaruhi keputusan bisnis atau produksi pertanian.

Dalam pertanian presisi, penggunaan *Identity Access Management (IAM)* diperlukan untuk memastikan bahwa hanya pengguna yang berwenang dapat mengakses data. Hal ini penting untuk menjaga integritas data dan memastikan bahwa informasi yang dikumpulkan tidak dimanipulasi oleh pihak tidak bertanggung jawab.

Infrastruktur IoT seperti *gateway*, *server*, dan jaringan harus dilindungi dari akses tidak sah melalui enkripsi dan protokol keamanan. Hal ini bertujuan untuk memastikan bahwa data tetap aman saat transit antara perangkat sensor dan penyimpanan *cloud*. Keamanan data dalam IoT sangat penting untuk menjaga keberlanjutan dan efektivitas sektor pertanian berbasis teknologi tinggi.

2.3. Cloud

Cloud dalam konteks IoT adalah pusat data dan pemrosesan utama yang berfungsi sebagai platform penyimpanan dan pengolahan informasi yang dikumpulkan dari perangkat IoT. *Cloud* menyimpan data yang dihasilkan oleh sensor atau perangkat IoT secara *real-time*. Karena perangkat di lapangan sering kali memiliki kapasitas penyimpanan terbatas, data ini diunggah ke *cloud* untuk penyimpanan yang aman dan dapat diakses kapan saja. *Cloud* memungkinkan pemrosesan data secara terpusat. Informasi yang diterima dari perangkat IoT dapat dianalisis menggunakan algoritma khusus untuk mendeteksi pola, anomali, atau menghasilkan wawasan yang berguna untuk pengambilan keputusan.

Salah satu keunggulan *cloud* adalah kemampuannya untuk mengelola volume data yang besar secara efisien. Hal ini

penting dalam pertanian modern di mana ribuan sensor dapat mengirimkan data setiap saat. Pengguna dapat mengakses data atau mengontrol perangkat IoT dari jarak jauh melalui platform *cloud*, memungkinkan pemantauan yang efisien tanpa harus berada di lokasi fisik.

2.4. Analitik Data

Analitik data adalah proses pengumpulan, pengolahan, dan analisis kumpulan data besar (*big data*) untuk menemukan pola atau wawasan yang dapat digunakan untuk pengambilan keputusan. Proses ini mencakup pengubahan data mentah menjadi pengetahuan yang dapat ditindaklanjuti oleh organisasi. Analitik data membantu dalam memahami perilaku pelanggan, memprediksi tren pasar, dan meningkatkan efisiensi operasional bisnis.

Dalam bidang pertanian modern, analitik data merupakan komponen yang sangat penting untuk meningkatkan produktivitas dan efisiensi. Dengan memanfaatkan perangkat IoT, sensor, dan teknologi *big data*, petani dapat mengumpulkan data dalam jumlah besar terkait kondisi tanah, cuaca, kesehatan tanaman, serta penggunaan air dan nutrisi. Data ini kemudian dianalisis untuk menghasilkan wawasan yang berguna bagi pengambilan keputusan yang lebih baik. Analitik data dalam bidang pertanian modern, meliputi:



Gambar 2.4 Big Data dalam Pertanian Modern
(<https://www.berita2bahasa.com/>)

- ✚ **Prediksi hasil panen:** Analisis data membantu memprediksi hasil produksi berdasarkan variabel lingkungan dan praktik pertanian.
- ✚ **Optimalisasi penggunaan sumber daya:** Dengan menganalisis data tentang penggunaan air, pupuk, dan pestisida, petani dapat mengurangi limbah dan meningkatkan efisiensi.
- ✚ **Deteksi dini masalah tanaman:** Teknologi analitik memungkinkan petani mendeteksi penyakit atau hama sejak dini, sehingga dapat mengambil tindakan lebih cepat.
- ✚ **Perencanaan strategi jangka panjang:** Analitik data memberikan wawasan tentang tren pasar dan kondisi lingkungan, membantu petani merencanakan produksi mereka lebih baik.

Analitik data berkaitan erat dengan kecerdasan buatan (AI), terutama dalam dunia teknologi modern. AI adalah teknologi yang meniru kemampuan belajar manusia untuk memecahkan masalah, membuat keputusan, dan

mengotomatisasi tugas. AI menggunakan algoritma pembelajaran mesin (*machine learning*) dan pemrosesan bahasa alami (NLP) untuk menganalisis data, memahami pola, dan membuat prediksi. Dalam kombinasi dengan analitik data, AI mempercepat pemrosesan informasi dan memberikan hasil yang lebih presisi.

2.5. User Interface

User Interface (UI) dalam sistem IoT pertanian modern adalah komponen penting yang memungkinkan pengguna untuk mengakses, memvisualisasikan, dan mengendalikan data yang dikumpulkan dari perangkat IoT. Fungsi utama UI adalah untuk menyederhanakan interaksi antara petani atau operator dengan sistem yang kompleks, sehingga petani dapat mengambil keputusan berbasis data dengan lebih mudah.



Gambar 2.5 UI untuk Pertanian Modern (<https://www.https://medium.com/>)

UI menyediakan tampilan grafis dari data seperti kondisi tanah, cuaca, kelembapan, dan hasil analitik. Selain itu, UI juga menyediakan grafik, peta, dan *dashboard* yang memudahkan pemahaman data secara *real-time*. Petani dapat mengontrol

sistem secara langsung melalui UI, misalnya mengaktifkan atau menonaktifkan sistem irigasi otomatis berdasarkan informasi yang disajikan. UI juga mengirimkan notifikasi saat ada anomali atau kondisi darurat, seperti kelembapan tanah yang terlalu rendah atau cuaca ekstrem, sehingga tindakan dapat diambil secara cepat.

Teknologi *Internet of Things* (IoT) memainkan peran sentral dalam revolusi pertanian modern. Dengan memanfaatkan komponen utama seperti sensor, aktuator, jaringan, dan platform analitik data, IoT memungkinkan pemantauan dan pengelolaan lahan pertanian secara real-time. Penerapan teknologi ini tidak hanya meningkatkan efisiensi penggunaan sumber daya, tetapi juga memungkinkan pengambilan keputusan yang lebih baik berdasarkan data yang akurat dan tepat waktu.

Teknologi IoT juga membantu petani menghadapi tantangan pertanian masa depan dengan menyediakan solusi otomatis yang dapat meminimalkan pemborosan dan memaksimalkan produktivitas. Seiring dengan perkembangan komponen-komponen utama IoT, adopsi teknologi ini diprediksi akan semakin luas, membawa dampak positif bagi keberlanjutan sektor pertanian secara global. Dengan memahami komponen-komponen utama IoT, petani dapat lebih siap dalam menghadapi perubahan iklim, keterbatasan lahan, dan tantangan lainnya di era pertanian digital ini.

Bab 3

Aplikasi IoT dalam Monitoring Tanaman

3.1 Monitoring Tanaman dan Peran IoT

Pemantauan kondisi tanaman secara real-time merupakan salah satu hal penting dalam dunia pertanian modern. Sebagai aktivitas utama dalam manajemen lahan, monitoring tanaman bertujuan untuk memastikan bahwa tanaman tumbuh dalam lingkungan yang optimal, mulai dari pemupukan yang tepat, penyiraman yang cukup, hingga pemantauan kondisi kesehatan secara keseluruhan. Di era pertanian tradisional, pemantauan ini dilakukan secara manual, yang sering kali memakan waktu dan rawan terjadi *human error*. Namun, dengan kemajuan teknologi, pemantauan real-time memungkinkan pengumpulan data yang lebih akurat dan cepat, sehingga membantu petani dalam mengambil keputusan yang lebih baik dan efisien.

Penggunaan teknologi *Internet of Things* (IoT) dalam pertanian, atau dikenal sebagai "smart farming," telah membawa revolusi dalam bagaimana petani memantau kondisi tanaman. IoT memungkinkan integrasi antara sensor, perangkat lunak, dan konektivitas internet yang memudahkan pengumpulan data secara real-time tanpa perlu intervensi manual. Ini memungkinkan pertanian untuk menjadi lebih presisi, efisien, dan ramah lingkungan (Zhou et al., 2021).

Peran IoT dalam Monitoring Tanaman

IoT memainkan peran kunci dalam monitoring tanaman karena memberikan data yang relevan dan akurat secara langsung kepada petani atau pengelola lahan. IoT menghubungkan berbagai sensor yang ditempatkan di lahan pertanian, yang kemudian terhubung melalui jaringan internet untuk mengirimkan data secara otomatis ke server pusat atau *handphone* petani. Penggunaan IoT memungkinkan petani untuk mengamati kondisi tanaman tanpa harus terus menerus berada di lahan.

Lebih jauh lagi, sistem IoT dapat diintegrasikan dengan teknologi *big data* dan *Artificial Intelligence* (AI) untuk memproses informasi secara otomatis dan memberikan rekomendasi kepada petani. Dengan demikian, petani tidak hanya menerima data mentah, tetapi juga mendapatkan analisis yang komprehensif tentang kebutuhan tanaman, seperti irigasi, pemupukan, atau tindakan pencegahan dan pengendalian hama dan penyakit (Wang et al., 2020). Proses ini meningkatkan efisiensi manajemen lahan dan mengurangi potensi kerugian akibat faktor eksternal seperti perubahan cuaca yang mendadak dan serangan organisme pengganggu tanaman (OPT).

Salah satu manfaat utama IoT dalam monitoring tanaman adalah peningkatan efisiensi sumber daya. Sebagai contoh, sistem irigasi cerdas yang terhubung dengan sensor kelembaban tanah hanya akan mengaktifkan penyiraman ketika tanah mencapai tingkat kekeringan tertentu, sehingga menghindari pemborosan air. Begitu juga dengan pemupukan, di mana sensor nutrisi tanah dapat menentukan jumlah pupuk yang tepat sesuai dengan kebutuhan tanaman, mengurangi penggunaan pupuk yang berlebihan yang dapat mencemari lingkungan (Balafoutis et al., 2017).

Jenis Sensor dalam Monitoring Tanaman

Keberhasilan implementasi IoT dalam pertanian sangat bergantung pada jenis sensor yang digunakan. Sensor-sensor ini mampu mengukur berbagai parameter yang mempengaruhi kesehatan dan pertumbuhan tanaman, serta kondisi lingkungan sekitar. Beberapa sensor yang umum digunakan dalam monitoring tanaman antara lain:

a. Sensor Kelembaban Tanah

Sensor ini berfungsi untuk mengukur tingkat kelembaban di sekitar akar tanaman, yang merupakan indikator penting dalam pengelolaan irigasi. Dengan memantau kelembaban tanah secara *real-time*, petani dapat menentukan kapan dan berapa banyak air yang dibutuhkan oleh tanaman untuk tumbuh optimal. Dalam sistem irigasi cerdas, data dari sensor kelembaban tanah dapat langsung diintegrasikan dengan sistem irigasi otomatis untuk menghemat air dan energi (Li et al., 2018).

b. Sensor Nutrisi Tanah

Sensor nutrisi tanah mengukur kadar unsur hara yang tersedia di dalam tanah, seperti nitrogen (N), fosfor (P), dan kalium (K). Informasi ini sangat penting untuk menentukan kebutuhan pupuk. Dengan IoT, data nutrisi tanah yang diperoleh dari sensor dapat diolah untuk memberikan rekomendasi pemupukan yang presisi, sehingga menghindari pemupukan yang berlebihan atau kekurangan nutrisi (Chen et al., 2020).

c. Sensor Suhu dan Kelembaban Udara

Kondisi suhu dan kelembaban udara juga berpengaruh besar terhadap pertumbuhan tanaman. Sensor ini digunakan untuk memantau suhu udara di sekitar tanaman, serta kelembaban relatif yang memengaruhi evaporasi air dari daun tanaman. Pemantauan ini penting untuk mencegah kekeringan yang dapat mengurangi hasil panen. Selain itu, data ini juga dapat

membantu dalam mengelola lingkungan mikro di rumah kaca atau sistem pertanian tertutup lainnya (Romero et al., 2021).

d. Sensor Cahaya dan Kamera Multispektral

Sumber cahaya yang cukup dan berkualitas sangat diperlukan oleh tanaman untuk melakukan fotosintesis. Sensor cahaya digunakan untuk mengukur intensitas cahaya yang diterima oleh tanaman, terutama di lahan terbuka. Selain itu, kamera multispektral mampu menangkap panjang gelombang cahaya tertentu yang tidak terlihat oleh mata manusia untuk mengidentifikasi kondisi kesehatan tanaman. Kamera ini dapat mendeteksi cekaman air, serangan OPT atau kerusakan tanaman yang belum terlihat secara visual, sehingga tindakan awal dapat dilakukan (Zarco-Tejada et al., 2018).

Dampak dan Keuntungan IoT dalam Monitoring Tanaman

Penggunaan teknologi IoT dalam monitoring tanaman tidak hanya memberikan keuntungan bagi petani dari segi efisiensi, tetapi juga berdampak positif bagi lingkungan. Dengan pengelolaan sumber daya yang lebih baik, seperti air dan pupuk, penggunaan teknologi IoT membantu mengurangi pemborosan dan polusi yang sering kali disebabkan oleh praktik pertanian yang tidak efisien. Selain itu, dengan adanya data real-time, petani dapat merespons perubahan kondisi lingkungan dengan cepat dan tepat, sehingga meningkatkan produktivitas tanaman secara keseluruhan (Verdouw et al., 2020).

Selain keuntungan ekonomi dan lingkungan, penerapan IoT dalam pertanian juga mempercepat digitalisasi di sektor pertanian. Ini memberikan peluang bagi petani untuk beradaptasi dengan teknologi canggih, meningkatkan daya saing mereka di pasar global, dan mewujudkan visi pertanian cerdas yang berkelanjutan.

3.2. Manfaat Utama IoT dalam Monitoring Tanaman

Penggunaan teknologi IoT dalam monitoring tanaman menawarkan berbagai manfaat yang dapat mengoptimalkan praktik pertanian modern. Teknologi ini tidak hanya membantu petani dalam mengelola sumber daya secara lebih efisien, tetapi juga memungkinkan deteksi dini terhadap masalah yang dapat mengancam hasil panen, serta mendukung pengambilan keputusan yang lebih cerdas berbasis data. Setidaknya, ada tiga manfaat utama IoT dalam monitoring tanaman: optimalisasi pertumbuhan tanaman, deteksi dini masalah, dan pengambilan keputusan berbasis data yang akurat.

1. Optimalisasi Pertumbuhan Tanaman

Salah satu manfaat terbesar dari penerapan IoT dalam pertanian adalah kemampuannya untuk membantu petani mengoptimalkan pertumbuhan tanaman. Dengan adanya sensor yang terhubung melalui jaringan IoT, data mengenai kondisi tanah, kelembaban, suhu, cahaya, dan nutrisi dapat dikumpulkan secara real-time. Hal ini memungkinkan petani untuk menyesuaikan input pertanian seperti air, pupuk, dan cahaya secara efisien, sehingga tanaman tumbuh dalam kondisi optimal.

Sebagai contoh, sensor kelembaban tanah dapat memberikan informasi mengenai tingkat kelembaban di sekitar akar tanaman, yang merupakan faktor penting dalam menentukan kebutuhan irigasi. Dengan sistem irigasi cerdas yang terintegrasi dengan IoT, penyiraman dapat diatur sesuai kebutuhan spesifik tanaman, mencegah penyiraman yang berlebihan atau kekurangan. Sistem ini tidak hanya menghemat air, tetapi juga mencegah over-irrigation yang dapat menyebabkan pembusukan akar atau pencucian nutrisi penting dari tanah (Balafoutis et al., 2017).

Selain irigasi, IoT juga memainkan peran penting dalam pemupukan. Sensor nutrisi tanah yang terhubung dengan sistem

IoT dapat mendeteksi kandungan unsur hara seperti nitrogen, fosfor, dan kalium dalam tanah. Berdasarkan data ini, aplikasi pemupukan dapat disesuaikan untuk memberikan jumlah pupuk yang tepat pada waktu yang tepat, meningkatkan efisiensi penggunaan pupuk sekaligus mengurangi risiko pencemaran lingkungan akibat pemupukan yang berlebihan (Sharma et al., 2020).

Di sektor pertanian tertutup atau rumah kaca, sensor cahaya juga sangat berperan. IoT dapat memantau intensitas cahaya yang diterima oleh tanaman dan menyesuaikannya sesuai kebutuhan. Dengan pengaturan otomatis berdasarkan data dari sensor, intensitas cahaya dapat ditingkatkan atau dikurangi untuk menciptakan kondisi ideal bagi tanaman yang berbeda, memungkinkan pertumbuhan optimal sepanjang siklus tanam.

2. Deteksi Dini Masalah

Kemampuan IoT untuk melakukan pemantauan berkelanjutan memungkinkan deteksi dini terhadap masalah yang dapat mengancam produktivitas tanaman. Sensor-sensor yang dipasang di lapangan tidak hanya mengumpulkan data tentang kebutuhan dasar tanaman seperti air dan nutrisi, tetapi juga dapat mendeteksi gejala awal dari cekaman lingkungan dan serangan OPT. Pemantauan ini sangat penting dalam menjaga kesehatan tanaman dan mencegah peningkatan serangan OPT.

Selain itu, sensor suhu dan kelembaban udara dapat memberikan peringatan dini tentang kondisi lingkungan yang ideal untuk perkembangan penyakit tanaman. Sebagai contoh, beberapa patogen berkembang lebih cepat di lingkungan lembab dengan suhu tertentu. Dengan pemantauan yang terus-menerus, sistem IoT dapat mengidentifikasi kondisi ini dan memberikan peringatan kepada petani, yang kemudian dapat mengambil langkah pencegahan seperti penyemprotan fungisida sebelum patogen menyebar luas (Li et al., 2018).

Deteksi dini juga sangat berguna dalam manajemen hama. Beberapa sistem IoT telah dikembangkan untuk mendeteksi keberadaan hama melalui sensor getaran atau pengenalan gambar otomatis. Sistem ini memungkinkan petani untuk segera mengambil tindakan seperti penyemprotan pestisida atau penggunaan teknik pengendalian hayati sebelum hama menyebabkan kerusakan signifikan pada tanaman (Jhuria et al., 2019).

3. Pengambilan Keputusan Berbasis Data

Salah satu keunggulan utama IoT dalam pertanian adalah kemampuannya untuk mendukung pengambilan keputusan berbasis data. Dalam pertanian tradisional, keputusan mengenai irigasi, pemupukan, atau pengendalian hama seringkali didasarkan pada pengalaman atau intuisi petani. Namun, dengan adanya IoT, keputusan dapat dibuat berdasarkan data objektif yang diperoleh dari sensor di lapangan, yang tidak hanya lebih akurat tetapi juga tepat waktu.

Pengambilan keputusan berbasis data memungkinkan petani untuk mengurangi risiko yang disebabkan oleh ketidakpastian kondisi lingkungan. Sebagai contoh, perubahan cuaca yang mendadak dapat mempengaruhi kebutuhan irigasi atau waktu panen. Dengan data yang diperoleh dari sensor IoT, petani dapat merespons perubahan ini dengan cepat dan efektif. Selain itu, integrasi IoT dengan teknologi kecerdasan buatan memungkinkan analisis data yang lebih mendalam, memberikan prediksi dan rekomendasi berdasarkan pola data yang telah diamati sebelumnya (Verdouw et al., 2020).

Misalnya, melalui analisis data cuaca, suhu tanah, dan kelembaban udara, sistem IoT yang dilengkapi AI dapat memberikan rekomendasi waktu yang optimal untuk menyiram, memupuk, atau melakukan panen. Hal ini tidak hanya meningkatkan produktivitas, tetapi juga mengurangi

penggunaan sumber daya yang tidak perlu seperti air dan pupuk.

Selain itu, IoT dapat dihubungkan dengan sistem manajemen pertanian yang lebih luas, sehingga semua data dari berbagai sensor dapat dikumpulkan dan dianalisis dalam satu platform. Dengan demikian, petani dapat memantau seluruh lahan mereka dari satu titik, memudahkan pengambilan keputusan yang lebih efisien dan efektif.

3.3 Integrasi IoT dengan Otomasi dan Teknologi Cerdas dalam Pertanian

Integrasi Internet of Things (IoT) dengan otomasi dan teknologi cerdas telah membawa revolusi dalam industri pertanian, menciptakan sistem yang lebih efisien, produktif, dan berkelanjutan. Berikut merupakan tiga aspek penting dari integrasi IoT: *sistem irigasi cerdas*, *Precision farming*, dan *pemanfaatan big data serta kecerdasan buatan (AI)* dalam pertanian.

Integrasi IoT dengan otomasi dan teknologi cerdas memberikan kontribusi besar dalam meningkatkan efisiensi dan produktivitas pertanian. Sistem irigasi cerdas memungkinkan penggunaan air yang lebih hemat dan tepat sasaran, sementara *Precision farming* mengoptimalkan penggunaan input pertanian seperti pupuk dan air berdasarkan data yang akurat. Pemanfaatan *big data* dan AI dalam analisis data pertanian memungkinkan prediksi yang lebih baik, optimasi sumber daya, serta deteksi dini masalah yang dapat menghambat produksi.

1. Sistem Irigasi Cerdas

Salah satu aplikasi utama IoT dalam otomasi pertanian adalah irigasi cerdas, yang memungkinkan pengelolaan air secara efisien berdasarkan kebutuhan spesifik tanaman. Sistem ini menggunakan sensor kelembaban tanah untuk memantau kadar air dan secara otomatis mengaktifkan sistem irigasi sesuai dengan tingkat kelembaban yang diukur.

Dengan sistem ini, air hanya diberikan ketika tanaman membutuhkannya, mengurangi pemborosan sumber daya air. Teknologi IoT ini sangat bermanfaat di daerah dengan akses air yang terbatas, di mana penghematan air dapat meningkatkan produktivitas pertanian. Menurut penelitian oleh Gao et al. (2018), penggunaan irigasi cerdas berbasis IoT dapat menghemat hingga 30% penggunaan air tanpa mengorbankan hasil panen, dibandingkan dengan metode irigasi tradisional. Selain itu, dengan data yang dikumpulkan secara real-time, petani dapat memantau kondisi tanah dari jarak jauh dan menghindari kekurangan air yang dapat merugikan pertumbuhan tanaman.

Contoh praktis dari irigasi cerdas adalah penerapan *drip irrigation* yang diatur oleh sensor IoT untuk memastikan distribusi air langsung ke akar tanaman dengan volume yang tepat. Penggunaan sistem seperti ini telah terbukti meningkatkan efisiensi penggunaan air hingga 50%, seperti dilaporkan oleh Jones et al. (2019).

2. Precision farming

Precision farming atau pertanian presisi mengacu pada teknik pertanian yang didukung oleh data yang bertujuan untuk memaksimalkan produksi melalui pengelolaan yang tepat berdasarkan informasi spesifik mengenai kondisi lingkungan dan tanaman. Dalam konteks IoT, *Precision farming* menggabungkan sensor, drone, dan perangkat lainnya untuk mengumpulkan data yang kemudian dianalisis guna memberikan rekomendasi yang akurat untuk pemupukan, pengairan, dan pengendalian hama.

IoT memungkinkan pertanian presisi dengan mengintegrasikan berbagai perangkat yang mampu memonitor kondisi tanaman, tanah, dan cuaca. Sensor IoT mendeteksi kadar berbagai unsur hara yang dibutuhkan tanaman, seperti nitrogen, fosfor, dan kalium dalam tanah, yang kemudian dapat digunakan untuk menentukan kebutuhan pupuk secara lebih tepat. Hal ini

mengurangi risiko over-fertilization yang bisa menyebabkan pencemaran lingkungan sekaligus memastikan tanaman mendapatkan nutrisi optimal.

Selain itu, drone yang dilengkapi dengan sensor multispektral juga digunakan untuk memantau kesehatan tanaman dan mendeteksi gejala awal stres atau penyakit pada tanaman. Penelitian oleh Zhang et al. (2020) menunjukkan bahwa penggunaan drone dalam *Precision farming* dapat meningkatkan hasil pertanian hingga 25% karena kemampuan mereka dalam memberikan data visual yang akurat tentang kondisi lapangan secara real-time.

3. Big data dan Kecerdasan Buatan (AI)

IoT tidak hanya sekadar menghasilkan data, tetapi juga memfasilitasi pengumpulan data dalam jumlah besar, yang dikenal sebagai *big data*. Data yang dihasilkan oleh sensor IoT meliputi kondisi tanah, cuaca, pertumbuhan tanaman, serangan OPT, dan parameter lainnya. Pemanfaatan *big data* ini memberikan kesempatan bagi petani untuk menganalisis tren dan pola yang sebelumnya tidak terlihat, yang dapat digunakan untuk pengambilan keputusan yang lebih baik.

Teknologi kecerdasan buatan berperan penting dalam mengolah data ini. AI dapat memprediksi hasil panen, menentukan waktu tanam yang optimal, hingga memberikan rekomendasi untuk pengendalian hama dan penyakit. Melalui algoritma pembelajaran mesin, AI dapat mengenali pola yang muncul dari data cuaca, kelembaban tanah, dan kondisi tanaman, sehingga petani bisa mendapatkan prediksi yang lebih akurat untuk tindakan preventif.

Dalam pengendalian hama, AI dapat memproses data yang dikumpulkan dari sensor atau kamera untuk mendeteksi serangan OPT lebih dini. Sistem ini memungkinkan identifikasi otomatis dari spesies hama dan memberikan saran tentang pestisida atau teknik pengendalian yang tepat. Misalnya,

penelitian oleh Ali et al. (2021) menunjukkan bahwa integrasi AI dalam pengelolaan hama dapat mengurangi penggunaan pestisida hingga 40%, karena deteksi dini memungkinkan tindakan yang lebih spesifik dan efisien.

Big data dan AI juga membantu dalam optimasi irigasi dan penggunaan pupuk. Dengan analisis prediktif berbasis data yang terkumpul dari sensor IoT, petani dapat menentukan waktu dan jumlah irigasi atau pemupukan yang paling tepat, mengurangi pemborosan dan meningkatkan hasil. Penggunaan *big data* di bidang ini telah berhasil meningkatkan hasil pertanian secara signifikan, seperti yang dilaporkan dalam studi oleh Singh et al. (2020), yang menunjukkan peningkatan efisiensi hingga 20% pada tanaman gandum di India.

3.4 Tantangan dan Masa Depan IoT dalam Monitoring Tanaman

Penerapan teknologi Internet of Things (IoT) dalam sektor pertanian telah memberikan manfaat yang signifikan, terutama dalam monitoring tanaman yang memungkinkan peningkatan efisiensi dan produktivitas tanaman. Namun, seperti halnya inovasi teknologi lainnya, IoT dalam pertanian tidak terlepas dari tantangan yang harus dihadapi, baik dari segi teknis, ekonomi, maupun sosial. Di sisi lain, masa depan IoT menawarkan potensi besar melalui kemajuan teknologi seperti jaringan 5G dan ekosistem pertanian pintar yang semakin terintegrasi. Dalam bab ini, kita akan membahas tantangan implementasi IoT dalam pertanian, serta bagaimana perkembangan teknologi di masa depan dapat mengatasi tantangan tersebut dan memberikan manfaat ekonomi serta lingkungan.

1. Tantangan Implementasi IoT dalam Monitoring Tanaman

Meskipun IoT telah membawa perubahan signifikan dalam cara petani memantau kondisi tanaman dan lahan, implementasi teknologi ini masih menghadapi berbagai kendala yang perlu diatasi. Tantangan-tantangan utama yang muncul dalam

penggunaan IoT pada monitoring tanaman meliputi infrastruktur teknologi, biaya awal, dan keterbatasan pelatihan bagi petani.

a. Infrastruktur Teknologi

Salah satu tantangan terbesar dalam penerapan IoT adalah kebutuhan infrastruktur teknologi yang memadai, terutama di daerah pedesaan atau terpencil di mana sebagian besar aktivitas pertanian dilakukan. Penggunaan perangkat IoT membutuhkan jaringan internet yang stabil dan andal untuk mengirimkan data dari sensor yang dipasang di lapangan ke pusat pengolahan data. Namun, banyak wilayah pedesaan masih memiliki akses internet yang terbatas, sehingga menghambat implementasi IoT secara efektif. Studi oleh Ma et al. (2020) menunjukkan bahwa keterbatasan akses internet di pedesaan menjadi salah satu faktor utama yang memperlambat adopsi teknologi IoT di sektor pertanian, terutama di negara-negara berkembang.

b. Biaya Awal

Selain infrastruktur, biaya awal untuk pemasangan perangkat IoT juga menjadi penghalang bagi banyak petani. Teknologi seperti sensor, perangkat pemantauan, dan sistem otomasi memiliki harga yang relatif tinggi, terutama bagi petani kecil yang memiliki keterbatasan modal. Menurut penelitian yang dilakukan oleh Lee et al. (2019), biaya instalasi perangkat IoT pada lahan pertanian bisa mencapai ribuan dolar, tergantung pada luas lahan dan jenis teknologi yang digunakan. Meskipun dalam jangka panjang teknologi ini dapat menghemat biaya operasional dan meningkatkan hasil panen, hambatan finansial awal masih menjadi kendala yang signifikan bagi banyak petani.

c. Keterbatasan Pelatihan

Selain tantangan teknis dan finansial, kurangnya keterampilan teknis dan pelatihan bagi petani juga menjadi kendala dalam adopsi teknologi IoT. Penggunaan IoT memerlukan pengetahuan

husus tentang cara mengoperasikan perangkat, menganalisis data, dan mengambil keputusan berdasarkan informasi yang diperoleh dari sistem. Sayangnya, banyak petani, terutama yang berada di daerah pedesaan, masih belum memiliki akses terhadap pelatihan yang memadai untuk mengoptimalkan penggunaan teknologi ini. Penelitian oleh Silva et al. (2021) menyoroti bahwa edukasi dan pelatihan yang kurang menjadi penghambat signifikan dalam penerapan IoT dalam sektor pertanian, karena banyak petani merasa tidak percaya diri dalam menggunakan teknologi baru ini.

2. Masa Depan IoT dalam Pertanian

Meskipun menghadapi berbagai tantangan, masa depan IoT dalam pertanian sangat menjanjikan, terutama dengan adanya perkembangan teknologi yang akan memperluas kemampuan IoT dan meningkatkan efisiensi dalam monitoring tanaman. Beberapa perkembangan kunci yang akan mendorong kemajuan IoT dalam pertanian meliputi kemunculan jaringan 5G dan integrasi IoT dengan ekosistem pertanian pintar yang lebih luas.

IoT dalam monitoring tanaman menawarkan potensi besar untuk meningkatkan efisiensi, produktivitas, dan keberlanjutan pertanian. Meskipun tantangan seperti infrastruktur, biaya awal, dan keterbatasan pelatihan masih menjadi kendala, perkembangan teknologi seperti jaringan 5G dan integrasi IoT dengan ekosistem pertanian pintar akan membuka jalan bagi masa depan yang lebih cerah. Dengan manfaat ekonomi dan lingkungan yang signifikan, implementasi IoT akan terus berkembang sebagai salah satu pilar utama dalam revolusi pertanian digital.

a. Jaringan 5G

Kemajuan teknologi jaringan, terutama dengan hadirnya 5G, diharapkan dapat mengatasi beberapa tantangan infrastruktur yang dihadapi oleh teknologi IoT saat ini. Jaringan 5G menawarkan kecepatan data yang lebih tinggi, latensi yang lebih

rendah, dan kapasitas yang lebih besar, yang akan memungkinkan perangkat IoT untuk beroperasi lebih efisien dan andal, bahkan di daerah pedesaan yang memiliki infrastruktur jaringan yang terbatas. Menurut studi oleh Li et al. (2022), 5G akan meningkatkan kemampuan pemantauan tanaman secara real-time dan memungkinkan penggunaan teknologi yang lebih canggih seperti drone, robot, dan kecerdasan buatan untuk mengoptimalkan proses pertanian.

b. Ekosistem Pertanian Pintar

Di masa depan, IoT tidak hanya akan digunakan secara individual pada tingkat monitoring tanaman, tetapi akan terintegrasi ke dalam ekosistem pertanian pintar yang lebih luas. Ekosistem ini mencakup penggunaan teknologi seperti drone, kecerdasan buatan (AI), analitik *big data*, dan blockchain untuk menciptakan sistem pertanian yang sepenuhnya otomatis dan terhubung. Misalnya, penggunaan AI dalam menganalisis data dari sensor IoT akan membantu petani dalam membuat keputusan yang lebih cepat dan akurat, seperti waktu terbaik untuk memanen atau jumlah air dan pupuk yang optimal untuk digunakan. Selain itu, blockchain dapat digunakan untuk meningkatkan transparansi dan keamanan dalam rantai pasokan pertanian. Menurut Rizwan et al. (2023), integrasi IoT dengan teknologi ini akan meningkatkan efisiensi secara signifikan dan menciptakan pertanian yang lebih berkelanjutan di masa depan.

3. Manfaat Ekonomi dan Lingkungan dari IoT

Implementasi IoT dalam monitoring tanaman tidak hanya berdampak pada peningkatan produktivitas pertanian, tetapi juga memberikan manfaat ekonomi dan lingkungan yang signifikan. Dengan mengoptimalkan penggunaan sumber daya seperti air, pupuk, dan energi, IoT membantu petani mengurangi biaya operasional sekaligus meningkatkan hasil panen. Di sisi lain, optimasi ini juga berdampak positif terhadap lingkungan

dengan mengurangi limbah dan polusi yang dihasilkan oleh kegiatan pertanian.

a. Penghematan Sumber Daya

Dengan kemampuan pemantauan yang terus-menerus dan real-time, IoT memungkinkan petani untuk menggunakan sumber daya secara lebih efisien. Misalnya, sensor kelembaban tanah dapat mengatur irigasi secara otomatis, hanya memberikan air ketika tanaman benar-benar membutuhkannya. Hal ini tidak hanya mengurangi pemborosan air tetapi juga mengurangi biaya yang terkait dengan penggunaan air. Menurut penelitian oleh Fernández et al. (2019), penggunaan IoT dalam irigasi dapat mengurangi konsumsi air hingga 30%, sementara penggunaan pupuk dapat diminimalkan hingga 20% tanpa mengorbankan hasil panen.

b. Dampak Positif terhadap Lingkungan

Selain manfaat ekonomi, IoT juga berkontribusi pada pengurangan dampak negatif pertanian terhadap lingkungan. Dengan optimasi penggunaan pupuk dan air, teknologi IoT membantu mengurangi risiko pencemaran air dan tanah yang disebabkan oleh over-fertilization dan over-irrigation. Selain itu, dengan deteksi dini serangan hama atau penyakit, petani dapat mengurangi penggunaan pestisida secara signifikan. Studi oleh Wang et al. (2021) menunjukkan bahwa penggunaan IoT dalam pengelolaan hama dapat mengurangi penggunaan pestisida hingga 40%, yang pada akhirnya berdampak positif pada kesehatan ekosistem dan kualitas tanah.



Bab 4

PEMUPUKAN

Pertanian merupakan sektor yang sangat penting dalam perekonomian global, menyediakan pangan untuk populasi yang terus bertambah. Namun, sektor ini menghadapi tantangan besar seperti perubahan iklim, ketersediaan air yang terbatas, dan kebutuhan akan peningkatan produktivitas secara berkelanjutan. Salah satu cara untuk mengatasi tantangan ini adalah dengan menerapkan teknologi canggih yang dapat meningkatkan efisiensi dan efektivitas proses pertanian.

Revolusi industri keempat, yang dikenal sebagai Industri 4.0, memerlukan ekosistem digital kapiler yang mencakup setiap komponen pabrik mulai dari tingkat lapangan hingga tingkat pengawasan dst. IoT adalah teknologi pendukung utama untuk Industri 4.0, karena secara inheren dapat menyediakan kemampuan komunikasi ke perangkat apapun di pabrik yang diminati. Perangkat tersebut dapat menciptakan lingkungan yang meresap dan berjejaring, biasanya disebut sebagai Cyber-Physical System (CPS), yang dapat memberikan layanan tak terduga di sebagian besar vertikal yang dikenal selama ini.

Pertanian cerdas adalah bidang penerapan konsep Industri 4.0 yang menjanjikan. Faktanya, integrasi teknologi CPS, IoT, dan komputasi cloud/edge/fog dengan mesin pertanian dapat mendorong pembentukan sistem pertanian presisi, alat perencanaan irigasi otomatis, optimalisasi proses pertumbuhan

tanaman, pemantauan lahan pertanian, dan pengelolaan lahan pertanian. produksi, yang membawa keuntungan signifikan dibandingkan dengan pengelolaan tanaman klasik.

Seiring dengan perkembangan teknologi, penggunaan Internet of Things (IoT) dalam sistem pemupukan otomatis telah menjadi solusi yang efektif untuk mengatasi tantangan dalam pertanian modern. IoT memungkinkan integrasi berbagai perangkat dan sensor untuk memantau dan mengontrol kondisi lingkungan secara *real-time*. Dalam konteks pertanian, IoT dapat digunakan untuk memantau pemupukan secara otomatis. Penerapan IoT dalam pertanian dapat meningkatkan efisiensi operasional dan mengurangi biaya. Sistem pemupukan berbasis IoT dirancang untuk menyediakan nutrisi secara optimal kepada tanaman. Dengan menggunakan sensor nutrisi, sistem ini dapat menentukan waktu pemupukan dan jumlah pupuk yang diperlukan. Pengembangan sistem IoT untuk pemupukan tanaman secara otomatis dapat memberikan banyak manfaat, seperti penghematan pupuk dan peningkatan hasil panen. Penelitian menunjukkan bahwa penggunaan sistem pemupukan berbasis IoT dapat meningkatkan hasil panen dan mengurangi penggunaan pupuk secara signifikan. Hal ini menunjukkan potensi besar dari sistem IoT dalam meningkatkan efisiensi dan keberlanjutan pertanian.

Proses irigasi menyediakan air yang cukup untuk pertumbuhan tanaman dan menyeimbangkan siklus air bagian dalam. Proses pemupukan menambah perbandingan NPK dalam tanah yang berbeda-beda, yaitu Nitrogen (N), Fosfor (P), Kalium (K). Ini menyesuaikan nilai PH lingkungan tanah dan mendorong pertumbuhan tanaman secara berbeda, seperti N untuk daun dan tumbuh-tumbuhan, P untuk akar, K untuk bunga, buah dan sel tumbuhan. Kedua praktik pertanian tersebut dapat meningkatkan rasa, ukuran, kualitas dan kuantitas hasil panen. Penelitian sebelumnya menemukan bahwa Nitrogen, Fosfor, Kalium menyerap cahaya pada panjang

gelombang yang berbeda-beda dan nilai N, P, K dapat diukur dari serapan cahaya dari masing-masing unsur hara. Jadi, tiga LED dalam pita panjang gelombang berbeda yang sesuai dengan nutrisi diatur menjadi sumber cahaya. Fotodioda berfungsi sebagai sensor untuk mendeteksi sisa cahaya setelah melewati sampel tanah. Oleh karena itu, kadar NPK dalam tanah dapat dihitung dengan cara serapan. Tabel 4.1. mencantumkan karakteristik optik penyerapan tanah NPK dan karakteristik yang sesuai dari LED yang dipilih.

Nutrient	Absorption wavelength(nm)	LED	LED wavelength(nm)
Nitrogen (N)	438-490	Blue LED	470
Phosphorus (P)	528-579	Green LED	568
Potassium (K)	605-650	Red LED	624
Photodiode testing range: 400 nm to 1100 nm			

Table I: Optical characteristics of NPK soils and led

proyek ini menghubungkan Grove Moisture Sensor, LED & fotodioda khusus dengan perangkat keras Arduino. Ini akan mengembangkan program Internet of Thing untuk mengirimkan pengukuran ke gateway pada tingkat yang tepat, dan algoritma akan digunakan untuk mengklasifikasikan data ke dalam tingkat yang berbeda, menunjukkan nilai dalam gambar, mengubah nilai yang diterima menjadi satuan standar, memberikan rasio antara NPK yang diserap oleh tanaman, hitung jumlah air dan nutrisi yang tepat untuk mengurangi limbah.

Desain Prototipe

Prototipe ini didasarkan pada teknologi IoT yang membantu pemupukan dan irigasi pertanian. Ini mengukur kelembaban dan nutrisi dari tanah tanaman, mengunggah dan menyimpan data secara online, menampilkannya di dasbor dan mengirim pemberitahuan melalui periferal atau email.

Diagram Blok & Skema Perangkat Keras

Prototipe ini merupakan gabungan antara perangkat keras dan perangkat lunak. Perangkat kerasnya terdiri dari Sumber Listrik, Sensor Kelembapan, Sensor NPK, Perangkat Display (dalam hal ini menggunakan modul tampilan LED) dan mikrokontroler Arduino Uno. Setelah menerima nilai dari sensor, pertama-tama Arduino terhubung ke gateway The Things Network melalui mode OTAA dan akses ke konsol online TTN. Kemudian data dikirim dan disimpan di platform kedua Ubidots melalui HTTP. Komunikasi antara The Things Network dan Ubidots bersifat dua arah, sehingga pesan downlink akan dikirim kembali melalui TTN untuk mengontrol perangkat keras jika nilai data memicu peristiwa di Ubidots. Selain itu, peristiwa online lainnya seperti pemberitahuan email atau teks dapat dipicu oleh data yang memenuhi syarat pada platform yang sama. Gambar 4.1 menunjukkan diagram blok prototipe ini dan Gambar 4.2 menunjukkan skema perangkat keras

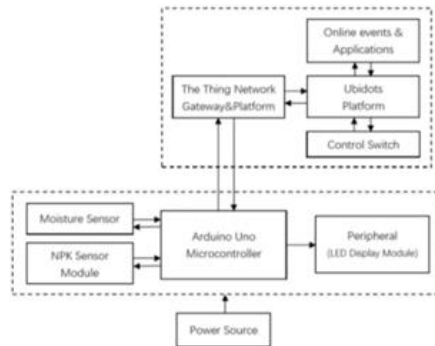


Figure 1: Block Diagram

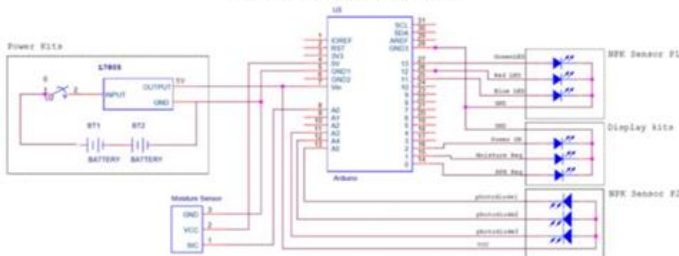


Figure 2: Hardware Schematic

Diagram alir sistem untuk sistem yang dikembangkan

Gambar 4.3 menunjukkan diagram alur sistem untuk sistem perangkat lunak prototipe ini. Untuk memulainya, Arduino diinisialisasi dan variabel yang dikontrol oleh saklar online diperiksa tanpa henti, yang mengirimkan perintah downlink untuk memicu pengukuran. Kemudian nilai kadar air dan NPK yang terbaca dari sensor akan dikirimkan ke TTN dan Platform Ubidots. Setelah melakukan pemrosesan lebih lanjut, data akan ditampilkan di dashboard feedback pengguna. Jika data memicu suatu peristiwa, downlink relatif akan dikirim kembali ke Arduino untuk mengontrol perangkat tampilan (dalam hal ini LED), dan pemberitahuan email juga akan dikirim pada saat yang sama

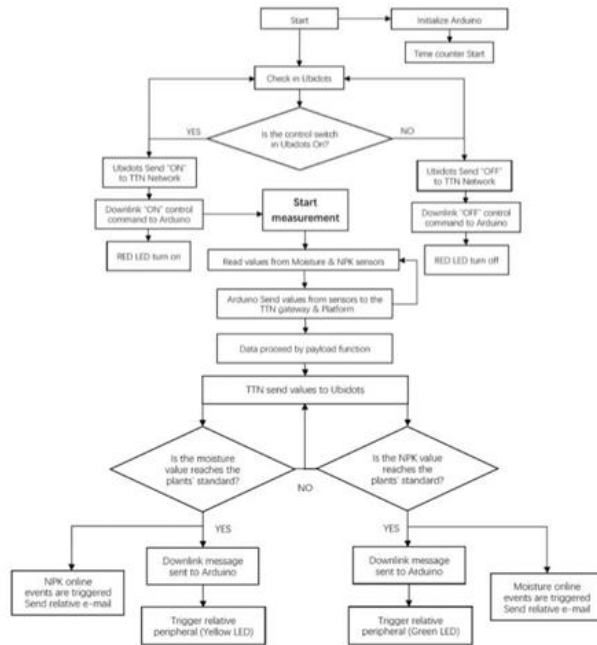


Figure 3: System flowchart for the developed system

Demonstrasi Prototipe

Gambar 4 menunjukkan prototipe perangkat keras, termasuk unit catu daya dengan kit display, Sensor Kelembaban, sensor NPK (P1+P2) dan mikrokontroler Arduino Uno. Gambar 4.5 menunjukkan bagaimana aplikasi IoT ini bekerja dengan

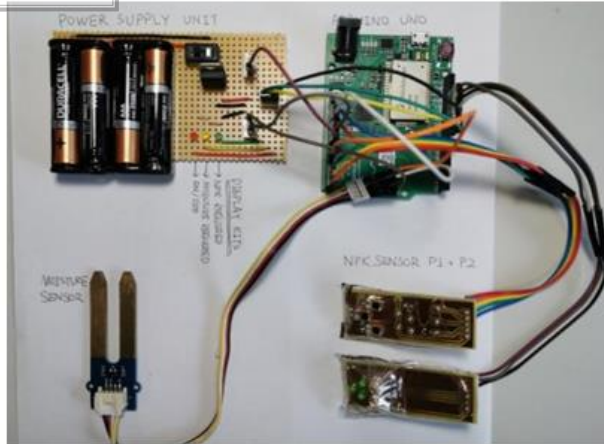


Figure 4: Prototype of hardware



Figure 5: Demonstration

Ketika perangkat keras prototipe dan perangkat lunak terprogram bekerja bersama pada platform TTN dan Ubidots, fungsi-fungsi berikut dapat dicapai:

- Kontrol aplikasi melalui saklar digital secara online menggunakan smartphone atau laptop

- Ukur nilai Kelembaban dan NPK dari tanah tanaman dan simpan datanya secara online

- Bagilah nilai NPK menjadi lima level berbeda di dashboard Ubidots
- Tampilkan nilai Kelembaban dan NPK secara real-time di dasbor Ubidots dan buat diagramnya
- Kirim email ketika nilai kelembaban dan NPK berada di bawah tingkat tertentu untuk memberitahu pengguna bahwa penyiraman atau pemupukan diperlukan oleh tanaman. Volume air yang dibutuhkan dan jenis pupuk yang tepat juga diharapkan ditampilkan di email ini.
- Memicu kejadian relatif di Arduino ketika nilai Moisture dan NPK berada di bawah level tertentu. Hal ini ditunjukkan dengan meringankan tampilan LED yang berbeda dalam kasus ini. (LED Merah menunjukkan apakah prototipe ON/OFF, LED Kuning menunjukkan tanaman membutuhkan kelembapan, LED Hijau menunjukkan tanaman membutuhkan pupuk)
- Semua nilai, diagram dan saklar yang ditampilkan di dashboard Ubidots dapat diakses oleh APP resmi di perangkat smartphone atau Tablet.

Solarfertigasi

Sistem pemupukan yang sepenuhnya otomatis (yaitu *Solarfertigation*), bersama dengan penjelasan menyeluruh tentang arsitektur, komponen, dan kasus penggunaan nyata di lapangan. Fertigasi tenaga surya dirancang untuk mengintegrasikan proses pengambilan keputusan dan otomatisasi pemupukan dan irigasi. Sistem ini dirancang untuk swasembada energi berkat pembangkit listrik Fotovoltaik (PV) yang tertanam. Unit fertigasi surya dirancang tidak hanya untuk menyediakan fungsionalitas

gateway jaringan IoT, namun untuk menggabungkan semua komponen perangkat keras dan perangkat lunak yang diperlukan untuk menjalankan aktuasi listrik, layanan perangkat lunak, dan koneksi jaringan yang tepat. Dengan mengacu pada jaringan IoT, teknologi telekomunikasi jarak pendek standar terbuka untuk layanan IoT bernilai tambah telah diterapkan. Secara khusus, jaringan ini didasarkan pada arsitektur protokol berdaya rendah, yang juga mampu mendukung aplikasi penting yang memerlukan penyediaan layanan deterministik (atau hampir deterministik). Aktivitas ini didasarkan pada tumpukan protokol 802.15.4. Versi prototipe Solarfertigation juga telah diimplementasikan dan diuji di lapangan: pengaturan logis dan fisiknya akan disajikan bersama dengan gambaran komprehensif dari arsitektur sistem diantaranya bagian II memberikan penjelasan rinci tentang arsitektur sistem. Bagian II mengusulkan karakterisasi menyeluruh komponen perangkat keras dan perangkat lunak, dengan fokus pada koneksi logis dan kasus penggunaan nyata.

4.1. Gambaran Umum Sistem

A. Mesin pemupukan

Sistem fertigasi tenaga surya merupakan kombinasi mesin pupuk, pembangkit listrik PV, serta perangkat dan perangkat lunak otomasi. Subsistem pemupukan dan irigasi terdiri dari komponen-komponen yang digunakan untuk mengelola larutan pupuk dan bagian-bagian hidrolis yang terdiri dari pipa, pompa, katup solenoid, manifold, keran dan aksesoris lainnya, untuk mendistribusikan larutan di lapangan. Sistem PV terdiri dari beberapa panel yang ditempatkan pada struktur pendukung yang sesuai, baterai, dan inverter. Sistem ini dapat menggunakan pupuk padat dan cair. Mereka diberi dosis masing-masing melalui koklea dan pompa volumetrik ke dalam tangki, tempat larutan disiapkan. Mesin tersebut mampu mengubah jenis dan jumlah pupuk dalam larutan. Untuk setiap

siklus irigasi, sistem dapat mengelola beberapa tanaman secara bersamaan meskipun dengan fase pertumbuhan berbeda dalam siklus tanaman yang sama. Hal ini juga bertujuan untuk mendeteksi parameter lingkungan utama yang menentukan jumlah optimal air dan pupuk yang akan digunakan. Dengan demikian, hal ini memberikan kontribusi yang signifikan terhadap peningkatan produktivitas lahan dan penghematan listrik, air dan pupuk.

B. Arsitektur IoT

Arsitektur komunikasi yang dipilih (ditunjukkan pada Gambar 4.1) didasarkan pada jaringan IoT multihop statis yang mendeteksi lingkungan dan melaporkan data yang dikumpulkan ke cloud. Jaringan IoT terdiri dari beberapa node dan gateway. Perangkat IoT mengukur kelembapan tanah sedangkan gateway mengumpulkan pembacaan perangkat dan mengukur (dengan sendirinya) suhu dan kelembapan lingkungan. Gateway adalah unit kendali pusat sistem, berkomunikasi dengan platform cloud untuk menerima perintah, menyimpan data, dan berinteraksi dengan Antarmuka Pengguna (UI). Komputer papan tunggal Raspberry Pi telah dipilih untuk mengintegrasikan fungsi gateway dan layanan perangkat lunak. Spesifikasi perangkat keras platform ini akan diberikan di bagian berikut. Amazon Web Services (AWS) adalah penyedia platform cloud untuk sistem. Teknologi ini memungkinkan cluster komputer virtual tersedia di Internet. Dalam kasus penggunaan yang diusulkan, AWS menyediakan middleware berorientasi pesan ActiveMQ untuk layanan broker Message Queue Telemetry Transport (MQTT). Desain unit pusat sistem dan perangkat keras memperkirakan bahwa ini tidak hanya bertindak sebagai gerbang jaringan IoT tetapi mengintegrasikan semua komponen perangkat keras dan perangkat lunak yang mampu menjalankan aktuasi listrik, layanan mikro perangkat lunak untuk manajemen acara, koneksi cloud, dan integrasi database.

Institute of Electrical and Electronic Engineers (IEEE) 802.15.4, sebuah standar untuk komunikasi nirkabel yang dikeluarkan oleh IEEE (Institute for Electrical and Electronics Engineers). Tumpukan protokol ini memberikan solusi kecepatan data rendah dengan masa pakai baterai beberapa bulan hingga beberapa tahun dan kompleksitas yang sangat rendah, beroperasi pada pita frekuensi internasional tanpa izin. Standar ini memungkinkan terjadinya komunikasi dalam suatu titik konfigurasi to-point atau point-to-multipoint. Aplikasi tipikal melibatkan koordinator pusat dengan beberapa remote node yang menghubungkan kembali ke host pusat ini. IEEE 802.15.4. Physical Layer (PHY) mengatur transmisi sinyal melalui media fisik. Modulasi Offset-Quadrature Phase-Shift Keying (O-QPSK) dengan kecepatan data fisik 2 Mbps digunakan dan bekerja pada pita Industri, Ilmiah, dan Medis (ISM) 2,4 GHz, dalam rentang antara 2,405 dan 2,48 GHz . Pada lapisan Medium Access Control (MAC), IEEE 802.15.4 menampilkan Time Slotted Channel Hopping (TSCH), yang dicirikan oleh dua kekhasan: (i) pembagian waktu ke dalam slot, dan (ii) frekuensi (atau saluran) melompat.

Pada Lapisan Adaptasi, dua solusi diusulkan: (i) Sublapisan Operasi 6tisch (6top), juga dikenal sebagai IPv6 melalui jaringan node dengan sumber daya terbatas (6lo), dan (ii) IPv6 melalui Jaringan Area Pribadi Nirkabel berdaya rendah (6LoWPAN). 6top menyediakan status tautan, konfigurasi TSCH, prosedur kontrol, dan kebijakan penjadwalan. 6LoWPAN adalah nama kelompok kerja yang bertujuan untuk mengadaptasi IPv6 pada jaringan berbasis IEEE 802.15.4. Pada lapisan jaringan, IPv6 melalui mode TSCH dari tumpukan protokol IEEE 802.15.4e (6TiSCH) memiliki fitur Routing Protocol for Low-power and Lossy network (RPL) sebagai protokol routing untuk jaringan 6LoWPAN, mendukung multipoint-to lalu lintas titik, titik ke multitik, atau titik ke titik. MQTT digunakan sebagai protokol lapisan aplikasi. Protokol

terbitkan-berlangganan ini cocok untuk interkoneksi perangkat dengan bandwidth rendah dan terbatas.

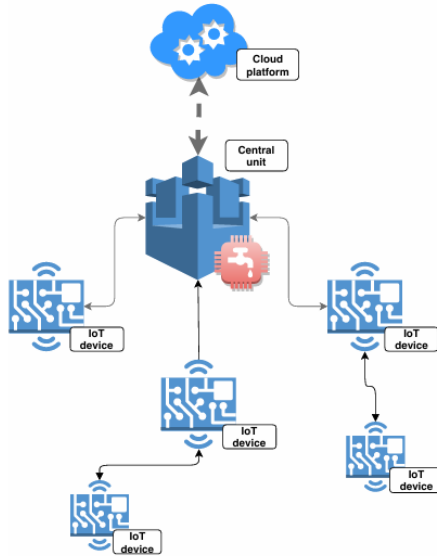


Fig. 1: IoT architecture

A. Perangkat Keras

Bagian ini memberikan gambaran umum tentang perangkat keras yang diperlukan untuk perangkat IoT dan unit pusat. Raspberry Pi 3 Model B+¹ telah dipilih sebagai unit pusat. Komputer papan tunggal kecil ini (Gambar 2(a)) adalah produk terbaru dalam rangkaian Raspberry Pi 3, dengan prosesor quad core 64-bit yang berjalan pada 1,4GHz, dual-band 2,4GHz dan LAN nirkabel 5GHz, Bluetooth 4.2/ Bluetooth Hemat Energi (BLE), Ethernet lebih cepat, dan LAN nirkabel dual-band. Raspberry Pi menyediakan fitur canggih untuk antarmuka CPS: pin General Purpose Input/Output (GPIO) 40-pin. Pin GPIO mana pun dapat ditetapkan (dalam perangkat lunak) sebagai pin input atau output dan digunakan untuk berbagai tujuan. Pin GPIO dapat digunakan dengan berbagai fungsi alternatif, ada yang tersedia di semua pin, ada pula yang tersedia di pin tertentu. Untuk memberikan yang sederhana stasiun cuaca

telah terintegrasi sensor kelembaban suhu DHT22².

Gateway juga berinteraksi dengan dua komponen eksternal:

- Konverter Analog-ke-digital (ADC);
- Papan relai

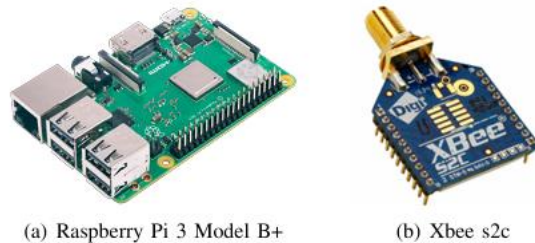


Fig. 2: Hardware equipment

Yang pertama adalah Adafruit MCP3008³ digunakan untuk mengambil data seperti status baterai dan ketinggian air ke dalam tangki utama, sehingga memberikan informasi yang berguna untuk mengelola peristiwa penting seperti tingkat baterai rendah dan kekurangan air di dalam tangki. Papan relai adalah papan antarmuka relai 8 saluran 5V tingkat rendah⁴ terhubung langsung ke antarmuka GPIO raspberry pi, dan menghidupkan dan mematikan keluaran spesifik (pompa air, motor daur ulang, dan pencampur pupuk) yang memiliki catu daya terpisah.

Komponen yang terlibat untuk setiap node sensor IoT adalah:

- Modul RF XBee-PRO S2C
- Sensor Kelembaban Tanah kapasitif Robot DF
- Baterai Nikel-Metal Hidrida (NiMH).
- panel surya

Selain catu daya dan sirkuit isi ulang, modul Frekuensi Radio (RF) yang disediakan dalam pengaturan ini adalah Digi International XBee®Modul RF S2C 802.15.4 (Gambar 42(b)). Ini dapat memberikan komunikasi yang cepat dan kuat dalam konfigurasi point-to-point, peer-to-peer, dan multipoint/star

B. Perangkat Lunak

Dasar pengembangan perangkat lunak pada gaya arsitektur layanan mikro dan bukan struktur monolitik. Aplikasi monolitik terstruktur dengan satu basis kode/repositori besar yang menawarkan puluhan atau ratusan layanan menggunakan antarmuka berbeda seperti halaman HTML, layanan Web atau/dan layanan REST. Seperti dapat dilihat pada Gambar 3, arsitektur layanan mikro menyusun aplikasi sebagai kumpulan layanan yang digabungkan secara longgar, memungkinkan pengiriman/penerapan aplikasi besar dan kompleks secara berkelanjutan.

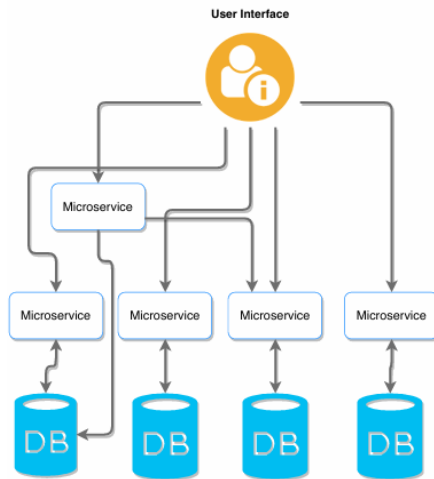


Fig. 3: Microservices and monolithic architectures

Skrip yang berjalan di backend sistem penulisan CPS penggerak Raspberry pi dan dikembangkan menggunakan Node.js, lingkungan waktu proses JavaScript lintas platform sumber terbuka yang mengeksekusi kode JavaScript di sisi

server. Frontend diterapkan di bawah Platform Heroku sebagai penyedia layanan (PaaS) dan menggunakan MongoDB sebagai penyimpanan data, database berorientasi dokumen dengan JSON sebagai format dokumen data. Penyimpanan dokumen ini, merupakan program komputer yang dirancang untuk menyimpan, mengambil dan mengelola informasi berorientasi dokumen, yang juga dikenal sebagai data semi terstruktur.

Lingkungan sisi server dari layanan UI dikembangkan menggunakan Express dan NodeJS. Bahasa pemrograman yang diadopsi untuk layanan ini adalah TypeScript, bahasa pemrograman sumber terbuka yang didefinisikan sebagai superset sintaksis JavaScript yang ketat (Gambar 4).

C. Koneksi

Rilisan saat ini fertigasi surya menyediakan fitur-fitur berikut:

- pengumpulan, penyimpanan dan visualisasi data lapangan
- aktivasi mesin irigasi dan pemupukan jarak jauh secara real-time
- penjadwalan acara berdasarkan tanggal
- stasiun cuaca

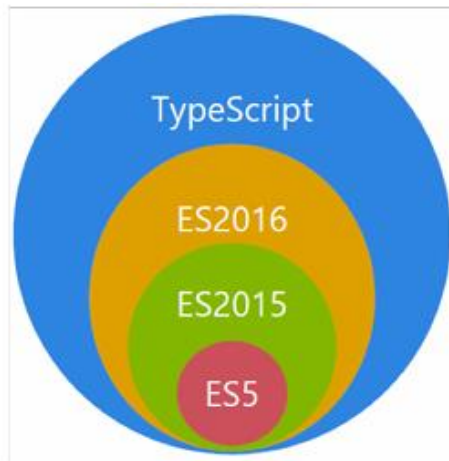


Fig. 4: Javascript layers

Setiap konten dikirimkan ke UI (Gambar 6) menggunakan protokol MQTT [22] dan broker pesan ActiveMQ yang diterapkan di AWS sebagai Software as a service (SaaS) (Gambar 5).

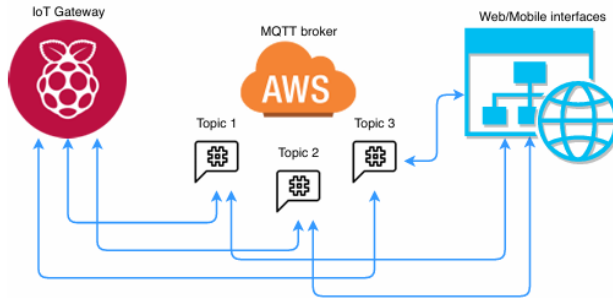


Fig. 5: MQTT connections

MQTT adalah protokol perpesanan terbitkan/berlangganan, sangat sederhana dan ringan, dirancang untuk perangkat terbatas dan bandwidth rendah, latensi tinggi, atau jaringan tidak dapat diandalkan. Prinsip desainnya adalah meminimalkan bandwidth jaringan dan persyaratan sumber daya perangkat sambil juga berupaya memastikan keandalan dan jaminan pengiriman pada tingkat tertentu. Apache ActiveMQ adalah broker pesan sumber terbuka yang ditulis dalam Java bersama dengan klien Java Message Service (JMS) lengkap. Ini menyediakan "Fitur Perusahaan" yang dalam hal ini berarti membina komunikasi dari lebih dari satu klien atau server. Klien yang didukung termasuk Java melalui JMS 1.1 serta beberapa klien "lintas bahasa" lainnya. MQTT dengan broker autentikasi klien TLS di-host di AWS cloud, layanan broker terbitkan/berlangganan yang memungkinkan pengiriman dan penerimaan pesan ke dan dari AWS IoT.

Melalui struktur pesan MQTT dimungkinkan untuk menangani beberapa aspek manajemen sistem:

- pengumpulan dan penyimpanan data ke dalam MongoDB
- database lokal untuk acara terjadwal

- perintah menghidupkan dan mematikan secara real-time

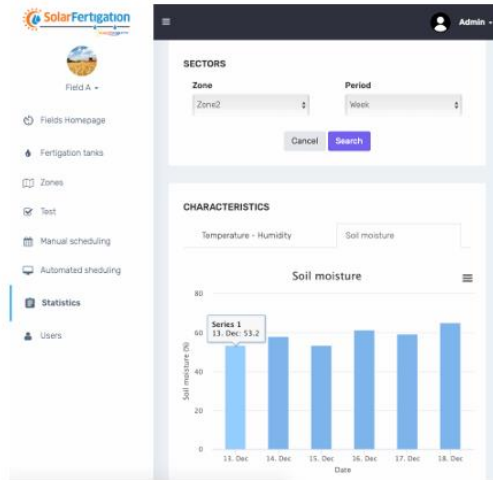


Fig. 6: Web interface for soil moisture section

Data yang disediakan oleh sensor dikumpulkan melalui koordinator IoT, diproses oleh gateway IoT, dikirim ke broker cloud MQTT dan dipublikasikan ke MongoDB. Dengan data ini, web sisi depan dan antarmuka grafis seluler dibangun. Di sisi lain, gateway lokal mampu mendengarkan topik yang tepat untuk mengumpulkan pesan yang berisi informasi tentang acara terjadwal, sehingga menghasilkan entri database lokal SQLite. Skrip terpisah digunakan untuk terus membaca perubahan database lokal dan mendorong peristiwa berbasis tanggal. Juga perintah aktuasi jarak jauh untuk kontrol perangkat irigasi dan pemupukan secara real-time dikirim melalui pesan MQTT.

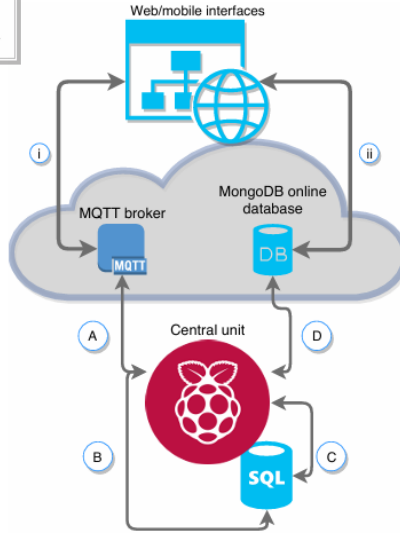


Fig. 7: System architecture

Sistem mengelola fungsinya dengan koneksi logis yang ditunjukkan pada Gambar 7. (A) Broker Mqtt dan unit pusat bertukar pesan untuk pengujian aktivasi katup listrik dan penjadwalan acara secara real-time. Muatan pesan MQTT berisi data JSON yang menyediakan bidang informasi yang tepat. Untuk mencegah perilaku tak terduga dalam kasus kegagalan koneksi internet, (B) koneksi mewakili penyimpanan lokal kejadian masa depan ke dalam database SQLite lokal. (C) Unit pusat terus memantau perubahan entri acara. Data yang dikumpulkan dari sensor lapangan disimpan ke dalam MongoDB Cloud Database (D). Antarmuka web dan seluler membuat pesan MQTT (i) dan membaca data untuk ditampilkan ke dalam grafik dan antarmuka dari database online MongoDB (ii).

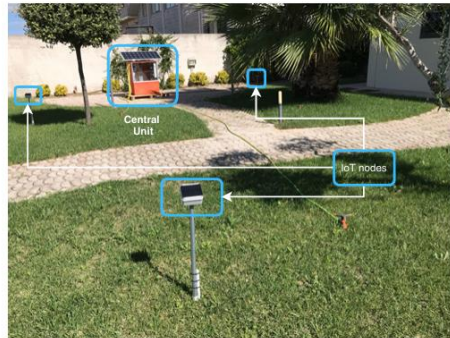


Fig. 8: Experimental setup with three IoT nodes

Gambar 8 menunjukkan pengaturan eksperimental yang dipasang di taman kecil. Di sini unit pusat dan tiga node sensor jarak jauh terlihat. Dalam pengaturan ini node sensor ditempatkan pada jarak sekitar 5 meter satu sama lain karena keterbatasan spasial.

Seperti ditunjukkan pada Gambar 9(a) unit pusat terhubung ke sistem irigasi melalui tiga keluaran untuk tiga zona lahan berbeda serta sambungan untuk pasokan air. Panel PV terus mengisi dua baterai 12V yang memasok daya ke sistem irigasi dan komponen elektronik.



(a) Solar fertigation central unit



(b) Xbee IoT coordinator

Fig. 9: Central unit and IoT Network coordinator

Aktivasi waktu nyata

Untuk tujuan pengujian waktu nyata, sistem membuat pesan MQTT yang berisi informasi tentang perangkat tertentu yang akan diaktifkan. Gerbang yang mendengarkan topik yang tepat mengubah informasi ini menjadi aktuasi elektromekanis.

Penjadwalan dan manajemen acara

Pesan acara terjadwal memberikan informasi tentang jumlah dan jenis pupuk, durasi irigasi, dan rincian tanggal/waktu. Penghapusan acara, modifikasi dan pencatatan acara yang selesai/dibatalkan juga dikelola melalui pesan MQTT. Dengan informasi ini, sistem elektromekanis diatur untuk terlebih dahulu membuat campuran pupuk yang dibutuhkan dan kemudian membuat larutan air yang mengairi area yang diinginkan.

Penerbitan data tanah dan lingkungan

Data yang disediakan oleh sensor dikumpulkan oleh gateway lokal dan dipublikasikan secara online di Mon goDB sebagai objek JSON. UI menampilkan grafik dan informasi dari MongoDB. Pada Tabel II beberapa perbedaan persyaratan *use case* dicantumkan.

Tabel II. Persyaratan Kasus Penggunaan

Kasus penggunaan	QoS MQTT	Basis data
Aktivasi waktu nyata	2	TIDAK
Penjadwalan dan manajemen acara	1	SQLite lokal
Pengumpulan data lingkungan	0	MongoDB

Kualitas Layanan (QoS) mendefinisikan jaminan pengiriman pesan tertentu. Ada tiga level QoS di MQTT: paling banyak satu kali (0), paling sedikit satu kali (1), tepat satu kali (2). Memang benar, untuk aplikasi yang tidak kritis dan pengumpulan data lingkungan yang berlebihan, tidak perlu memastikan tingkat layanan tertinggi di MQTT. Di satu sisi, membangun database lokal untuk penyimpanan kejadian, memastikan pelaksanaan tindakan irigasi dan pemupukan terjadwal tanpa memerlukan koneksi internet. Di sisi lain, database NoSQL lebih terukur dan memberikan performa lebih tinggi, serta model datanya sesuai dengan kasus penggunaan pengumpulan data di lingkungan yang diusulkan.

Sistem fertigasi tenaga surya masih dalam pengembangan ini akan mengarah pada peningkatan sistem dengan referensi khusus pada jumlah node IoT, sumber data berbeda yang berinteraksi, integrasi pemberitahuan cuaca, algoritma berbasis model agronomi, dan integrasi pembelajaran mesin. Arsitektur saat ini telah dirancang untuk mendukung sejumlah besar node IoT. Memang benar, IEEE 802.15.4 mendukung lalu lintas heterogen berkat perutean multi-hop dan pola lalu lintas yang berbeda di antara node IoT. Interaksi antara data kelembaban tanah dan cuaca akan dievaluasi dari sudut pandang agronomi untuk meningkatkan algoritma pertanian dan kualitas tanaman. Meskipun stasiun cuaca sudah beroperasi, sistem notifikasi untuk pengelolaan kejadian berdasarkan ramalan cuaca sedang diintegrasikan. Kegiatan irigasi dan pemupukan akan dipengaruhi oleh parameter lingkungan setelah agronomi model untuk berbagai tanaman dan spesies dalam hal nutrisi dan kebutuhan air, serta berbagai tahapan fenologi.

Integrasi model agronomi untuk berbagai tanaman dan pembuatan database yang mencakup informasi agronomi untuk berbagai spesies (nutrisi, kebutuhan air, dan tahapan fenologi) sedang dikembangkan. Algoritma untuk pemupukan dan pengelolaan irigasi mengikuti model yang akan diterapkan.

Seiring dengan meningkatnya pengumpulan data, integrasi pembelajaran mesin akan dipertimbangkan yang bertujuan untuk otomatisasi penuh proses pertanian. Dilakukan pengujian eksperimental ekstensif untuk memvalidasi node sensor dan konsumsi energi mesin serta perbandingan kebutuhan air dan pupuk dengan mesin standar.

Integrasi gambar kontainer akan diadopsi untuk meningkatkan portabilitas dan kemampuan berbagi perangkat lunak. Mengenai teknologi komunikasi, beberapa eksperimen dan evaluasi kinerja akan dilakukan dengan menggunakan Low Power Wide Area Network (LPWAN). Secara khusus, evaluasi kinerja Narrowband IoT (NB-IoT) sudah berlangsung dan akan dilakukan baik di laboratorium maupun di lokasi pengujian tertentu. Kemudian akan memberikan visi penerapan teknologi 5G-IoT ke dalam lingkungan Pertanian Cerdas (robotika dan aplikasi bandwidth tinggi) dengan mempertimbangkan evaluasi kinerja melalui uji simulasi eksperimental. Kemudian akan menyelidiki integrasi teknologi 5G dalam sistem yang dikembangkan industri.



Bab 5

Manajemen Peternakan Terintegrasi IoT

Manajemen peternakan di era modern menghadapi berbagai tantangan yang semakin rumit. Dengan kemajuan teknologi dan meningkatnya permintaan konsumen terhadap produk berkualitas tinggi, industri peternakan diharapkan dapat meningkatkan produktivitas dan efisiensi di semua aspek operasional. Namun, masalah dalam pengelolaan sumber daya, pemantauan kesehatan hewan yang kurang optimal, dan kesulitan dalam mengatur proses produksi seringkali menjadi hambatan utama bagi peternak. Dalam hal ini, teknologi, terutama dengan munculnya konsep *Internet of Things* (IoT), diharapkan dapat memberikan solusi yang signifikan dan semakin diterima di berbagai sektor industri.

Dalam peternakan tradisional, peternak mengandalkan pengalaman dan keterampilan manual mereka untuk mengelola berbagai aspek operasional, seperti pemberian pakan, penjadwalan vaksinasi, pemantauan kesehatan, dan penanganan masalah yang muncul pada hewan ternak. Meskipun metode ini telah digunakan selama bertahun-tahun, ada sejumlah keterbatasan yang sulit diatasi tanpa bantuan teknologi. Contohnya, dalam pemantauan kesehatan hewan, banyak penyakit atau masalah kesehatan baru terdeteksi setelah hewan menunjukkan gejala yang signifikan, yang sering kali sudah

terlambat untuk ditangani secara efektif. Selain itu, pengelolaan lingkungan peternakan, seperti pengaturan suhu, kelembaban, dan kebersihan kandang, memerlukan perhatian yang konsisten, yang kadang bisa terlewatkan, terutama di peternakan berskala besar.

Dalam menghadapi tantangan tersebut, *Internet of Things* (IoT) muncul sebagai inovasi yang dapat secara signifikan mengubah pengelolaan peternakan. IoT adalah jaringan perangkat fisik yang terhubung melalui internet dan dapat mengumpulkan serta bertukar data tanpa memerlukan interaksi langsung antara manusia. Meskipun awalnya lebih banyak digunakan di sektor seperti manufaktur, transportasi, dan perumahan, konsep ini kini mulai diterapkan secara luas dalam pertanian dan peternakan. Dengan perangkat IoT, berbagai elemen di peternakan dapat dipantau dan dikendalikan secara otomatis, memungkinkan peternak untuk mengambil keputusan berdasarkan data yang akurat dan *real-time*.

Salah satu tantangan utama dalam manajemen peternakan adalah menjaga kesehatan dan produktivitas hewan ternak. IoT memungkinkan pemantauan kesehatan hewan secara terus-menerus dengan menggunakan sensor yang dipasang pada tubuh hewan. Sensor-sensor ini dapat mengukur berbagai parameter penting, seperti suhu tubuh, detak jantung, tingkat aktivitas, dan pola makan hewan. Data yang dikumpulkan akan dikirim ke sistem komputer yang menganalisis informasi tersebut dan memberikan peringatan dini jika ada indikasi potensi masalah kesehatan. Misalnya, perubahan tiba-tiba dalam suhu tubuh atau penurunan aktivitas dapat menjadi tanda awal bahwa hewan mengalami masalah kesehatan, seperti infeksi atau penyakit. Dengan peringatan dini ini, peternak dapat segera mengambil langkah yang diperlukan, seperti memanggil dokter hewan atau memisahkan hewan yang sakit dari kelompoknya untuk mencegah penyebaran penyakit.

Selain pemantauan kesehatan, IoT juga memungkinkan optimalisasi manajemen pakan, yang merupakan salah satu komponen utama biaya operasional peternakan. Dalam praktik peternakan tradisional, pemberian pakan sering dilakukan secara manual berdasarkan perkiraan atau jadwal yang telah ditetapkan. Namun, pendekatan ini tidak selalu efisien, karena kebutuhan pakan setiap hewan bisa berbeda tergantung pada kesehatan, aktivitas, dan fase pertumbuhannya. Dengan teknologi IoT, sistem pemberian pakan dapat diotomatisasi dan disesuaikan berdasarkan data *real-time* dari sensor yang memantau hewan dan lingkungan mereka. Misalnya, sensor di kandang dapat melacak jumlah pakan yang dikonsumsi setiap hari dan mengukur tingkat aktivitas hewan. Berdasarkan data ini, sistem otomatis bisa menyesuaikan jumlah pakan untuk setiap hewan, sehingga menghindari pemborosan dan memastikan nutrisi yang tepat. Ini tidak hanya mengurangi biaya operasional, tetapi juga meningkatkan kesehatan dan produktivitas hewan.

Selain pakan dan kesehatan hewan, IoT juga berperan dalam pengelolaan lingkungan peternakan. Kondisi seperti suhu, kelembaban, dan kualitas udara sangat mempengaruhi kesehatan dan produktivitas hewan. Misalnya, suhu yang ekstrim dapat menyebabkan stres pada hewan, berdampak negatif pada pertumbuhan dan produksi. Dengan sensor IoT di kandang, pemilik dapat memantau kondisi lingkungan secara *real-time* dan mengambil langkah yang diperlukan untuk menjaga kondisi optimal. Sebagai contoh, jika suhu terlalu tinggi, sistem ventilasi otomatis bisa diaktifkan, atau jika kelembaban terlalu rendah, sistem penyemprotan air bisa digunakan untuk meningkatkannya. Dengan cara ini, lingkungan kandang dapat dipertahankan dalam kondisi ideal untuk kesejahteraan hewan.

Di luar aspek teknis, IoT juga berpotensi meningkatkan transparansi dan akuntabilitas dalam rantai pasokan peternakan. Di era modern, konsumen semakin menginginkan informasi

lebih detail tentang asal produk yang mereka konsumsi, terutama produk hewani seperti daging, susu, dan telur. Dengan teknologi IoT, setiap tahap dalam proses produksi peternakan bisa dipantau dan didokumentasikan, mulai dari pemeliharaan hewan hingga pengolahan produk akhir. Data ini dapat diintegrasikan ke dalam sistem blockchain, memastikan bahwa informasi tersebut tidak dapat diubah. Dengan demikian, konsumen dapat yakin bahwa produk yang mereka beli dihasilkan dengan standar tinggi, sementara peternak bisa membangun reputasi yang lebih baik di pasar.

Namun, meskipun teknologi IoT menawarkan banyak manfaat, ada tantangan yang harus dihadapi sebelum dapat diadopsi secara luas di industri peternakan. Salah satu tantangan utama adalah infrastruktur teknologi. Di banyak daerah pedesaan, koneksi internet yang stabil masih menjadi masalah, membatasi kemampuan peternak untuk menggunakan teknologi berbasis IoT. Selain itu, biaya awal untuk mengadopsi teknologi ini bisa menjadi hambatan, terutama bagi peternak kecil yang mungkin tidak memiliki sumber daya yang cukup. Oleh karena itu, dukungan dari pemerintah dan lembaga swasta sangat penting untuk membantu peternak mengatasi kendala ini melalui subsidi, program pelatihan, atau insentif lainnya.

Selain itu, adopsi teknologi IoT memerlukan perubahan dalam budaya pengelolaan peternakan. Peternak yang terbiasa dengan metode tradisional mungkin ragu untuk beralih ke teknologi baru, terutama jika mereka merasa tidak familiar atau kurang percaya diri dalam menggunakannya. Oleh karena itu, penting untuk menyediakan program pelatihan komprehensif agar pemilik peternakan dapat memahami manfaat dan cara kerja teknologi IoT serta bagaimana memanfaatkannya untuk meningkatkan operasional mereka.

Secara keseluruhan, *Internet of Things* (IoT) memiliki potensi besar untuk merevolusi industri peternakan. Dengan

kemampuan mengumpulkan dan menganalisis data secara real-time, IoT memungkinkan peternak membuat keputusan yang lebih baik dan lebih cepat, yang pada akhirnya akan meningkatkan produktivitas, efisiensi, dan kesejahteraan hewan. Meskipun tantangan tetap ada, dengan dukungan yang tepat dari berbagai pihak, teknologi ini dapat menjadi bagian integral dari manajemen peternakan di masa depan. Pengembangan dan adopsi IoT di sektor ini tidak hanya akan memberikan keuntungan ekonomi bagi peternak, tetapi juga membantu menciptakan sistem produksi yang lebih berkelanjutan dan bertanggung jawab secara sosial, sejalan dengan meningkatnya tuntutan konsumen akan produk yang sehat, berkualitas tinggi, dan dihasilkan secara etis.

5.1. Bagaimana IoT membantu manajemen peternakan

Manajemen peternakan telah mengalami perubahan signifikan seiring dengan kemajuan teknologi dalam beberapa dekade terakhir. Salah satu inovasi yang memiliki dampak besar adalah Internet of Things (IoT). Teknologi ini memungkinkan koneksi antara perangkat yang berbeda melalui internet, sehingga data dapat dikumpulkan, dianalisis, dan digunakan untuk mendukung pengambilan keputusan secara real-time (Wang & Zhang 2018). Dalam sektor peternakan, penerapan IoT membantu mengatasi berbagai tantangan seperti pemantauan kesehatan hewan, manajemen sumber daya, dan optimalisasi produktivitas ternak.

Dalam manajemen tradisional, peternak bergantung pada pengalaman manual untuk mengelola kesehatan dan produktivitas hewan. Namun, keterbatasan metode ini sering mengakibatkan keterlambatan dalam deteksi penyakit, penggunaan sumber daya yang kurang efisien, dan hasil produksi yang tidak optimal (Smith & Jones 2019). Dengan teknologi IoT, peternakan dapat diotomatisasi dan diintegrasikan dengan pemantauan waktu nyata, yang



memberikan solusi yang lebih baik dalam manajemen peternakan secara keseluruhan.

5.2. Pemantauan Kesehatan Hewan Secara Real-Time

Salah satu manfaat utama IoT dalam manajemen peternakan adalah kemampuannya untuk memantau kesehatan hewan secara real-time. Sensor yang dipasang pada ternak dapat mendeteksi berbagai parameter kesehatan seperti suhu tubuh, detak jantung, dan tingkat aktivitas. Data yang dikumpulkan oleh sensor ini dikirimkan ke platform pusat, yang kemudian dapat dianalisis untuk mendeteksi tanda-tanda awal penyakit atau ketidaknormalan lainnya (Green & Taylor 2020).

Sebagai contoh, peningkatan suhu tubuh atau penurunan aktivitas pada sapi perah dapat menunjukkan adanya infeksi atau masalah kesehatan lainnya. Dengan IoT, peternak dapat menerima peringatan dini sebelum kondisi hewan memburuk, sehingga dapat mengambil langkah-langkah preventif yang cepat. Hal ini membantu mengurangi biaya pengobatan dan mencegah penyebaran penyakit di antara hewan ternak (Brown, Thompson, & Wilson 2020).

Salah satu teknologi yang dapat dimanfaatkan dalam pemantauan kesehatan hewan secara real-time adalah teknologi Pervision Livestock Farming (PLV). Teknologi PLV merupakan pendekatan inovatif yang memanfaatkan teknologi dan solusi berbasis data untuk mengoptimalkan produksi dan pengelolaan ternak. Teknologi ini melibatkan integrasi sensor, otomatisasi, dan sistem pemantauan untuk mengumpulkan informasi waktu nyata tentang kesehatan hewan, perilaku, dan kondisi lingkungan.

Sementara untuk alat, PT. Telkom Indonesia telah membuat satu terobosan baru yakni pembuatan alat monitoring ternak. Terobosan ini merupakan implementasi Smart Ternak yang dapat memberikan kemudahan kepada para peternak

dalam memonitoring ternak secara real-time. Sistem monitoring ini dilakukan dengan beberapa fitur seperti:

Tabel 5.1 Fitur pada sensor alat *smart* ternak

Fitur	Keterangan
GPS (<i>Global Positioning System</i>)/GNSS (<i>Global Navigation Satellite System</i>)	Memungkinkan sensor untuk menentukan posisigeografis secara akurat. Ini memungkinkan pelacakan lokasi sapi dengan presisi.
<i>Accelerometer and Gyroscope</i>	<i>Accelerometer</i> digunakan untuk mendeteksi percepatan linier, sedangkan <i>gyroscope</i> digunakan untuk mendeteksi perubahan sudut dan orientasi sapi. Sensor yang digunakan adalah <i>accelerometer 3-axis</i> untuk pemantauan aktivitas dan gerakan sapi.
<i>Body Temperature</i>	Pengukuran suhu tubuh hewan ternak dengan menggunakan sensor thermopile inframerah texas instruments.
<i>Ambient Temperature & Humidity</i> (Suhu dan Kelembaban Lingkungan)	Pengukuran suhu dan kelembaban disekitar sapi dengan menggunakan sensor SHT11 yang merupakan sensor chip dari sensirion dalam mendeteksi suhu.

Pengukuran tekanan udara di sekitar peternakan sapi membantu dalam memahami perubahan cuaca dan kondisi lingkungan yang mempengaruhi sapi.

Fitur-fitur tersebut akan memonitoring data aktivitas, suhu, dan lokasi. Data tersebut kemudian dikirimkan ke server melalui LoRa Gateway dan ditampilkan pada *website dashboard* sehingga memudahkan pemilik peternakan melakukan monitoring kondisi ternak secara *online* dan *real-time*.



Gambar 6.1 Sistem Arsitektur *Smart* Ternak (Wang, X., & Zhang, Y. (2018)

5.3. Manajemen Pemberian Pakan yang Lebih Efisien

Selain kesehatan hewan, manajemen pakan merupakan komponen penting dalam operasional peternakan. IoT memungkinkan pengelolaan pemberian pakan yang lebih efisien melalui sistem otomatisasi. Berdasarkan data yang dikumpulkan oleh sensor yang memantau berat badan, aktivitas, dan konsumsi pakan, sistem IoT dapat menyesuaikan jumlah pakan yang diberikan kepada setiap hewan. Dengan demikian, pemberian pakan dapat disesuaikan dengan kebutuhan individu hewan,

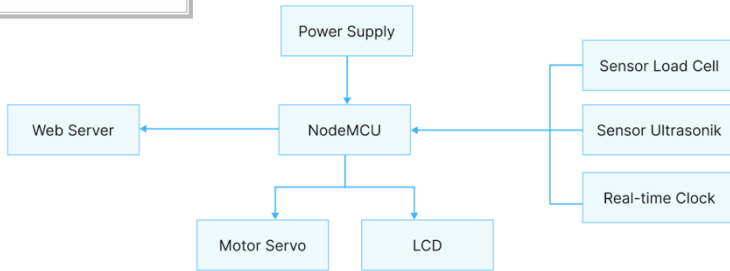


mengurangi pemborosan, dan memastikan nutrisi yang optimal (Smith & Jones 2019).

Penggunaan IoT dalam pemberian pakan juga membantu peternak mengelola stok pakan dengan lebih baik. Data real-time mengenai konsumsi pakan dapat digunakan untuk memprediksi kebutuhan pakan di masa depan, sehingga peternak dapat mengelola pembelian dan penyimpanan pakan dengan lebih efisien. Ini juga memungkinkan peternak untuk menghemat biaya dan menghindari kekurangan atau kelebihan stok (Wang & Zhang 2018).

Sebagai contoh, produksi yang dihasilkan oleh industri peternakan dapat optimal dengan memperhatikan beberapa hal, salah satunya adalah manajemen pemberian pakan dengan volume yang tepat dan frekuensi pemberian pakan yang tepat berdasarkan kebutuhan hewan ternak. Hal ini dapat dilakukan dengan mengimplementasikan sistem pemberian pakan otomatis. Dimana sistem tersebut bekerja dengan sistem penjadwalan dan ketersediaan pakan berdasarkan berat yang telah ditentukan.

Pemberian pakan yang tidak efisien karena menaburkan pakan yang tidak sesuai takaran bisa berakibat pada kesehatan hewan ternak. Sehingga manajemen pemberian pakan menggunakan IoT dapat diimplementasikan untuk mengatasi permasalahan tersebut. Berikut adalah sistem arsitektur dari sistem pakan otomatis.



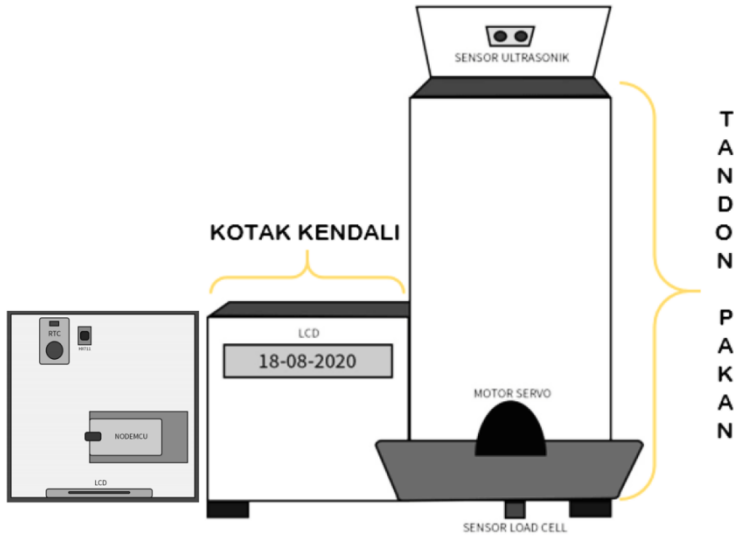
Gambar 5.2 Sistem Arsitektur Pakan Otomatis (Devitasari & Kartika, 2020)

Pada arsitektur pakan otomatis menggunakan Real-Time Clock (RTC). Hal ini supaya dapat diatur sesuai dengan waktu real-time atau waktu yang sebenarnya. Caranya sebelum menggunakan konsep pakan otomatis secara real-time, maka RTC harus diatur terlebih dahulu pada tahun, bulan, hari, jam, menit, dan detik. Ketika sudah diatur secara real-time maka dapat diatur untuk proses memberi makan per hari pada unggas

Pada diagram arsitektur tersebut power supply sebagai sumber tegangan memberikan daya kepada NodeMCU, kemudian sensor load cell, sensor ultrasonik dan RTC memberikan inputan data ke NodeMCU. Selanjutnya, NodeMCU menginputkan data ke LCD dan motor servo sehingga katup pada wadah utama akan terbuka. Web server digunakan sebagai sistem monitoring data pakan dan pengolahan data pakan yang telah diberikan yang nantinya dapat dikalkulasi.

Sementara, untuk desain alat pemberi pakan otomatis dengan menggunakan mikrokontroler NodeMCU yang terletak di kotak kendali sebagai pengendali sistem, LCD digunakan untuk memonitoring kegiatan alat selama bekerja, motor servo digunakan untuk membuka katup bawah pakan pada tandon agar pakan dapat keluar ke wadah sementara, sensor ultrasonik

digunakan untuk mendeteksi isi pakan pada tandon, dan sensor load cell digunakan untuk mengetahui berat pakan yang ada di wadah sementara.



Gambar 5.2 Desain Alat Sistem Pakan Otomatis (Devitasari & Kartika, 2020)

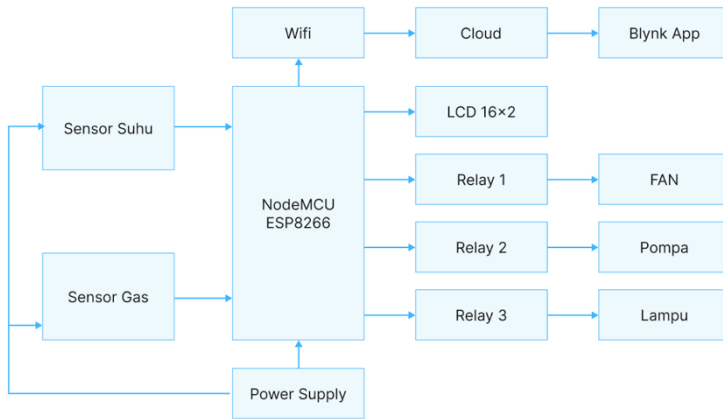
5.4. Pemantauan Lingkungan Kandang

Kondisi lingkungan kandang seperti suhu, kelembaban, dan kualitas udara memiliki dampak signifikan terhadap kesehatan dan produktivitas hewan ternak. Dengan teknologi IoT, peternak dapat memantau kondisi lingkungan secara terus-menerus dan real-time. Sensor IoT yang dipasang di kandang mampu mendeteksi perubahan suhu atau kelembaban, yang kemudian dapat diintegrasikan dengan sistem otomatisasi ventilasi atau pemanas untuk menjaga kondisi lingkungan tetap optimal (Davis 2021).

Sebagai contoh, jika suhu di kandang unggas meningkat di atas batas yang aman, sistem IoT dapat secara otomatis mengaktifkan kipas atau ventilasi untuk mendinginkan udara. Ini mengurangi risiko stres panas pada unggas yang dapat

berdampak negatif terhadap produksi telur atau daging. Pengelolaan lingkungan yang tepat waktu juga membantu menjaga kesejahteraan hewan dan mengurangi kebutuhan intervensi manual (Brown et al. 2020).

Pemantauan lingkungan kandang ini dapat dilakukan dengan mengimplementasikan IoT di dalamnya, yakni dengan pembuatan sistem monitoring kualitas udara, suhu, dan kebersihan menggunakan NodeMCU ESP8266 yang dapat bekerja secara otomatis berbasis IoT. Sistem ini dapat membantu pemilik peternakan dalam mendapatkan informasi kondisi kandang ternak. Sebagai contoh, pengukuran sensor suhu ketika kurang dari 27°C maka lampu akan menyala, dan pada saat suhu lebih dari 32°C maka kipas fan akan hidup untuk mengurangi suhu pada kandang. Sedangkan pada saat sensor kadar gas amonia membaca lebih dari 25ppm maka pompa air akan hidup untuk membersihkan kotoran yang ada pada kandang untuk mengurangi amonia dalam kandang. Simulasi tersebut dapat dilakukan dengan pembuatan alat monitoring kandang dengan memanfaatkan arsitektur di bawah ini.



Gambar 6.3 Sistem Arsitektur Monitoring Kandang (Ariefin, 2023)

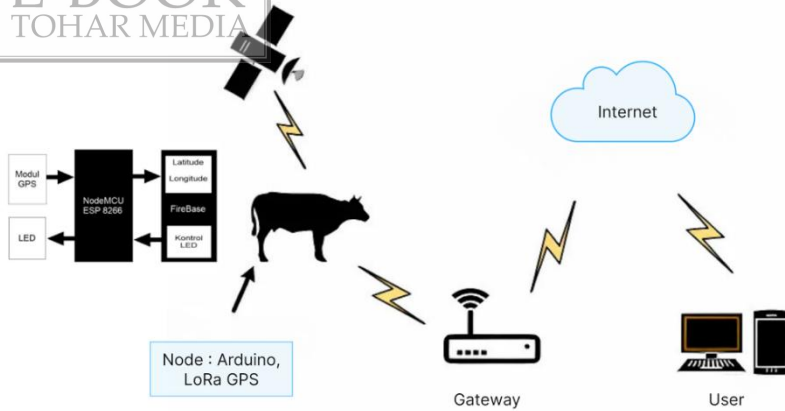
Arsitektur di atas digunakan untuk mengatur suhu dan kelembaban secara otomatis di dalam kandang sehingga dapat meminimalisir suhu yang terlalu panas dan lembab pada kandang supaya menjaga hewan tetap sehat.

5.5. Pelacakan dan Keamanan Hewan

IoT juga memungkinkan pelacakan lokasi ternak di lahan terbuka dengan menggunakan GPS dan sensor gerak. Ini sangat berguna terutama di peternakan besar di mana ternak sering berada di lahan yang luas. Sistem pelacakan ini memungkinkan peternak mengetahui lokasi ternak setiap saat, yang memudahkan pengelolaan ternak dan mengurangi risiko kehilangan hewan (Green & Taylor 2020).

Selain itu, pelacakan berbasis IoT dapat digunakan untuk meningkatkan keamanan ternak. Sensor gerak dan sistem pengawasan dapat memberi peringatan jika ada tanda-tanda pencurian atau hewan ternak keluar dari area yang telah ditentukan. Dengan demikian, peternak dapat menjaga keamanan hewan dan aset mereka dengan lebih baik (Davis 2021).

Hal tersebut dapat diatasi dengan mengimplementasikan IOT, GPS, sensor gyroscope & accelerometer dan LoRa untuk melacak keberadaan dan keadaan. Alat yang digunakan dapat disebut sebagai animal tracking. Alat animal tracking yang dibuat berbentuk kotak kecil yang nantinya akan dikalungkan pada leher hewan ternak yang akan dimonitor. Alat ini akan bekerja secara real-time dengan bantuan dari Firebase.



Gambar 5.4 Sistem Arsitektur Animal Tracking (Arta, Febriyanto & Nugraha, 2022)

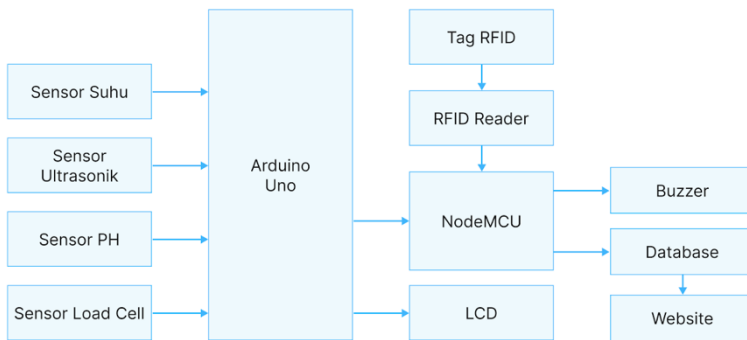
Koordinat yang didapatkan oleh modul GPS akan diterima oleh NodeMCU ESP8266, kemudian diteruskan ke Firebase. Untuk dapat mengirimkan data koordinat ke Firebase, maka NodeMCU harus terhubung ke internet. Data tersebut kemudian ditampilkan pada aplikasi animal tracking yang dibuat dengan Kodular dalam bentuk koordinat latitude dan longitude dan marker pada maps.

5.6. Optimasi Produksi dan Produktivitas

IoT memungkinkan pengumpulan dan analisis data besar (big data) yang terkait dengan berbagai aspek operasional peternakan. Dengan menggabungkan data dari sensor kesehatan hewan, konsumsi pakan, dan kondisi lingkungan, IoT dapat membantu peternak mengoptimalkan produktivitas ternak. Data ini dapat dianalisis untuk memprediksi pola produksi, kesehatan ternak, dan kebutuhan pakan, sehingga memungkinkan peternak membuat keputusan yang lebih baik dan lebih cepat (Wang & Zhang 2018).

Misalnya, dalam peternakan sapi perah, IoT dapat digunakan untuk memantau jumlah susu yang dihasilkan dan faktor-faktor yang mempengaruhi produksi. Dengan data ini, peternak dapat mengidentifikasi pola produksi yang optimal dan membuat penyesuaian yang diperlukan untuk meningkatkan hasil (Brown et al. 2020).

Optimasi produksi dan produktivitas sapi perah dapat dilakukan dengan cara memonitoring setiap detik perubahan suhu kandang, suhu air susu dan pH pada air susu agar dapat dan mencegah timbulnya susu yang berkualitas kurang baik. Dengan pemantauan lingkungan kandang, dalam hal ini adalah memantau suhu dan kelembaban kandang sapi dapat mengurangi stres pada sapi. Sehingga produktivitas sapi perah dapat meningkat secara signifikan.



Gambar 6.4 Sistem Arsitektur Monitoring Quality Control Susu Ternak (Saputra, Wibowo & Pranoto, 2023)

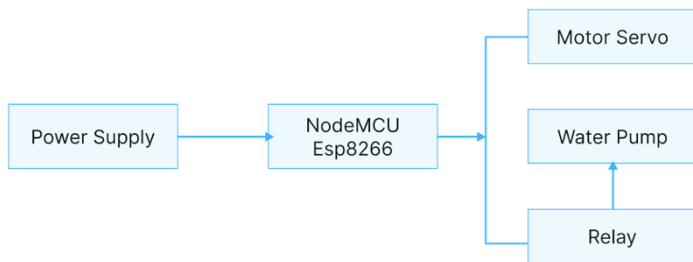
Sistem monitoring tersebut akan membaca seluruh sensor dari masing-masing sensor ultrasonik, sensor suhu, sensor berat, sensor PH dan RFID secara bersamaan. Lalu ada layar LCD dan buzzer sebagai output. Setelah semua data diambil dari semua sensor semua data akan dikirim ke database melalui modul wifi.

5.7. Penghematan Biaya dan Efisiensi Sumber Daya

IoT memungkinkan pengelolaan yang lebih efisien dari sumber daya seperti air dan energi. Sensor IoT dapat memantau penggunaan air dalam pemberian minum atau sistem irigasi, sehingga air diberikan secara lebih efisien dan hanya pada saat dibutuhkan. Begitu pula dengan penggunaan energi, seperti sistem pencahayaan dan ventilasi yang dapat diotomatisasi berdasarkan kondisi lingkungan, sehingga mengurangi pemborosan energi dan biaya operasional (Smith & Jones 2019).

Selain itu, IoT juga dapat membantu dalam pengelolaan limbah di peternakan. Sistem pemantauan IoT dapat mendeteksi penumpukan limbah atau gas berbahaya di dalam kandang, yang dapat mempengaruhi kesehatan ternak. Dengan adanya sistem yang memantau secara terus-menerus, peternak dapat mengambil tindakan pencegahan lebih awal untuk mengurangi dampak negatif terhadap lingkungan (Davis 2021).

Hal ini dapat diatasi dengan penerapan manajemen kotoran ternak. Dengan menerapkan IoT dalam pengelolaan kotoran pada lingkungan peternakan, pemilik peternakan dapat membangun sistem pengontrolan yang akurat terhadap proses pembuangan kotoran atau limbah. Berikut arsitektur sistem yang dapat digunakan.



Gambar 6.5 Sistem Arsitektur Manajemen Kotoran (Ariefin, 2023)



Pembuatan alat ini menggunakan Blynk untuk mengatur jadwal pembersihan dan modul NodeMCU Esp8266 sebagai pusat pengendali sistem yang dapat memproses data sinyal perintah untuk mengaktifkan output motor servo dan water pump.

Pembersihan kotoran kandang akan lebih efektif dengan menggunakan alat mekanik yang dikontrol oleh peralatan elektronik. Sistem pembersih kotoran kandang ayam otomatis berbasis mikrokontroler merupakan alat kontrol yang mampu membersihkan kotoran secara otomatis sesuai jadwal yang telah ditentukan.



Bab 6

Internet of Things (IoT) untuk Pengelolaan Pasca Panen

6.1. Pertanian

Pertanian merupakan sektor penting bagi kelangsungan hidup manusia karena menyediakan makanan, serat, dan bahan bakar untuk mendukung pertumbuhan populasi. Namun, kehilangan pasca panen menjadi tantangan besar yang menyebabkan kerugian ekonomi dan pemborosan makanan signifikan (Priya *et al.*, 2023). Menurut Organisasi Pangan dan Pertanian (FAO), sekitar sepertiga makanan yang diproduksi untuk konsumsi manusia terbuang setiap tahunnya (Priya *et al.*, 2023) (Jha, Yadav and Gupta, 2022). Kerugian pasca panen di negara berkembang diperkirakan mencapai 14% dari total produksi pangan (Priya *et al.*, 2023). Mengatasi masalah ini menjadi penting untuk mencapai ketahanan pangan serta meningkatkan kesejahteraan petani, khususnya petani kecil yang sangat terdampak oleh kerugian ini. Harapan masyarakat terhadap komoditas agro-mekanik diperlukan dalam perencanaan, pengelolaan, dan penyediaan pangan yang berkelanjutan (R *et al.*, 2021).

Teknologi Internet of Things (IoT) muncul sebagai solusi yang menjanjikan untuk mengurangi kehilangan pasca panen. Teknologi ini memungkinkan pemantauan dan pengendalian berbagai proses pasca panen secara real-time, seperti penyimpanan, transportasi, dan pengemasan. Teknologi IoT

dapat memastikan kondisi penyimpanan yang optimal, sehingga mencegah pembusukan tanaman dan memperpanjang umur produk pertanian (Priya *et al.*, 2023). Dalam konteks ini, penanganan pasca panen melibatkan beberapa langkah penting seperti pembersihan, penjemuran, pengupasan, pengasapan, pengawetan, penyimpanan, penyortiran, pengemasan, dan pendinginan untuk memperlambat proses pembusukan (Kumar Mishra, 2019) (Jha, Yadav and Gupta, 2022). Di negara berkembang, kehilangan pasca panen pada buah dan sayur dapat mencapai 24-40%, sementara di negara maju kerugiannya berkisar antara 2-20%. Tingkat pemborosan yang tinggi ini mempengaruhi harga produk segar dan meningkatkan kemiskinan petani (Kumar Mishra, 2019). Implementasi dari semua hal di atas dapat mewujudkan *smart farming* yang selama ini telah diimpikan oleh petani modern untuk efisiensi dan efektivitas yang maksimal. Ilustrasi dari integrasi berbagai sistem untuk mewujudkan *smart farming* dapat dilihat pada gambar 1.



Gambar 5.1. Ilustrasi Integrasi Sistem dalam *Smart Farming*
Sumber : faperta.umsu.ac.id

Mengadopsi teknologi pasca panen seperti pemantauan lingkungan menggunakan IoT dapat mengurangi kerugian ini secara signifikan. Misalnya, pemantauan suhu dan kelembaban

dalam penyimpanan bawang merah dapat membantu mencegah degradasi, sehingga mengurangi kerugian ekonomi bagi petani (Misal, Jagtap and Todkari, 2019). Teknologi ini tidak hanya mencegah pemborosan tetapi juga membuka peluang pasar baru, menciptakan lapangan kerja, serta meningkatkan kualitas hasil panen (Kumar Mishra, 2019) (Jha, Yadav and Gupta, 2022). Penggunaan teknologi seperti IoT menjadi kunci untuk meningkatkan efisiensi pertanian dan mendukung pembangunan berkelanjutan.

6.2. Permasalahan Pasca Panen Bagi Petani

A. Kerugian Ekonomi

Kerugian pascapanen disebabkan oleh faktor eksternal, seperti cedera fisik (memar, terpotong, patah, atau kerusakan akibat benturan), serta infeksi parasit seperti jamur, bakteri, dan organisme lain. Selain itu, faktor internal seperti kerusakan fisiologis, kekurangan nutrisi, cedera karena suhu yang terlalu rendah atau tinggi, dan lingkungan yang tidak ideal juga berkontribusi. Di negara berkembang, kerugian ini diperkirakan mencapai 24% hingga 40%, sementara di negara maju berkisar antara 2% hingga 20%, menjadikannya salah satu penyumbang utama limbah pangan. Dampak dari tingginya limbah ini tidak hanya meningkatkan harga produk segar, tetapi juga memperburuk kemiskinan di kalangan petani (Kumar Mishra, 2019). Secara global, limbah makanan diperkirakan mencapai 1,3 miliar ton per tahun (Jha, Yadav and Gupta, 2022).

B. Kualitas Produk Menurun

Penurunan kualitas merupakan tantangan utama yang dihadapi oleh makanan yang mudah rusak. Sebelum diperkenalkannya teknologi penginderaan modern, seperti sensor suhu dan kelembapan, proses untuk melacak dan memperkirakan kualitas makanan sering kali rumit dan mahal. Dengan memanfaatkan teknologi dan model prediksi kualitas, para pelaku dalam industri makanan yang mudah rusak kini

dapat membuat estimasi yang lebih akurat mengenai sisa masa simpan serta kualitas produk. Informasi ini sangat penting bagi pengecer dan dapat berdampak besar pada permintaan di pasar ritel (Kumar Mishra, 2019).

C. Keterbatasan Akses ke Teknologi

Meliputi tingginya biaya perangkat IoT, kebutuhan akan koneksi internet yang stabil di daerah pedesaan, yang sering menjadi hambatan bagi petani kecil, serta masalah privasi dan keamanan data yang menimbulkan kekhawatiran (Priya *et al.*, 2023).

D. Kurangnya Informasi Real-Time

Tanpa data yang akurat dan terkini, petani kesulitan dalam mengambil keputusan yang tepat terkait penyimpanan dan distribusi produk. Ini dapat menyebabkan kerugian lebih lanjut.

E. Tantangan dalam Pengelolaan Rantai Pasokan

Pengelolaan rantai pasokan yang tidak efisien dapat menyebabkan kerugian lebih lanjut dan pemborosan produk. Keterbatasan dalam sistem notifikasi dan analisis data dapat menghambat pengambilan keputusan yang efektif.

F. Keterampilan Teknologi

Petani perlu memiliki keterampilan teknologi untuk mengoperasikan dan memelihara sistem IoT. Banyak petani kecil tidak memiliki pelatihan yang diperlukan untuk menggunakan teknologi ini secara efektif.

6.3. Solusi IoT untuk Mengatasi Masalah Pasca Panen

Internet of Things (IoT) telah merevolusi berbagai sektor, termasuk pertanian. Dengan menghubungkan berbagai perangkat dan sensor, IoT memungkinkan pemantauan dan kontrol yang lebih baik terhadap proses pasca panen, sehingga dapat mengatasi berbagai tantangan yang ada.

Berikut adalah beberapa solusi spesifik yang ditawarkan IoT:

A. Pemantauan Kondisi Penyimpanan secara Real-time:

- **Sensor suhu dan kelembaban:** Memungkinkan petani memantau kondisi penyimpanan secara terus-menerus dan memastikan produk disimpan pada suhu dan kelembaban yang optimal.
- **Deteksi dini kerusakan:** Sensor gambar atau video dapat digunakan untuk mendeteksi kerusakan fisik pada produk secara otomatis, sehingga produk yang rusak dapat segera dipisahkan.

B. Optimasi Rantai Pasok:

- **Pelacakan produk:** Dengan menggunakan RFID atau barcode, setiap produk dapat dilacak perjalanannya dari kebun hingga ke konsumen, memungkinkan identifikasi masalah kualitas dan penarikan produk jika diperlukan.
- **Prediksi permintaan:** Data dari sensor IoT dan sistem penjualan dapat digunakan untuk memprediksi permintaan pasar, sehingga produsen dapat mengatur produksi dan distribusi secara lebih efisien.

C. Pengurangan Limbah Makanan:

- **Prediksi masa simpan:** Model machine learning dapat memprediksi masa simpan produk berdasarkan data sensor, sehingga produk dapat dikonsumsi sebelum kadaluarsa.
- **Optimasi inventaris:** Sistem manajemen inventaris berbasis IoT dapat membantu petani dan distributor mengelola stok produk secara lebih efisien, mengurangi pemborosan akibat produk yang kadaluarsa.

D. Kualitas Udara dan Gas:

- **Sensor gas:** Sensor gas dapat mendeteksi gas etilen yang dihasilkan oleh buah-buahan, yang dapat mempercepat pematangan. Dengan informasi ini, petani dapat mengatur kondisi penyimpanan untuk memperpanjang umur simpan.
- **Pemantauan kualitas udara:** Sensor kualitas udara dapat memantau keberadaan kontaminan di udara, sehingga dapat mencegah kerusakan produk akibat kontaminasi.

6.4. Peran IoT dalam Pengelolaan Pasca Panen

A. Monitoring Kualitas Produk

Peran Internet of Things (IoT) dalam pengelolaan pasca panen sangat penting karena memungkinkan pemantauan dan pengendalian kondisi penyimpanan secara real-time. Dengan memanfaatkan sensor IoT, variabel seperti suhu, kelembapan, dan kondisi lingkungan lainnya dapat dipantau secara kontinu untuk menjaga kualitas produk selama penyimpanan dan distribusi.

B. Prediksi Hasil Panen

IoT menggunakan algoritma seperti Random Forest, K-Nearest Neighbors (KNN), dan analisis regresi untuk menganalisis data yang dikumpulkan dari sensor. Model-model ini mampu memberikan prediksi hasil panen dengan tingkat akurasi yang tinggi, sehingga mendukung petani dalam proses perencanaan dan pengambilan keputusan. Dengan prediksi yang lebih tepat, petani dapat mengelola sumber daya secara lebih efisien dan meningkatkan produktivitas hasil panen.

C. Pengurangan Kerugian Pasca Panen

IoT juga membantu mendeteksi potensi masalah, seperti kerusakan atau fluktuasi suhu yang tidak diinginkan, sehingga

tindakan pencegahan dapat dilakukan dengan cepat untuk mengurangi kerugian. Penggunaan IoT meningkatkan efisiensi logistik dengan memungkinkan pelacakan produk dari gudang hingga ke konsumen, sekaligus mengurangi pemborosan akibat penurunan kualitas selama proses transportasi. Sistem notifikasi yang terintegrasi dalam aplikasi mobile memberikan informasi real-time kepada petani tentang kondisi penyimpanan dan kualitas produk, memungkinkan mereka untuk segera mengambil tindakan guna mencegah kerugian. Secara keseluruhan, IoT berperan besar dalam menjaga kualitas produk, memperpanjang masa simpan, serta meningkatkan keuntungan bagi petani dan pelaku industri.

6.5. Teknologi IoT yang Dapat Diterapkan

A. Sensor Lingkungan

Penggunaan sensor IoT dalam pertanian cerdas menjadi sangat penting untuk mengoptimalkan berbagai aspek produksi, seperti irigasi, pemupukan, dan pengendalian hama. Sensor ini mampu memberikan data waktu nyata mengenai kelembapan tanah, suhu, dan faktor lingkungan lainnya, serta mengumpulkan informasi tentang kadar air, suhu, dan tingkat nutrisi tanah. Dengan kemampuan untuk mengukur suhu, kecepatan, kelembapan, dan getaran, sensor memungkinkan petani untuk berinteraksi lebih baik dengan lingkungan pertanian mereka. Selain itu, sensor juga dapat digunakan untuk memantau pertumbuhan tanaman, mengukur hasil panen, serta mendeteksi hama dan penyakit (Priya et al., 2023)(Jha, Yadav and Gupta, 2022). Tidak hanya itu, sensor juga berperan dalam pemantauan kesehatan dan perilaku ternak. Jaringan Sensor Nirkabel (WSN) saat ini banyak diterapkan dalam sistem pendukung keputusan untuk memecahkan berbagai masalah di dunia nyata, khususnya dalam pemantauan lingkungan pertanian. Sistem WSN yang cerdas dan pintar dapat mengumpulkan dan memproses data besar untuk mengelola

kualitas udara, kondisi tanah, dan situasi cuaca. Dengan menggunakan sensor WSN dan kamera CCTV, sistem ini dapat memantau dan mengumpulkan informasi terkait lingkungan pertumbuhan tanaman, baik di luar ruangan maupun di dalam rumah kaca. Sensor suhu dan kelembapan yang dikembangkan di rumah kaca terbukti andal, dan sistem ini juga memungkinkan kontrol otomatis lingkungan rumah kaca dari jarak jauh, yang pada gilirannya dapat meningkatkan produktivitas tanaman (Misal, Jagtap and Todkari, 2019). Adapun jenis sensor lainnya dan aplikasinya di bidang pertanian, khususnya yang berhubungan untuk pengelolaan pasca panen, dapat dilihat pada Tabel 1.

Tabel 5.1. Jenis sensor dan aplikasinya(Dhanaraju *et al.*, 2022).

Sensor	Aplikasi	Prosedur Kerja
Sensor akustik	Pemantauan dan deteksi hama, klasifikasi varietas benih, pemanenan buah	Mengukur variasi tingkat kebisingan ketika bercampur dengan bahan lain, yaitu partikel tanah
Sensor aliran udara	Mengukur permeabilitas udara tanah, kelembaban, dan struktur dalam posisi statis atau mode bergerak	Berdasarkan berbagai sifat tanah, tanda pengenal yang unik
Sensor berbasis kovarians Eddy	Mengukur pertukaran CO ₂ , uap, metana, atau gas lainnya.	Mengukur fluks kontinyu pada area yang luas

Sensor	Aplikasi	Prosedur Kerja
	Mengukur atmosfer permukaan dan fluks gas jejak di berbagai ekosistem pertanian	
Sensor elektrokimia	Untuk menganalisis tingkat nutrisi tanah dan pH	Nutrisi dalam tanah, salinitas, dan pH diukur menggunakan sensor
Sensor elektromagnetik	Merekam konduktivitas listrik, respon elektromagnetik, nitrat residu, dan bahan organik dalam tanah	Rangkaian listrik mengukur kemampuan partikel tanah untuk menghantarkan atau mengumpulkan muatan listrik
Sensor berbasis field programmable gate array (FPGA)	Mengukur transpirasi tanaman, irigasi, dan kelembaban secara real-time	Chip silikon yang dapat diprogram dan blok logika dikelilingi bersama oleh sumber daya yang saling terhubung yang dapat diprogram dari sirkuit digital

Sensor	Aplikasi	Prosedur Kerja
<p>Deteksi dan pengukuran cahaya (LIDAR)</p>	<p>Pemetaan lahan, penentuan jenis tanah, pemodelan pertanian 3D, pemantauan erosi dan kehilangan tanah, serta perkiraan hasil panen</p>	<p>Sensor memancarkan gelombang cahaya berdenyut dan memantul saat bertabrakan dengan objek dan dikembalikan ke sensor. Waktu yang dibutuhkan untuk setiap pulsa untuk kembali digunakan untuk penilaian</p>
<p>Sensor aliran massa</p>	<p>Pemantauan hasil panen berdasarkan jumlah aliran gabah melalui mesin pemanen gabungan</p>	<p>Penginderaan aliran massa biji-bijian dengan modul, misalnya sensor kelembaban biji-bijian, perangkat penyimpanan data, dan perangkat lunak internal</p>
<p>Sensor mekanis</p>	<p>Pemadatan tanah atau ketahanan mekanis</p>	<p>Sensor merekam gaya yang dinilai oleh pengukur</p>

Sensor	Aplikasi	Prosedur Kerja
		regangan atau sel beban
Sensor optik	Zat organik tanah, kelembaban tanah, warna, mineral, komposisi, kandungan tanah liat, dll. Sensor optik berbasis fluoresensi digunakan untuk mengawasi pematangan buah. Mengintegrasikan sensor optik dengan hamburan gelombang mikro untuk mengkarakterisasi tajuk kebun	Sensor menggunakan fenomena reflektansi cahaya untuk mengukur perubahan pantulan gelombang
Sensor optoelektronik	Membedakan jenis tanaman untuk mendeteksi gulma pada tanaman baris lebar	Sensor membedakan berdasarkan spektrum refleksi
Sensor berbasis level air lunak (SWLB)	Digunakan di daerah tangkapan air untuk mengkarakterisasi perilaku hidrologi	Mengukur curah hujan, aliran sungai, dan pilihan

Sensor	Aplikasi	Prosedur Kerja
	(ketinggian dan aliran air, akuisisi langkah waktu)	keberadaan air lainnya
Sensor telematika	Menilai lokasi, rute perjalanan, dan aktivitas operasi mesin dan pertanian	Telekomunikasi antar tempat (terutama titik yang tidak dapat diakses)
Sensor jarak ultrasonik	Pemantauan tangki, pengukuran jarak semprotan, cakupan semprotan seragam, deteksi objek, pemantauan kanopi tanaman, dan deteksi gulma.	Sensor ultrasonik menggunakan transduser untuk mengirim dan menerima pulsa ultrasonik yang menyampaikan informasi tentang kedekatan suatu objek
Penginderaan jarak jauh	Penilaian tanaman, pemodelan hasil panen, peramalan tanggal panen, pemetaan tutupan lahan dan degradasi, peramalan, identifikasi tanaman dan hama, dll .	Sistem sensor berbasis satelit mengumpulkan, memproses, dan menyebarkan data lingkungan dari platform tetap dan bergerak

B. Sistem Notifikasi

Aplikasi mobile yang memberikan pemberitahuan kepada petani mengenai kondisi penyimpanan dan kualitas produk secara langsung. Fitur ini mencakup pengiriman SMS, notifikasi melalui Twitter, aplikasi Android, dan tampilan di halaman web.

C. Analisis Data

Menggunakan algoritma pembelajaran mesin untuk menganalisis data yang dikumpulkan dari sensor dan memberikan rekomendasi untuk pengelolaan yang lebih baik.

D. Platform IoT Terintegrasi

Membangun platform yang mengintegrasikan semua data dari sensor dan memberikan dashboard untuk pemantauan yang mudah.

6.6. Implementasi IoT Dalam Pengelolaan Pasca Panen

A. **Pertanian Pintar** : Pertanian pintar adalah konsep yang semakin berkembang berkat sensor IoT yang dapat memberikan informasi terkait lahan pertanian. Salah satu fitur utamanya adalah pemantauan suhu dan kelembaban di area pertanian. Proses pemantauan ini dilakukan dengan menggunakan sensor yang mengirimkan notifikasi kepada petani. Tujuan utama dari sistem ini adalah untuk mengusulkan metodologi penyimpanan bawang merah menggunakan sistem grid yang dapat membantu mengurangi degradasi bawang merah akibat perubahan suhu dan kelembaban. Apabila salah satu bawang merah dalam penyimpanan mengalami degradasi, sistem akan segera mengirimkan pesan kepada petani. Dengan cara ini, hasil panen bawang merah dapat ditingkatkan, menghasilkan kualitas yang lebih baik dan melindungi petani dari potensi kerugian ekonomi yang besar (Misal, Jagtap and Todkari, 2019).

B. **Pertanian Presisi** : Konsep ini melibatkan pemanfaatan wawasan berbasis data untuk mengoptimalkan berbagai proses pertanian, seperti irigasi, pemupukan, dan pengendalian hama. Pertanian presisi memanfaatkan berbagai teknologi, seperti sensor, drone, dan sistem informasi geografis (GIS), untuk mengumpulkan data yang akurat mengenai kondisi lahan, tanaman, dan lingkungan. Sensor IoT mampu memberikan data waktu nyata mengenai tingkat kelembapan tanah, suhu, dan faktor lingkungan lainnya, sementara algoritma pembelajaran mesin dapat menganalisis data tersebut untuk memberikan wawasan tentang praktik pengelolaan tanaman yang paling efektif. Sebagai contoh, algoritma pembelajaran mesin dapat memproses gambar tanaman yang diambil oleh drone atau satelit untuk mendeteksi tanda-tanda awal penyakit atau kekurangan nutrisi pada tanaman (R et al., 2021; Priya et al., 2023).

6.7. Studi Pemanfaatan Iot di Sektor Pertanian Pasca Panen

A. Penelitian Survei tentang Peran *Machine Learning* dan *Internet of Thing* dalam Pertanian

Dengan bertambahnya populasi dunia, permintaan terhadap makanan juga meningkat. Hal ini menyebabkan perluasan lahan pertanian serta berkurangnya lahan pertanian yang tersedia, sehingga upaya untuk mengurangi kehilangan hasil pertanian harus lebih cerdas dan efisien. Penggunaan teknologi pembelajaran mesin dan Internet of Things (IoT) di sektor pertanian berpotensi memberikan kontribusi signifikan dalam menjadikan pertanian lebih terkelola dengan baik dan berkelanjutan. Melalui penerapan pembelajaran mesin dan IoT yang strategis, sektor pertanian dapat memperoleh banyak keuntungan, termasuk dalam meningkatkan keamanan pangan.

Artikel ini memberikan ulasan mendalam tentang algoritma pembelajaran mesin dan teknologi IoT di berbagai aspek. Berdasarkan tinjauan ini, aktivitas pertanian dapat dikelompokkan ke dalam tiga fase utama: pra-panen, panen, dan pasca-panen. Pembelajaran mesin merupakan teknologi mutakhir yang mampu menyelesaikan permasalahan kompleks di bidang pertanian serta membantu petani meminimalkan kerugian (Jha, Yadav and Gupta, 2022).

B. Pertanian Cerdas Berbasis IoT untuk Mencegah Kerugian Pasca Panen Menggunakan Algoritma *Machine Learning*

Kandungan air dan penyerapan adalah faktor krusial yang harus diperhatikan dalam berbagai aplikasi. Memahami sifat-sifat ini dapat membantu mengoptimalkan proses dan produk untuk meningkatkan kinerja serta kualitas. Terdapat berbagai metode untuk mengukur kandungan air dan penyerapan, seperti metode gravimetrik, sensor kelembapan, dan teknik spektroskopi. Teknologi Internet of Things (IoT) menyediakan alat yang efektif untuk memantau dan mengelola kandungan air serta penyerapan dalam beragam aplikasi. Dengan memberikan data dan wawasan secara real-time, sensor IoT dapat membantu dalam mengoptimalkan proses dan produk untuk meningkatkan kinerja dan kualitas.

Kombinasi IoT dengan model pembelajaran mesin memberikan alat yang kuat untuk analisis data tanah di sektor pertanian. Dengan menyediakan data dan wawasan waktu nyata, pendekatan ini dapat membantu mengoptimalkan kinerja tanaman, mengurangi limbah, dan mendukung praktik pengelolaan lahan yang berkelanjutan. Model IoT ini berfungsi sebagai alat efektif untuk analisis data tanah dalam pertanian, membantu meningkatkan kinerja tanaman dan mendukung praktik pengelolaan lahan yang berkelanjutan (Priya *et al.*, 2023).

C. Teknologi cerdas Berbasis IoT untuk penanganan Pasca Panen pada Industri Pertanian

Berdasarkan lima contoh titik dengan zona normal 2,5 m x 2,5 m, total berat normal yang diperoleh adalah 8,62 kg per m². Korelasi antara kondisi saat ini dan ekspektasi yang dihasilkan melalui penggunaan IoT dan pengujian menunjukkan adanya potensi peningkatan akurasi. Desain Web Ontology Language (WOL) dalam konteks web semantik, yang memanfaatkan faktor transien serta strategi pengenalan dan pengumpulan data dalam pengukuran, juga dapat meningkatkan ketepatan prakiraan.

Sistem Keen yang terintegrasi dengan Decision Support System (DSS) memiliki kemampuan untuk meramalkan waktu pengumpulan, waktu tunggu, dan arah ideal yang diperlukan di area agro-modern dengan lebih tepat. Tingkat ketepatan yang dicapai dalam pengujian ini, sebagaimana dijelaskan oleh Dewi dan Muslikh (2013), dinilai dapat diterima karena melebihi 80%. Penelitian ini menggarisbawahi bahwa inovasi dan pengujian berbasis IoT dalam bidang agro-mekanik dapat meningkatkan prediksi volume dan efisiensi pengumpulan dengan tingkat akurasi yang lebih tinggi (R *et al.*, 2021).

D. Sistem Manajemen Tanaman Pasca Panen Menggunakan IoT dan AI

Di lokasi gudang pendingin, setiap ruangan dilengkapi dengan alarm yang akan memberi tahu pengguna atau pekerja jika terjadi perubahan dalam kondisi lingkungan, seperti suhu, kelembaban, kadar air, dan gas. Aplikasi Android dan aplikasi web secara terus-menerus mengambil data dari ThingSpeak dan menampilkan informasi secara real-time. Jika terjadi penurunan kualitas makanan, aplikasi akan mengirimkan pemberitahuan kepada pengguna yang ada di lokasi. Pengguna aplikasi ini, baik yang terdidik maupun tidak, dapat dengan mudah memahami data karena informasi tersebut disajikan

dalam bentuk grafik dan ditandai dengan warna merah, hijau, dan kuning untuk menunjukkan kualitas sebagai buruk, baik, atau perlu diperiksa. Analisis dan prediksi yang menggunakan kecerdasan buatan (AI) memungkinkan kita untuk secara otomatis mengontrol dan memantau lingkungan penyimpanan dingin tanpa perlu campur tangan manusia. Data yang dikirimkan kepada pengguna, termasuk pemerintah dan manajemen rantai pasokan, membantu mereka mengidentifikasi area di mana lebih banyak investasi diperlukan untuk meningkatkan pendapatan dan mengurangi kerugian pasca panen.

Berdasarkan analisis data, pemerintah dapat menyusun anggaran dan kebijakan asuransi tanaman yang sesuai dengan wilayah serta varietas tanaman yang disimpan di gudang pendingin lokal, sehingga dapat membantu petani mengurangi kerugian pasca panen (Kumar Mishra, 2019).

E. Metode Penyimpanan Bawang Pasca Panen Menggunakan IoT

Untuk bawang segar (sampel), hasil output terlihat terkontrol dan berada dalam kisaran yang sesuai dengan kondisi lingkungan di India. Kami memulai proses pembusukan dan melaksanakan prosedur yang sama, dan kami mengamati bahwa nilai parameter meningkat dengan cepat. Di India, pemantauan suhu dan berbagai parameter lingkungan yang tidak stabil sangat penting. Selain itu, hujan juga merupakan faktor yang signifikan. Dengan menggunakan sistem ini, pengguna dapat memantau semua parameter yang diinginkan untuk memastikan kualitas bawang tetap terjaga. Sistem ini akan memberikan pemberitahuan kepada pemilik (petani) melalui audio, tampilan, dan pesan nirkabel (SMS).

Sistem ini juga memiliki biaya yang rendah, perawatan yang mudah, dan pemasangan yang sederhana, sehingga siapa pun dapat mengaksesnya. Kami dapat memperoleh data real-time

yang berguna untuk penelitian dan tujuan di masa mendatang (Misal, Jagtap and Todkari, 2019).

Pemanfaatan teknologi Internet of Things (IoT) dalam pengelolaan pasca panen memiliki potensi signifikan untuk meningkatkan efisiensi, kualitas, dan ketahanan pangan. Dengan integrasi sensor dan sistem pemantauan real-time, IoT memungkinkan petani untuk memantau kondisi penyimpanan, mengurangi kerugian pasca panen melalui deteksi dini masalah, serta mengoptimalkan rantai pasokan dengan pelacakan produk dan analisis data. Selain itu, teknologi ini membantu meningkatkan kualitas produk dan mendukung pertanian berkelanjutan dengan mengurangi limbah. Secara keseluruhan, penerapan IoT tidak hanya mengatasi tantangan yang ada, tetapi juga membuka peluang baru untuk inovasi dalam sektor pertanian, menciptakan sistem yang lebih efisien dan responsif terhadap kebutuhan pasar.

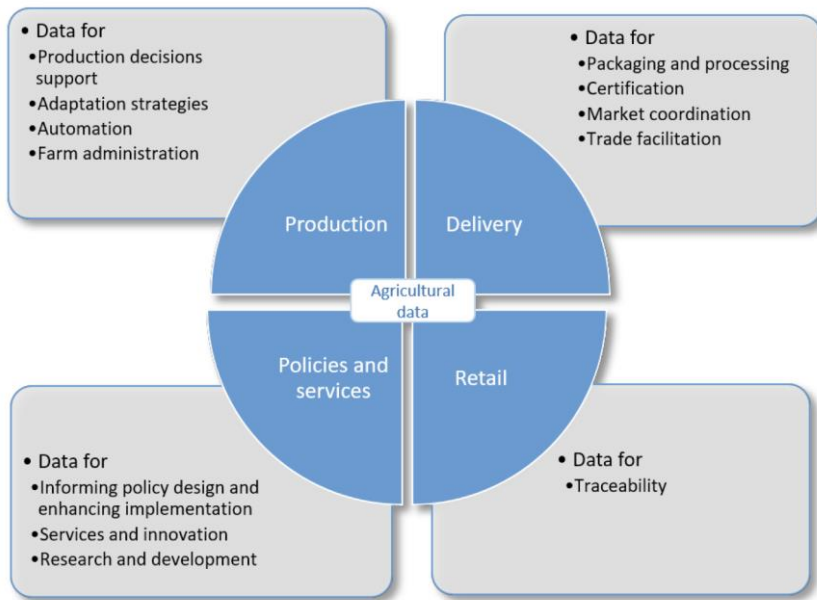
Bab 7

Keamanan dan Privasi Data pada Pertanian Berbasis IoT: Sebuah Tinjauan

Pertanian perlu dimaknai secara luas tidak terbatas pada pembudidayaan tanaman, namun luas hingga kepada peternakan. Seperti makna *farming*, bahasa Inggris dari pertanian, bermakna luas hingga kepada tata kelola perkebunan dan peternakan, baik pada skala *urban farming* hingga *modern large farming*. Kini semakin berkembang, pertanian memanfaatkan teknologi informasi dan dikenal sebagai *precision farming*, *smart farming* dan *digital farming* (Bökle et al., 2022), dalam berbagai variasi pemanfaatannya seperti implementasi *Internet of Things (IoT)*, hingga penyediaan sistem *enterprise* dengan *cloud architecture*.

Implementasi teknologi IoT dalam pertanian, seperti sensor tanah, sistem irigasi otomatis, dan perangkat pemantau kesehatan ternak menghasilkan data akurat untuk pemantauan dan prediksi hasil produksi (Gaikwad et al., 2021). Nampaknya, akurasi data IoT dan respons yang tepat menjadi napas ekstra bagi dunia pertanian Indonesia yang terus mengalami penurunan (Anandita and Patria, 2017) terutama dari sisi cacah penduduk yang masih bersedia untuk menjadi petani.

Teknologi IoT dalam sektor pertanian menghadirkan banyak manfaat seperti peningkatan efisiensi operasional, peningkatan hasil produksi, dan pengelolaan sumber daya yang lebih efektif. Terlebih dengan semakin banyaknya perangkat IoT yang digunakan, ditambah keberadaan fitur *machine learning* (Rezk et al., 2021), jumlah data yang dihasilkan menjadi besar dan kaya akan informasi yang dapat digunakan untuk optimalisasi pengambilan keputusan pada kegiatan pertanian, seperti ditunjukkan pada Gambar 7.1.



Gambar 7.1 Data dan pemanfaatannya pada bidang pertanian menurut (Jouanjean et al., 2020)

Secara umum, sebagian besar petani di Indonesia adalah pemilik lahan kecil hingga menengah. Meski demikian, kesadaran akan pentingnya keamanan dan privasi data dalam pertanian berbasis data (Ouafiq et al., 2021) dari teknologi IoT tetap relevan. Seiring dengan adopsi teknologi, muncul ancaman keamanan siber yang berpotensi merugikan semua pihak (Demestichas et al., 2020).

Oleh karena itu, perlindungan data dan kesadaran akan risiko privasi adalah isu yang tidak bisa diabaikan oleh siapapun yang bergerak dalam teknologi pertanian, termasuk petani kecil di Indonesia. Di dalam tulisan ini, pendekatan keamanan dilakukan melalui pemahaman dasar keamanan informasi, yakni *security triad* sebagai usaha untuk memberikan solusi atas masalah tata kelola data pertanian yang belum cukup jelas dan cenderung terfragmentasi sehingga relatif sulit untuk membuat terobosan terintegrasi (Jouanjean et al., 2020).

7.1. Security Triad: Kerahasiaan, Integritas, dan Ketersediaan Data

Untuk memahami pentingnya keamanan data dalam pertanian berbasis IoT, kita dapat merujuk pada tiga pilar utama keamanan informasi, yaitu kerahasiaan, integritas, dan ketersediaan data.

Pertama, privasi dan kerahasiaan data (*Confidentiality*) perlu untuk mulai dipandang sebagai hal krusial di dunia pertanian. Hampir di semua bidang sebetulnya, sangat penting dalam melindungi data. Melalui keunggulan kompetitif yang tercermin pada data dan informasi, sebuah usaha pertanian membangun reputasi dan baiknya kualitas penyelenggaraan proses bisnis. Data pertanian yang meliputi informasi seperti kondisi tanah, prakiraan hasil panen, dan penggunaan input pertanian seperti rumusan pakan, pupuk, dan jenis data lain dapat menjadi faktor kunci keberhasilan usaha pertanian, terutama dalam skala yang lebih besar. Data-data semacam ini penting untuk dibatasi aksesnya agar pihak-pihak tertentu saja yang diizinkan untuk membacanya. Perlu disadari bahwa dalam pengelolaan data akan selalu ada resiko, yakni kebocoran data. Jika saja data-data tersebut jatuh ke tangan pihak lain, maka penggunaan datanya menjadi tidak lagi dapat terkontrol. Kasus-kasus seperti *profiling* atau bahkan disinformasi dapat digunakan untuk memanipulasi kondisi pasar yang tentu dapat berakibat

buruk kepada petani. Pertanyaan lanjutannya barangkali adalah mengenai kemungkinan para petani untuk berkolaborasi, bagaimana tata kelola pemanfaatan data bersama dalam kerja sama semacam ini?

Tantangan-tantangan semacam ini yang barangkali bagi petani modern perlu untuk ditilik lebih lanjut jawabannya. Mau tidak mau, pada saatnya nanti akan hadir situasi yang mengharuskan adanya kolaborasi. Sementara di saat ini, sebagian petani masih menggunakan mode tradisional, dengan sedikit petani yang sudah mulai masuk ke pola modern. Agaknya, masih *nafsi-nafsi*.

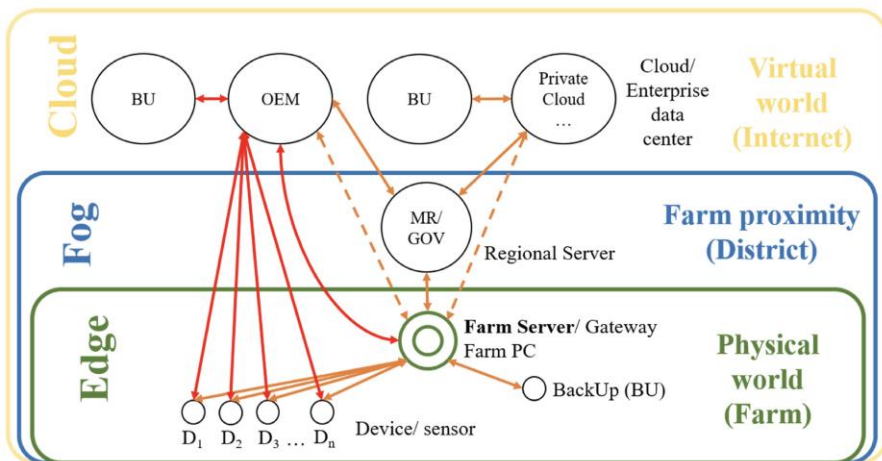
Pendefinisian kepemilikan data penting untuk dilakukan. Makalah dari (Jouanjean et al., 2020) membuka mata bahwa masih banyak tahap perlu dilakukan, baik dari sisi petani maupun pemangku kebijakan, dalam hal ini pemerintah. Menilik Indonesia, barangkali masalah masih di posisi yang sangat mendasar, yakni ketersediaan dukungan atas pupuk, harga beli pada panen raya, dan kepemilikan lahan yang terbatas. Agaknya sebagian merasa belum memiliki cukup energi untuk memikirkan data dan keamanannya.

Dalam konteks pertanian modern yang tumbuh di Indonesia, tidak ada pilihan lain kecuali menilik bahasan *confidentiality* di buku ini.

Kedua, integritas data (*Integrity*) juga merupakan elemen krusial dalam keamanan informasi pertanian. Integritas akan banyak membahas mengenai kualitas dan reputasi data. Dalam kaitan dengan data-data pertanian, integritas data akan dapat berupa validitas dan keakuratan angka-angka yang merupakan representasi dari situasi nyata di lapangan. Jika data pertanian diubah atau dimanipulasi, dampak lanjutannya adalah pengambilan keputusan yang tidak akurat. Sebagai contoh, jika data mengenai kesehatan tanaman atau kadar kelembaban tanah dimodifikasi, petani dapat salah dalam menerapkan pupuk atau

pestisida, yang pada akhirnya bisa menyebabkan kegagalan panen atau kerugian besar. Manipulasi terhadap data irigasi juga dapat menyebabkan kekurangan atau kelebihan air pada tanaman, yang berpotensi merusak produktivitas pertanian.

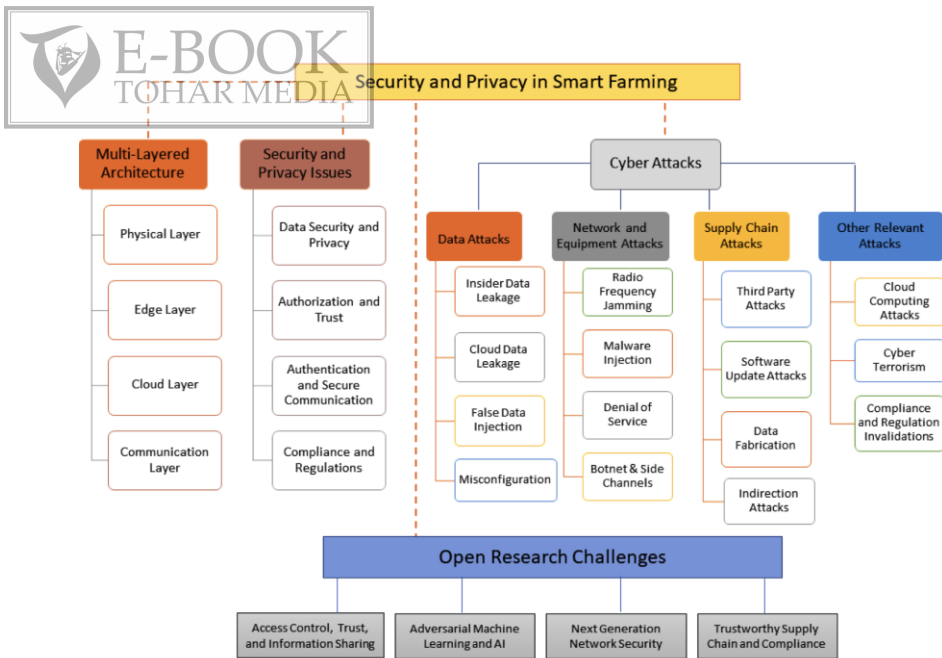
Menurut (Bökle et al., 2022), masa mendatang di saat kolaborasi makin kuat, integrasi beragam sistem informasi pertanian (*Farm Management Information Systems/ FMIS*) perlu dilakukan. Di Eropa, konsepsi-konsepsi interoperability mulai dikenalkan dengan dilengkapi penyelenggaraan sistem-sistem antara seperti *Agricultural Data Application Programming Toolkits (ADAPT)*. Sistem-sistem semacam ini digunakan untuk memastikan data-data akurat, terutama ketika diinteraksikan dengan data-data dari sistem lain seperti ditunjukkan pada Gambar 7.2.



Gambar 7.2 Arsitektur multilayer yang disodorkan oleh (Bökle et al., 2022)

Ketiga, aspek ketersediaan data (*Availability*) menekankan bahwa petani harus selalu memiliki akses yang tidak terputus ke sistem dan data yang digunakan dalam operasional pertanian. Kata kunci yang tepat untuk digunakan di sini adalah resiliensi (Bökle et al., 2022). Fitur-fitur dalam sistem, baik perangkat keras, perangkat lunak baik di sisi sensor maupun di komputasi awan

perlu dirancang dengan baik. Seperti pada pertambahan undang, fitur seperti *chatbot* nampak memudahkan petambak (Qardafil and Sujarwo, 2023). Diperlukan pula penghitungan cermat pada seberapa kuat sistem informasi dirancang dan dibangun agar memenuhi kebutuhan petambak, seperti seberapa kuat *backend* sistem, teknologi apa yang harus dipilih pada sisi *frontend* (Erdanto and Sujarwo, 2022). Demikian pula, banyak sistem IoT yang digunakan untuk mengotomatisasi di sisi proses bisnis pertanian di lapangan seperti irigasi, kontrol hama, dan bahkan pemanenan yang perangkat kerasnya juga harus dirancang dengan matang. Para petani didorong untuk terus menambah kapasitas dirinya, agar mampu mengikuti fitur-fitur baru pada teknologi yang digunakan, seperti konfigurasi perangkat misalnya. Petani harus membuat penyesuaian-penyesuaian agar profil pada perangkat sesuai dengan kondisi lahan pertanian agar rekomendasi sesuai dengan kebutuhan (Prakarsa and Sujarwo, 2021). Resiko lebih lanjut jika sistem mengalami kegagalan, atau bahkan terjadi kebocoran data, petani dapat saja kehilangan kendali atas operasional penting dari proses bisnis yang dijalankan. Tantangan-tantangan atas ketersediaan data diungkap oleh (Gupta et al., 2020) yang ditampilkan pada Gambar 7.3.



Gambar 7.3 Domain keamanan data pada bidang pertanian yang diklasifikasikan oleh (Gupta et al., 2020)

Tantangan lebih lanjut barangkali adalah bagaimana resiliensi sistem dalam sebuah serangan *ransomware*. Penjahat siber dapat mengambil alih perangkat IoT, atau bahkan infrastruktur cloud dan mengunci akses ke sistem. Dalam hal ini, proses produksi dapat betul-betul berhenti dan menyebabkan kerugian finansial yang bisa jadi tidak sedikit. Dengan demikian, memastikan ketersediaan data dan sistem IoT adalah kunci untuk menjaga kelancaran proses bisnis dan mencegah gangguan yang dapat merugikan industri pertanian.

7.2. Ancaman Keamanan Data Pertanian

Dalam implementasi *smart farming*, banyak pihak terlibat. Keterlibatan ini niscaya secara data disimpan oleh petani di dalam infrastruktur yang bisa jadi dimiliki oleh vendor (Gupta et al., 2020). Keterlibatan banyak pihak memerlukan regulasi yang cukup, yang nampaknya jika dilihat perlu ada pihak-pihak yang mampu dan mau membantu petani untuk merumuskan regulasi

dimaksud, seperti di Eropa yang telah memiliki GDPR (Kaur et al., 2022). Dalam skala tertentu, petani dapat secara mandiri membuat penyelenggaraan infrastruktur ketika tim ahli teknologi informasi dicukupi kebutuhannya. Dalam beberapa kasus nyata, serangan terhadap infrastruktur dan data pertanian berbasis IoT telah menyebabkan gangguan operasional dan kerugian finansial. Resiko serangan diungkap oleh (Sontowski et al., 2020) melalui makalah berjudul *Cyber attacks on smart farming infrastructure* dapat berupa *Denial of Service (DoS)*, yakni gangguan yang menyebabkan sistem baik di sisi sensor maupun di sisi *cloud* dipenuhi oleh permintaan berlebih tak terkontrol atas data-data yang dimiliki, juga pemalsuan sensor melalui beberapa metode.

Secara teori, sebuah serangan DoS terhadap sebuah sistem *greenhouse* berbasis IoT dapat menyebabkan kesalahan pembacaan suhu, yang akhirnya dapat merusak tanaman yang dibudidayakan. Dalam kasus lain, DoS dapat mempengaruhi pemantauan ternak yang menggunakan perangkat wearable deteksi lokasi berbasis IoT. Mestinya data lokasi dan kesehatan ternak melaporkan data ke sistem. Dikarenakan adanya serangan, pelaporan menjadi terganggu dan dapat berdampak lebih lanjut pada pencurian ternak atau profil kesehatan ternak yang salah. Sebaliknya, tanpa pengamanan yang cukup, setiap perangkat IoT dapat diambil alih untuk membangun serangan kepada pihak lain dalam sebuah serangan *Distributed Denial of Service (DDoS)*.

Terakhir, penggunaan penyimpanan berbasis *cloud* untuk menyimpan data juga memiliki risiko tinggi. Jika infrastruktur *cloud* diserang, informasi penting mengenai strategi bisnis pertanian yang bersifat rahasia dapat saja dicuri dan dimanfaatkan oleh pihak lain. Ini tentu memiliki dampak dalam produksi dan manajemen pasar dari petani.

7.3. Strategi Pengamanan Data

Sebagai respon atas resiko dan ancaman kebocoran data serta problem lain pada IoT dan pertanian modern, diperlukan pendekatan-pendekatan baik di sisi strategis maupun teknis. Seperti pada penetapan arsitektur pengolahan data yang melibatkan perangkat-perangkat lunak yang memiliki fitur keamanan informasi (Tan et al., 2020). Enkripsi juga dapat menjadi opsi (Song et al., 2020). Dalam sebuah arsitektur yang mengintegrasikan banyak komponen dan pihak, penyimpanan data yang baik perlu dilakukan. Praktik enkripsi dapat menjadi opsi agar data hanya dapat dibaca oleh pihak-pihak berizin. Praktik lain berupa pengamanan jaringan seperti diungkap oleh (Sontowski et al., 2020) dapat menjadi opsi yang dilakukan. Dalam makalahnya, Sontowski mengungkap beragam protokol jaringan dianalisis untuk menemukan pilihan-pilihan protokol yang tepat agar serangan siber dapat dihindari.

Lebih lanjut, praktik-praktik baik perlu untuk diikuti para penyelenggaras *smart farming*, antara lain: penyediaan pembaruan *firmware* sensor-sensor secara kontinu dengan memerhatikan jenis-jenis serangan yang terjadi, penggantian *password* berkala, implementasi enkripsi pada komunikasi perangkat, monitoring rutin pada setiap perangkat yang terhubung, dan terakhir menutup lubang-lubang keamanan setiap komponen penyusun perangkat, yang sangat mungkin setiap saat akan ditemukan lubang keamanan baru. Data pertanian yang diproduksi oleh perangkat-perangkat seperti IoT memegang peranan penting dalam pengembangan dan optimalisasi sektor pertanian modern. Karena valuasinya, data dapat menjadi target yang bernilai tinggi bagi pelaku kejahatan siber. Pelindungan terhadap kerahasiaan, integritas, dan ketersediaan data pertanian adalah langkah krusial yang harus diambil oleh para petani dan penyedia teknologi.



Dengan melindungi data yang dihasilkan oleh sistem IoT, petani tidak hanya melindungi proses bisnis pertanian dari gangguan, tetapi juga memastikan bahwa investasi teknologi memberikan hasil yang optimal. Implementasi langkah-langkah keamanan yang kuat dan kontinu akan membantu mencegah kebocoran dan penyalahgunaan data serta memberikan rasa aman bagi para pelaku industri pertanian di era modern ini.

Bab 8

Studi Kasus: Implementasi IoT di Berbagai Sektor Pertanian

8.1. Implementasi IoT di

Pertanian memiliki peran yang sangat penting dalam ekonomi global, bukan hanya dalam menyediakan pangan bagi populasi dunia yang terus bertambah, tetapi juga sebagai sumber utama penghidupan bagi masyarakat pedesaan. Meskipun demikian, sektor pertanian dihadapkan pada tantangan besar seperti perubahan iklim, keterbatasan sumber daya, dan kebutuhan untuk meningkatkan produktivitas agar dapat memenuhi permintaan yang semakin tinggi. Dengan perkiraan populasi global yang akan mencapai lebih dari 9 miliar jiwa pada tahun 2050, peningkatan produktivitas dan efisiensi pertanian menjadi sangat diperlukan untuk menjamin keamanan pangan bagi seluruh masyarakat.

Dalam menghadapi tantangan-tantangan tersebut, teknologi memiliki peran kunci dalam mentransformasi sektor pertanian, dan salah satu teknologi yang sangat berpotensi adalah Internet of Things (IoT). IoT adalah jaringan perangkat yang terhubung satu sama lain dan dapat mengumpulkan serta membagikan data secara real-time. Penggunaan IoT dalam pertanian dikenal sebagai pertanian pintar atau *smart farming*, yang memungkinkan petani membuat keputusan yang lebih tepat berdasarkan data yang akurat dan relevan.

Teknologi IoT memungkinkan berbagai elemen dalam proses pertanian untuk saling berkomunikasi dan mengotomatiskan banyak tugas. Sebagai contoh, sensor IoT yang dipasang di lahan pertanian dapat mengumpulkan data tentang kelembaban tanah, suhu, dan kondisi cuaca, yang kemudian dianalisis untuk mengoptimalkan penggunaan air dan nutrisi tanaman. Dengan demikian, penerapan IoT tidak hanya meningkatkan produktivitas, tetapi juga membantu menciptakan praktik pertanian yang lebih ramah lingkungan dengan mengurangi limbah dan mengoptimalkan penggunaan sumber daya.

Selain meningkatkan produktivitas, penerapan IoT di bidang pertanian juga menawarkan solusi untuk mengatasi ketidakpastian akibat perubahan iklim. Data yang dikumpulkan oleh perangkat IoT dapat membantu petani memprediksi kondisi cuaca, mengurangi risiko, dan menyesuaikan jadwal tanam serta panen. Oleh karena itu, teknologi ini berperan penting dalam membuat sektor pertanian lebih tangguh dalam menghadapi tantangan lingkungan yang berubah-ubah. Sehingga, penerapan IoT dalam sektor pertanian memiliki potensi besar untuk mengubah metode produksi dan manajemen pertanian, dari sistem tradisional yang mengandalkan pengalaman menjadi sistem yang lebih terukur dan efisien berbasis data. Transformasi ini diharapkan dapat meningkatkan ketahanan pangan secara global, mengurangi dampak negatif terhadap lingkungan, serta membantu petani dalam mencapai hasil yang lebih optimal. Oleh karena itu, pengembangan dan penerapan IoT di bidang pertanian tidak hanya penting untuk meningkatkan produktivitas, tetapi juga sebagai respons terhadap berbagai tantangan yang dihadapi sektor ini baik secara lokal maupun global.

8.2. Komponen dan Arsitektur IoT dalam Pertanian

Penerapan IoT di sektor pertanian mencakup berbagai komponen utama serta arsitektur yang dirancang untuk mengotomatisasi dan meningkatkan efisiensi produksi. Komponen-komponen ini berperan dalam pengumpulan, pengiriman, dan analisis data, sehingga petani dapat membuat keputusan yang lebih akurat. Berikut adalah penjelasan mengenai komponen dan arsitektur IoT dalam pertanian:

Komponen dan Arsitektur IoT dalam Pertanian

IoT dalam sektor pertanian terdiri dari beberapa komponen dan arsitektur utama, di antaranya adalah:

- a. Sensor dan Aktuator, merupakan komponen penting yang berfungsi untuk mengumpulkan data dari lingkungan pertanian. Sensor dapat mengukur kelembaban tanah, suhu, kelembaban udara, intensitas cahaya, dan bahkan kadar nutrisi dalam tanah. Sementara itu, aktuator digunakan untuk merespons data yang diperoleh, seperti mengaktifkan sistem irigasi otomatis ketika kelembaban tanah berada di bawah tingkat yang ditentukan (Mekala & Viswanathan, 2017).
- b. Perangkat konektivitas, seperti *gateway* atau modem, berfungsi sebagai jembatan antara sensor yang ada di lapangan dan pusat data. Teknologi jaringan yang sering digunakan mencakup Wi-Fi, Zigbee, LoRa, dan jaringan seluler (4G/5G), yang dapat menghubungkan perangkat IoT untuk mengirimkan data secara langsung (Dlodlo et al., 2016).
- c. *Platform* pengolahan data dan *cloud* adalah tempat di mana data yang dikumpulkan dari sensor dikirim untuk dianalisis. *Platform* ini menawarkan infrastruktur komputasi awan yang mampu menyimpan dan memproses data besar dengan efisien, serta menyediakan antarmuka untuk memantau hasil analisis secara langsung melalui perangkat seperti *smartphone* atau komputer (Rathore et al., 2018).

d. Perangkat lunak termasuk aplikasi analitik dan visualisasi data, berfungsi untuk memproses informasi yang dikumpulkan dari sensor. Perangkat lunak ini memanfaatkan algoritma kecerdasan buatan (AI) dan pembelajaran mesin untuk memberikan prediksi atau rekomendasi terkait aktivitas pertanian, seperti pemupukan atau penyiraman yang paling efektif (Kamilaris et al., 2016).

8.3. Studi Kasus: Implementasi IoT di berbagai sektor pertanian

8.3.1. *Smart Farming*

Smart Farm (SF) melibatkan integrasi teknologi informasi dan komunikasi ke dalam peralatan pertanian dan sensor yang digunakan dalam budidaya tanaman serta sistem produksi pangan. Di era teknologi maju ini, *internet of things* (IoT) bersama dengan berbagai instrumen elektronik seperti robot dan kecerdasan buatan, memungkinkan transformasi data dan komunikasi di berbagai sektor, mulai dari rumah pintar hingga perawatan kesehatan pintar, dan kini juga merambah ke sektor pertanian. Saat ini, para petani dapat memanfaatkan IoT untuk meningkatkan efisiensi pertanian, seperti dalam hal irigasi, pemupukan, informasi panen, dan prediksi cuaca, dengan bantuan sensor yang memungkinkan pemantauan secara *real-time* untuk mendukung pengambilan keputusan yang lebih baik. Inovasi ini memungkinkan petani untuk membuat keputusan yang lebih tepat dalam pengelolaan lahan, menggunakan sumber daya secara efisien, sehingga dapat meningkatkan hasil panen dan pendapatan Patil et al. (2020)

8.3.2. *Autonomous and Robotic Labor*

Untuk mengatasi masalah ini dan mendukung ketahanan pangan berkelanjutan serta pertanian modern, penggunaan robot dan tenaga kerja otonom menjadi solusi potensial. *Robotics and Autonomous Systems* (RAS) merupakan kumpulan perangkat elektronik dan mekanis yang dikendalikan oleh teknologi

perangkat lunak untuk menjalankan tugas-tugas tertentu, RAS berpotensi menjadi teknologi yang lebih efisien dan hemat waktu, namun saat ini masih menghadapi tantangan, seperti kinerja yang kurang optimal dalam kondisi cuaca ekstrem (Duckett *et al.*, 2018).

8.3.3. Traktor Tanpa Pengemudi

Pada abad ke-19, penggunaan traktor membawa revolusi besar dalam penanaman dan pemanenan tanaman pangan. Inovasi ini membuat kegiatan pertanian lebih mudah dan efisien, meskipun di beberapa jenis tanah seperti tanah liat berat, penggunaan traktor menyebabkan dampak negatif seperti pemadatan tanah. Revolusi ini menandai peralihan dari penggunaan hewan untuk pengolahan tanah dan transportasi (Fernández *et al.*, 2018). Traktor otomatis (tanpa pengemudi) yang dilengkapi dengan perangkat keras dan perangkat lunak khusus dapat beroperasi lebih efisien, memberikan perubahan besar dalam penggunaan mesin pertanian (A. Vroegindewij, W van Wijk and Henten, 2014).

8.3.4. Penyiraman dan Irigasi Otomatis

Pada era modern ini, *subsurface drip irrigation* (SDI) menjadi solusi penting untuk penggunaan air yang lebih bijaksana sesuai dengan kebutuhan tanaman. Meskipun demikian, sistem ini masih memerlukan pengawasan oleh operator. Untuk meningkatkan efisiensi dan memastikan tanaman mendapatkan jumlah air yang tepat, penggunaan SDI yang dipadukan dengan sensor kelembapan dapat membantu meningkatkan perkecambahan dan hasil panen (Zhang *et al.*, 2018).

8.3.5. Sensor Berbasis IoT untuk Penentuan Kelembapan

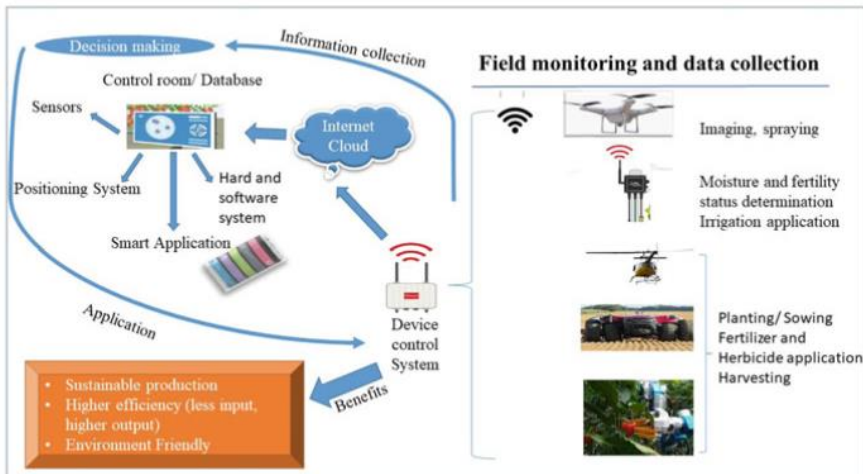
Untuk meningkatkan presisi dalam solusi pemanfaatan air berbasis IoT digunakan sensor khusus yang dipasang di tanah untuk pengumpulan dan pemrosesan data. Hal ini bertujuan

untuk mempersempit kesenjangan antara aplikasi komputer dan ilmu terapan.

Sistem irigasi pintar yang berbasis IoT mampu mensimulasikan kebutuhan irigasi tanaman dan lahan dengan memantau faktor edafik seperti suhu tanah, kelembapan, dan laju penguapan, serta suhu dan kelembapan udara. Selain itu, sistem ini juga dapat memprediksi kebutuhan air tanaman di masa mendatang dengan menghubungkannya dengan ramalan cuaca dari Internet di wilayah tertentu (Meeradevi *et al.*, 2019). Struktur sistem ini bergantung pada algoritma yang mendeteksi data sensor dan mengintegrasikannya dengan elemen cuaca seperti curah hujan, kelembapan, suhu, dan radiasi UV untuk membuat prediksi masa depan (Goap *et al.*, 2018).

8.3.6. Kesehatan Tanaman, Penyiangan, dan Penyemprotan

Integrasi dan penerapan pembelajaran mesin dan Kecerdasan Buatan (AI) memudahkan petani untuk mendeteksi petak yang sakit, serangan gulma yang parah, dan kesehatan tanaman melalui pemrosesan gambar berikut:



Gambar 8.4. Sketsa peta pemantauan pertanian melalui alat pemantauan berbasis komputer yang canggih (Patnaik and Editors, 2020)

8.3.7. Penanaman dan Penaburan

Pada awal 1960-an, mesin otonom mulai diperkenalkan dalam pertanian untuk keperluan penelitian dan pengembangan (Wilson, 2000). Dalam dekade terakhir, otomatisasi dan robotika diperkenalkan oleh negara-negara barat untuk mengatasi berbagai masalah, seperti luasnya area produksi, kenaikan upah tenaga kerja, serta tantangan kesehatan bagi pekerja yang harus bekerja dalam kondisi ekstrem.

Mesin pertanian saat ini membutuhkan lebih banyak energi untuk beroperasi, tetapi mekanisasi modern memiliki potensi untuk mengurangi konsumsi bahan bakar dan dapat bekerja lebih efisien dibandingkan mesin yang ada sebelumnya (Buning, E.A, 2010). Di samping itu, mesin pertanian modern seringkali berat dan dapat menyebabkan pemadatan tanah, sementara mesin yang lebih baru biasanya lebih kecil, ringan, serta lebih mudah untuk dikendarai dan dioperasikan.

8.3.8. Persiapan Persemaian hingga Penyemaian Ulang

Persiapan lahan merupakan aspek utama bagi setiap petani. Dalam pertanian konvensional, mesin berat digunakan untuk membalik dan memanipulasi tanah demi menciptakan persemaian yang halus. Meskipun robotika modern tidak mampu membalik tanah secara mendalam (seperti yang dilakukan oleh bajak pahat), penggunaan robot dan mesin ini tidak memberikan tekanan yang berlebihan pada permukaan tanah, sehingga tidak menyulitkan proses penaburan benih. Dengan demikian, penggunaan mesin dan robotika otonom yang konsisten dapat mengatasi hal ini.

Menaburkan benih ke dalam tanah, yang dapat dilakukan dengan menggunakan geoposisi benih di persemaian. Proses ini hanya memerlukan GPS RTK yang terhubung dengan bor benih dan sensor inframerah yang dipasang di bawah saluran. Saat benih dimasukkan ke dalam tanah, ia memotong sinar inframerah yang akan mengaktifkan pencatat data untuk

menavigasi posisi benih. Akhirnya, model kinematik sederhana menghitung posisi aktual penempatan benih. Penyemaian ulang umumnya dilakukan untuk menanam kembali benih akibat kegagalan perkecambahan atau penempatan benih yang tidak tepat sebelumnya. Dalam situasi ini, mesin dan robotika modern menjadi pilihan terbaik, karena *seeder* konvensional tidak dapat menjalankan tugas ini. Dalam penanaman berkelanjutan, hanya celah yang perlu diisi. Penanaman ulang atau pengisian celah juga berhubungan dengan fenomena ini. Sebuah *punchplanter*, yang menggunakan pemrosesan gambar dan identifikasi, dapat dimanfaatkan untuk tujuan ini (Almeida et al., 2019).

8.3.9. Penanaman dari Udara

Penanaman benih dari udara dilakukan terutama untuk area dengan luas yang signifikan, lereng curam, atau lokasi di mana penanaman benih sulit dilakukan. Metode penyemaian hutan dan penanaman awal sangat efektif jika menggunakan helikopter. Helikopter lebih efisien dibandingkan pesawat terbang untuk penyemaian karena dapat terbang lebih dekat dengan permukaan tanah dan lebih hemat biaya Anderson dan Gaston (2013).

8.4. Panen dari Ladang

Panen dari ladang mencakup pemetikan bagian tanaman yang secara ekonomi layak, berdasarkan ukuran, bentuk, warna, dan yang paling penting, tahap kematangan buah yang diinginkan. Penggunaan robotika dalam panen memiliki dua tujuan utama: (i) kemampuan robot untuk secara efisien mendeteksi bagian buah serta kualitasnya (yaitu kematangan), dan (ii) pemetikan buah tanpa merusak buah tersebut.

Robot pemetik yang digunakan biasanya dilengkapi dengan tiga kamera CCD; satu untuk penerangan dan dua lainnya untuk memberikan penglihatan stereo guna mendeteksi dan melokalisasi buah. Setelah buah terdeteksi, kamera ketiga (yang terpasang pada efektor ujung) digunakan untuk

mendeteksi tunas buah. Dengan data yang telah dikumpulkan sebelumnya, efektor ujung kemudian dimodifikasi melalui mekanisme kemiringan dan mampu menjangkau buah yang ditargetkan. Setelah berhasil menggenggam buah, buah yang terikat pada tunas dipotong menggunakan alat pemotong mirip gunting dan kemudian ditempatkan ke dalam baki (Yamamoto *et al.*, 2010).

8.4.1. Drone untuk Ladang

Drone adalah alat terbang otonom yang dapat terbang berdasarkan rencana yang telah ditentukan sebelumnya atau dikendalikan dari jarak jauh. Dalam konteks pertanian, *drone* terutama digunakan untuk pencitraan yang berguna dalam identifikasi gulma, pemetaan area tanam, aplikasi pupuk dan herbisida, serta pemantauan cuaca secara *real-time*. Drone dilengkapi dengan berbagai sensor yang digunakan untuk lepas landas, terbang, dan mendarat. Sensor seperti akselerometer, giroskop, kompas digital, dan barometer membantu drone mendeteksi gerakan (posisi dan kecepatan) selama penerbangan.

Dalam pertanian, *drone* dikendalikan melalui GPS, di mana sensor GPS mengambil informasi lapangan tertentu dari satelit geostasioner. Setidaknya diperlukan tiga satelit untuk menentukan garis bujur dan garis lintang, sedangkan satu satelit digunakan untuk mengukur ketinggian UAV. Data dari satelit ini kemudian digabungkan dengan data lain untuk meningkatkan presisi dan akurasi. Selain itu, kamera yang terpasang pada drone menjadi peralatan dasar dalam sebagian besar drone, menggunakan algoritma penglihatan untuk memungkinkan penerbangan secara otonom (Kyrkou *et al.*, 2019). Penglihatan ini sangat membantu dalam bidang pertanian, terutama dalam mengidentifikasi penyakit dan gulma serta memantau kesehatan tanaman (Alimuzzaman, 2016).

8.5. Tantangan, Peluang, dan Prospek Masa Depan

Smart farming memberikan manfaat besar bagi masyarakat pertanian melalui peringatan waktu nyata, dukungan dalam pengelolaan, dan penggunaan sumber daya pertanian yang tepat untuk mencapai produksi pangan berkelanjutan. Namun, penerapan sistem ini melibatkan teknologi inovatif yang mahal, dan masyarakat pertanian di negara-negara berkembang sering kali kurang menyadari manfaatnya. Tantangan utama yang dihadapi adalah ukuran lahan yang kecil, sehingga petani tidak dapat mengadopsi pertanian cerdas akibat pengetahuan dan keterampilan yang terbatas. Beberapa alasan utama yang diidentifikasi di negara-negara berkembang adalah sebagai berikut:

- a. Konektivitas internet. Pertanian cerdas sangat bergantung pada internet, yang berfungsi sebagai jembatan konektivitas antara perangkat komunikasi cerdas milik petani dan sensor berbasis lapangan untuk informasi dan manajemen waktu nyata. Namun, banyak desa dan komunitas pertanian tidak memiliki akses internet yang stabil, yang menghambat penerapan pertanian cerdas.
- b. Sinyal GPS. Pengiriman sinyal GPS seringkali sulit dilakukan di daerah tertentu seperti pegunungan, hutan, dan lahan dengan penanaman pohon yang rapat. Sistem ini perlu ditingkatkan untuk memungkinkan komunikasi dan peringatan yang lebih baik.
- c. Kebutuhan energi. Pusat pengumpulan dan pemrosesan data serta berbagai sensor berbasis IoT memerlukan pasokan energi yang cukup untuk berfungsi dengan baik. Sementara itu, negara-negara berkembang sering kali mengalami kekurangan sumber daya energi, yang dapat menjadi hambatan utama dalam penerapan pertanian cerdas.

d. Limbah elektronik. Dengan perkembangan teknologi yang pesat, perangkat keras yang usang perlu diperbarui seiring waktu, dan perangkat yang lama bisa menjadi tidak relevan. Masalah utama yang muncul adalah pengelolaan limbah elektronik yang dihasilkan selama fase pengembangan.



Bab 9

Tantangan dan Peluang IoT dalam Pertanian di Masa Depan

9.1. Produksi Pertanian

Pertanian dianggap sebagai fondasi bagi keberadaan manusia karena merupakan sumber utama makanan dan pendapatan bagi sebagian besar negara di seluruh dunia. Selain itu, pertanian merupakan penyumbang utama bagi perekonomian sebagian besar negara berkembang yang terus memberikan kontribusi besar terhadap produk domestik bruto (PDB) banyak negara, serta menyediakan mata pencaharian dan peluang kerja. Namun dalam beberapa tahun terakhir hasil panen di sektor pertanian belum mengalami kemajuan yang signifikan, harga pangan meningkat pesat karena hasil pertanian tidak memenuhi permintaan (Demestichas, Peppes, and Alexakis 2020)

Masalah produksi pangan menjadi tantangan yang sulit dari hari ke hari, seiring dengan pertumbuhan populasi penduduk setiap tahunnya dan permintaan produksi pangan yang semakin besar (Wardani et al. 2023) . Berdasarkan nilai prediksi terbaru, diperkirakan populasi dunia akan mencapai lebih dari 9 miliar dan peningkatan kebutuhan pangan sebanyak 70% pada tahun 2050 (Kim et al. 2019). Untuk melayani sebagian besar populasi ini industri pertanian harus memperluas semua kapasitasnya menuju produksi skala mega yang

menggabungkan berbagai teknologi dan mengotomatiskan semua tugas produksinya (Chowhan and Dayya 2019)

Upaya peningkatan produksi pertanian perlu merangkul *Internet of Things* (IoT) dan teknologi terkait untuk meningkatkan kinerja pertanian ke tingkat selanjutnya yang dikenal sebagai *smart farming* atau pertanian pintar. Pertanian pintar dapat dianggap sebagai penggabungan teknologi kolaboratif seperti Kecerdasan Buatan (AI), robotika, komputasi awan, data besar, fog, dan komputasi tepi bersama dengan IoT (Kodali and Sahu 2016). Dengan pesatnya pertumbuhan perangkat IoT di berbagai domain seperti perawatan kesehatan, militer, dan pengawasan; ukuran pasar pertanian pintar juga diharapkan tumbuh untuk memenuhi permintaan saat ini dan yang akan datang IoT Karena permintaan dan pengembangan teknologi IoT terkini (Kodali and Sahu 2016), domain pertanian pintar juga sedang berkembang, menciptakan peluang baru, bersaing dengan berbagai tantangan, dan menimbulkan banyak pertanyaan yang masih dicari jawabannya oleh industri dan peneliti.

9.2. Tantangan Penerapan IoT Bidang Pertanian di Masa Depan

Sebagian besar pengelolaan pertanian di abad ke-21 sering terhambat karena berbagai alasan, termasuk kurangnya kepercayaan pada teknologi, kelangkaan personel yang terlatih, dan biaya modal yang mahal. IoT memainkan peran penting sebagai penemuan baru yang memberikan solusi untuk semua masalah mendasar ini.

IoT memanfaatkan berbagai perangkat penginderaan yang terhubung melalui Internet melalui media komunikasi kabel dan nirkabel untuk mengoordinasikan sebagian besar pekerjaan lapangan dan mencakup berbagai komponen dengan fitur seperti presisi tinggi, akurasi tinggi, mobilitas, dan portabilitas yang memungkinkan pemrosesan dan pemantauan yang lebih cepat untuk mengurangi tantangan yang terkait

dengan pertumbuhan tanaman dan menghasilkan hasil panen yang lebih baik.

Media komunikasi nirkabel ini mencakup media komunikasi seluler seperti 2G, 3G, 4G, 5G dan 6G kemudian Wi-Fi, *Long Range Wide Area Network* (LoRaWAN), dan media komunikasi jarak pendek; misalnya Bluetooth dan ZigBee (Chowhan and Dayya 2019). Data yang dikumpulkan dari bidang pertanian dengan menggunakan perangkat IoT disimpan di cloud dan juga dibagikan antara mesin ke mesin, mesin ke orang, dan orang ke orang (Kodali and Sahu 2016). Prakiraan cuaca, pemantauan tanaman, pemantauan suhu tanah dan tingkat kelembapan tanah, penggunaan robot untuk panen dan penyiangian, pengelolaan hama, irigasi otomatis, penginderaan jarak jauh, penggunaan Kendaraan Udara Nirawak (UAV) semuanya terintegrasi dan didukung oleh IoT dan data yang diperoleh dari perangkat penginderaan IoT ini dikirim ke perangkat seluler milik petani, memberi tahu mereka secara real-time. Berdasarkan penelitian dan peningkatan kepadatannya, kita dapat mengatakan IoT adalah teknologi terbaik yang kita miliki. Oleh karena itu, kita mengandalkan teknologi IoT kedepannya, namun banyak tantangan dalam menerapkan sistem ini sepenuhnya di bidang pertanian.

9.3. Pengetahuan dan sikap terhadap adopsi teknologi

Pengetahuan dan sikap petani terhadap adopsi teknologi dapat berdampak negatif terhadap adopsi pertanian cerdas karena masih ada petani yang memilih bertahan dengan pertanian tradisional (Chowhan and Dayya 2019). Di sisi lain, kurangnya pengetahuan dan keterampilan dapat menghambat mereka dalam mengadopsi teknologi baru ini karena mereka tidak mampu memahami pro dan kontra secara komprehensif (Demestichas et al. 2020). Oleh karena itu, prosedur insentif yang tepat yaitu dengan memberikan pelatihan dan informasi terkait IoT agar petani lebih paham terkait penggunaan teknologi ini.

Petani harus mampu menjalankan tugas mereka menggunakan teknologi baru ini, tetapi tanpa pendidikan mereka tidak mampu melakukannya. Untuk mempelajari teknologi baru akan menghabiskan waktu dan merugikan mereka dalam profesi mereka. Petani yang belum mendapatkan pelatihan akan membutuhkan lebih banyak waktu untuk mempelajari teknologi ini. Oleh karena itu, untuk menerapkan IoT dengan benar, penting untuk mendidik dan melatih petani.

9.4. Keterbatasan Infrastruktur

Kelancaran integrasi IoT di bidang pertanian terhambat di daerah pedesaan karena kurangnya infrastruktur internet yang kuat. Seluruh potensi perangkat IoT, seperti sensor dan sistem pemantauan, masih belum tersedia bagi petani termasuk koneksi internet yang dapat diandalkan dan stabil. Penerapan IoT yang efektif dapat diandalkan pada transmisi data real-time dapat terganggu. Hal ini dapat membatasi potensi pengambilan keputusan dan pengelolaan sumber daya yang cepat.

Investasi dalam memperluas layanan internet ke daerah pertanian terpencil harus dilakukan melalui kemitraan antara lembaga pemerintah dan swasta. Memanfaatkan teknologi internet satelit mungkin merupakan jawaban yang layak, karena menawarkan jaringan yang lebih luas tersedia dan dapat diakses. Perangkat IoT pertanian dapat memperoleh manfaat dari pengembangan teknologi komunikasi berdaya rendah dan jarak jauh, yang dapat menjamin peningkatan efisiensi dengan mengorbankan konektivitas.

Membangun dan memelihara konektivitas menimbulkan serangkaian permasalahan tersendiri karena luas dan beragamnya lanskap pertanian pedesaan. Peternakan di lokasi terpencil dengan pemandangan perbukitan, lembah, atau ladang yang luas sering kali mengalami layanan internet yang tidak menentu atau buruk. Selain itu, integritas fisik perangkat IoT

mungkin berada dalam bahaya karena kondisi lingkungan buruk yang umum terjadi di wilayah tersebut.

Teknologi jaringan mesh adalah cara yang efektif untuk memecahkan masalah konektivitas di lokasi pertanian terpencil. Jaringan ini menyediakan komunikasi antar perangkat IoT, memungkinkan pembentukan jaringan yang kuat dan dapat memulihkan diri bahkan di lingkungan yang sulit. Selain itu, pengembangan perangkat Internet of Things yang tahan terhadap cuaca dan tangguh menjamin ketahanannya, sehingga memungkinkan perangkat tersebut bertahan dalam kondisi parah yang biasa terjadi di lingkungan pertanian yang terisolasi.

9.5. Keamanan dan Privasi

Integrasi teknologi IoT mentransformasi dunia pertanian dan membawa tantangan besar: melindungi data pertanian yang sensitif. Masalah ini muncul di beberapa bidang, dimana sifat data pertanian yang rumit dan bahaya pelanggaran data yang akan segera terjadi menciptakan hambatan serius terhadap kelancaran penerapan solusi pertanian cerdas menggunakan IoT di bidang pertanian.

Risiko pelanggaran data meningkat seiring dengan meningkatnya konektivitas yang dibawa oleh perangkat IoT. Pelanggaran data yang penting dapat membahayakan integritas perusahaan pertanian selain risiko finansial. Interkonektivitas perangkat IoT meningkatkan dampak pelanggaran data dalam berbagai aplikasi, termasuk manajemen rantai pasokan dan pertanian presisi, oleh karena itu tindakan perlindungan terhadap ekosistem data pertanian sangat penting.

Di era Internet of Things, kerangka keamanan siber yang kuat sangat penting untuk melindungi data pertanian. Hal ini memerlukan penerapan kontrol akses yang aman, protokol enkripsi, dan pemantauan jaringan IoT yang berkelanjutan. Petani dapat mengurangi bahaya akses ilegal dan pelanggaran

data dengan memperkuat perimeter digital mereka dan melindungi privasi dan keakuratan data pertanian mereka.

9.6. Biaya Implementasi

Hambatan utama yang menghalangi adopsi teknologi IoT di bidang pertanian adalah tingginya biaya untuk mengintegrasikan dan memelihara solusi IoT pertanian cerdas dalam operasi pertanian. Masalah ini mencakup tingginya biaya awal peralatan IoT, biaya operasional yang berkelanjutan, dan beban keuangan bagi petani, terutama mereka yang berada di lingkungan berpenghasilan rendah.

Penyebab utama tantangan biaya adalah besarnya investasi awal yang diperlukan untuk membeli dan memasang perangkat IoT di pertanian. Perangkat ini, yang harganya berkisar dari mesin canggih hingga sensor, seringkali mahal. Pengeluaran awal yang terkait dengan penerapan IoT dapat menjadi rintangan besar bagi petani yang sudah berjuang dengan anggaran terbatas dan margin keuntungan yang tipis, sehingga menghambat penerapan IoT secara lebih luas.

Strategi adopsi IoT secara bertahap diperlukan untuk mengatasi hambatan biaya. Beban keuangan petani dapat dikurangi melalui kemitraan antara pemerintah, organisasi pertanian, dan perusahaan teknologi yang menghasilkan hibah, subsidi, atau keuntungan finansial lainnya. Petani dapat memulai dari skala kecil dan membangunnya secara bertahap seiring dengan meningkatnya manfaat dan kapasitas keuangan mereka dengan menerapkan perangkat IoT yang skalabel dan fleksibel. Selain mendorong inovasi, pasar yang kompetitif untuk solusi IoT dapat menurunkan harga secara progresif dan meningkatkan aksesibilitas terhadap teknologi ini.

Hambatan utama dalam penerapan solusi IoT pertanian adalah tidak adanya protokol standar. Dalam Internet of Things, protokol berfungsi sebagai aturan yang mengatur cara perangkat berkomunikasi satu sama lain, menjamin transmisi dan analisis data yang efisien. Sayangnya, saat ini belum ada protokol komunikasi yang banyak digunakan dan ditetapkan untuk perangkat IoT di sektor pertanian. Perbedaan ini muncul karena produsen yang berbeda membuat perangkat IoT menggunakan protokol komunikasi yang berbeda, sehingga sulit untuk mengintegrasikannya secara lancar.

Pembentukan protokol umum, yang memungkinkan perangkat dari berbagai produsen untuk terhubung dengan mudah, adalah solusi inti untuk kesulitan interoperabilitas. Standardisasi ini memfasilitasi pengembangan ekosistem IoT yang kohesif dan efektif dengan mempromosikan interoperabilitas dan membuat proses integrasi bagi petani menjadi lebih mudah.

Ketidaccocokan Antar Berbagai Perangkat IoT: Karena berbagai perangkat IoT, masing-masing dengan fungsi yang berbeda, sering kali berjalan pada sistem milik sendiri, mungkin ada ketidakcocokan. Fragmentasi ini mempersulit berbagai perangkat untuk bekerja sama secara kolaboratif dan mencegah mereka untuk dengan mudah bertukar ide dan data. Salah satu cara penting untuk mengatasi masalah interoperabilitas adalah dengan mendorong adopsi platform sumber terbuka. Solusi sumber terbuka memberi berbagai perangkat IoT platform netral untuk bekerja sama, terlepas dari apakah mereka milik sendiri atau tidak. Platform ini dapat digunakan oleh petani untuk menggabungkan banyak perangkat menjadi sistem terpadu, mendorong pertukaran data dan memaksimalkan penggunaan investasi IoT mereka.

9.8. Peluang Penerapan IoT Bidang Pertanian di Masa Depan

Teknologi inovatif merupakan alat yang akan membantu meningkatkan efisiensi kegiatan pertanian. Hal-hal seperti traktor tanpa pengemudi, drone dan satelit, aplikasi seluler untuk pertanian, sensor berteknologi tinggi yang menghubungkan pembeli dan penjual dengan informasi penting terkait pertanian, dll. Pertanian cerdas IoT adalah teknologi pertanian paling terkemuka yang mengintegrasikan sensor dan analitik ke dalamnya. mengotomatisasi, memantau, meningkatkan dan meningkatkan operasi dan proses pertanian.

Hal ini difasilitasi oleh fenomena data besar, di mana sensor berkemampuan IoT mengumpulkan informasi tentang kelembaban tanah, cuaca, siklus pupuk, dll. dan mengirimkan data ini melalui Internet ke pusat analisis. Hal ini memungkinkan petani mengakses informasi real-time tentang cuaca, kimia tanah, peralatan pertanian, dan logistik. Solusi ini diimplementasikan di berbagai platform IoT (Ullo and Sinha 2021)

Penggunaan IoT merupakan solusi dalam pemetaan sumber daya berbasis sensor, pemantauan peralatan jarak jauh, pembuatan analisis prediktif untuk tanaman, pemantauan tanaman jarak jauh, pelacakan ternak, geo-fencing, prakiraan iklim, dll. Dengan menggabungkan berbagai sensor, perangkat yang terhubung dan objek pertanian, Internet of Things memungkinkan penerimaan yang lebih baik dan praktis

Pengenalan Internet of Things ke dalam sektor pertanian akan membantu meningkatkan efisiensi produksi, meningkatkan kualitas hidup penduduk, dan memecahkan masalah lingkungan, sehingga menjamin pembangunan industri pertanian yang berkelanjutan. Sektor pertanian secara tradisional dihadapkan pada sejumlah besar risiko. Ada banyak faktor, mulai dari data prakiraan cuaca yang tidak akurat dan irigasi yang tidak tepat, hingga penggunaan metode tanam dan panen yang salah serta kualitas tanah yang buruk. Semua ini,

tentu saja, berdampak negatif terhadap produktivitas secara keseluruhan. Penggunaan Internet of Things di bidang pertanian dapat mengurangi risiko dan ketidakpastian tersebut secara signifikan.

Penggunaan agro-sensor modern memudahkan pengguna memperoleh data yang sangat akurat secara real-time dari lahan di mana sensor tersebut dipasang. Berdasarkan informasi yang diperoleh, para spesialis dapat membuat keputusan penting, misalnya kapan harus mengairi, memanen, dll. Jika diatur dengan cara ini, akses sepanjang waktu terhadap semua informasi yang diperlukan akan berkurang, meminimalkan berbagai risiko dan memungkinkan produsen pertanian mengambil keputusan yang lebih akurat, tidak hanya dalam proses produksi, tetapi juga selama perencanaan (Demestichas et al. 2020)

9.9. Pengembangan Sistem Irigasi Berbasis IoT

Sumber daya air menjadi semakin terbatas di dunia modern. Air memiliki dampak yang signifikan terhadap produktivitas pertanian karena merupakan kebutuhan penting bagi pertumbuhan dan perkembangan tanaman. Jumlah kebutuhan air juga bervariasi pada siklus perkembangan tanaman. Teknologi IoT memungkinkan pemilihan teknik irigasi terbaik dengan mengubah pendekatan irigasi konvensional ke sistem modern dan berhasil mengatasi masalah kelangkaan air. Selain itu, dapat membantu meningkatkan hasil panen dengan membuat tanaman lebih tahan terhadap rebah.

Kurangnya pengelolaan air yang baik berdampak rendahnya produktivitas. Menurut penelitian, hampir 60% air yang dialokasikan untuk pertanian terbuang karena kejenuhan yang berlebihan, polusi, dan masalah terkait lainnya. Sering terjadi kasus kerusakan tanaman pertanian akibat penyiraman yang tidak mencukupi atau berlebihan. Masalah-masalah ini diselesaikan secara efektif dengan bantuan layanan data OGC

dari sensor yang mengumpulkan informasi dari operasi pengisian tangki untuk mengoptimalkan jadwal irigasi dan mengatur proses ini. Informasi yang diperoleh juga dievaluasi bersama dengan data kelembaban tanah dan kadar asam. Semua ini bersama-sama berkontribusi pada penggunaan sumber daya air yang terbatas secara lebih efisien.

(Wang et al. 2014)telah mengembangkan serangkaian sistem kontrol irigasi pertanian cerdas Berdasarkan GPRS DTU, yang dapat menyesuaikan irigasi berdasarkan kebutuhan pertumbuhan tanaman. Untuk rumah kaca sayuran, (Srbinovska et al. 2015)menyarankan arsitektur WSN. Efisiensi energi meningkat bila dikombinasikan dengan pengawasan sistem profesional dan tindakan yang sesuai, termasuk pengelolaan irigasi tetes dari jarak jauh. (Hou et al. 2012)mengembangkan sistem irigasi cerdas jarak jauh untuk kebun buah-buahan, dengan mempertimbangkan model pengembangan skala besar dari irigasi tetes kebun kontemporer dan kebutuhan konstruksi pertanian presisi. Sistem ini menggunakan ZigBee dan GPRS.

9.10. Monitoring Lingkungan Tumbuh Tanaman

Membangun IoT pertanian untuk memprediksi, mengkomunikasikan, dan mengukur berbagai informasi di lingkungan pertumbuhan sangat penting untuk memantau lingkungan pertumbuhan tanaman guna mengelola dan mengendalikannya. Berbagai macam sensor dapat digunakan untuk menangkap data lingkungan pertanian secara real time, termasuk intensitas cahaya, suhu tanah, kelembapan, konsentrasi CO₂, suhu udara, pH, dan kelembapan (Bu, Lv, and Wang 2009)

Perkembangan IoT di industri pertanian telah menjadi subyek di banyak penelitian. Untuk mencapai pemantauan dinamis lingkungan pertanian dari titik ke lapangan, (Du et al. 2016)menciptakan sistem pemantauan lingkungan pertanian yang menggabungkan data spasial Web GIS dengan data pemantauan Internet of Things. Dengan menggabungkan

teknologi WSN, GPS, dan tenaga surya, (Lin et al. 2015) menciptakan sistem pemantauan lingkungan nirkabel otonom yang memanfaatkan energi tanah untuk memungkinkan pemantauan jarak jauh terhadap lingkungan lahan pertanian dengan biaya rendah. (Hwang, Shin, and Yoe 2010) meningkatkan efisiensi produksi pertanian dengan sistem pemantauan lingkungan lapangan dengan tujuan mengumpulkan, mengirimkan, menyimpan, dan menganalisis data lingkungan produksi.

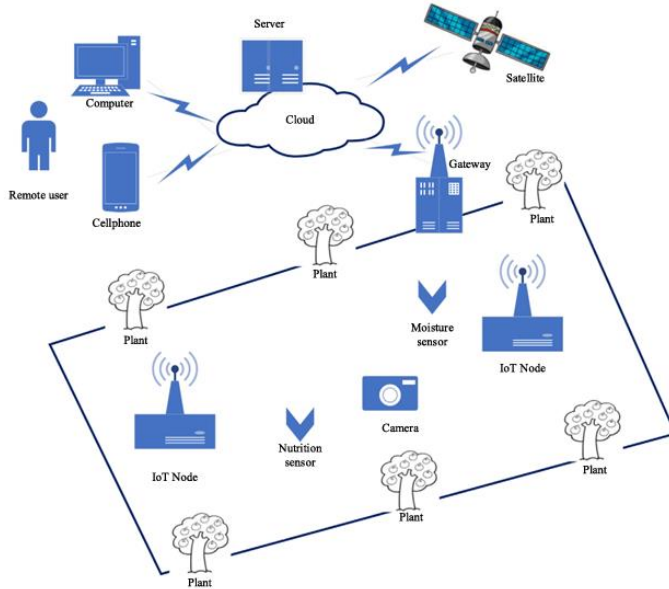
Pemanfaatan teknologi Internet of Things di sektor pertanian telah membuka peluang baru bagi pengembangan pertanian intensif yang ditandai dengan rendahnya rotasi tanaman dan penggunaan sumber daya yang tinggi. Platform sumber terbuka memungkinkan pengumpulan dan pembagian data secara cepat dari suatu lingkungan, meningkatkan dan menciptakan lingkungan serupa berdasarkan data yang diperoleh sehingga petani dapat secara artifisial menciptakan kondisi yang kondusif bagi pertumbuhan jenis tanaman tertentu.

9.10.1. Monitoring pertumbuhan tanaman

Pemanfaatan IoT dapat memberikan ringkasan data dan pemantauan pertumbuhan tanaman yang akan dikumpulkan, khususnya data internal (kandungan klorofil, nitrogen tanaman, laju fotosintesis, dll) dan data eksternal (penyakit dan hama, status pembesaran buah, luas daun dan lain lain) , Gambar 7 mengilustrasikan contoh standar sistem pemantauan informasi tanaman.

Dengan menyelidiki secara menyeluruh kondisi spesifik pertumbuhan jeruk, (Porto, Arcidiacono, and Cascone 2011) merancang sistem ketertelusuran jeruk berdasarkan teknologi IoT. Sistem ini dapat mencegah dan mengendalikan penyebaran penyakit tanaman jeruk sehingga pertumbuhan dapat ditingkatkan. (He Yong, Nie Peng Cheng, and Liu Fei 2013) merangkum pemantauan nutrisi tanaman, penyakit,

penginderaan, hama serangga, dan perolehan informasi kehidupan tanaman bersama dengan teknologi spektroskopi dan pencitraan resonansi magnetik nuklir. teknologi untuk persepsi informasi tanaman



Gambar 8.1. Sistem pemantauan informasi tanaman (Xu, Gu, and Tian 2022)

9.10.2. Mesin Pertanian Cerdas

Mesin pertanian cerdas memungkinkan pengoperasian mesin pertanian yang efisien, standar, nyaman, dan interaktif. Mesin ini dapat secara mandiri menyelesaikan penanaman, penaburan, pemindahan, pemupukan penyemprotan obat, pemberian pakan, irigasi, pemetikan, pemanenan, dan operasi lainnya. Ia juga dapat mengumpulkan informasi tentang tanah, kualitas air, tanaman, dan produk akuatik, yang memberikan dukungan teknis untuk penerapan pertanian presisi dan pembiakan sehat (Ma and Sun 2020)

Informasi layanan mesin pertanian yang cepat, akurat, dan komprehensif dapat diberikan dengan memperkenalkan IoT

ke dalam mesin pertanian. aplikasi dan penggunaan teknologi seperti penginderaan, penentuan posisi, dan jaringan nirkabel untuk membentuk terminal cerdas yang dipasang di kendaraan dan platform layanan jarak jauh untuk mesin pertanian.

Mesin pertanian modern sudah dilengkapi dengan traktor dan mesin self-propelled. Selain mengumpulkan data lahan dan tanah, traktor berteknologi tinggi ini dapat membantu penyiangan otomatis dan penyemprotan pestisida. Faktanya, sensor pada traktor pertanian otonom dapat menganalisis komponen nutrisi cair dan memastikan bahwa jumlah yang disemprotkan tepat. Traktor otomatis masih relatif baru dan mungkin menjadi lebih bertenaga di masa mendatang.

Para peneliti merancang sistem pemantauan dan manajemen jarak jauh dan sistem penggerak otomatis untuk kendaraan konstruksi berbasis pada mikroprosesor (STM32) (Liu 2019) Sistem ini mewujudkan fungsi seperti pengumpulan data posisi kendaraan, pelacakan rintangan otomatis, dan sebagainya. (Hu et al. 2015) menganalisis status penelitian dan permasalahan yang ada pada teknologi navigasi otomatis mesin pertanian dan membuat prospek untuk pengembangan mesin pertanian di masa depan. Mereka menunjukkan bahwa Tren utama dalam pengembangan teknologi navigasi otomatis mesin pertanian modern meliputi teknologi navigasi satelit yang berbasis pada kontrol kemudi otomatis mesin pertanian dan pengendalian halangan.

Penggunaan teknologi IoT di bidang pertanian difokuskan pada pemantauan dan kontrol cerdas. Meskipun IoT saat ini digunakan di bidang pertanian, beberapa batasan juga masih ada yang harus diatasi melalui penelitian di masa mendatang. Meskipun demikian, banyak penelitian telah dilakukan untuk menggunakan IoT terhadap berbagai elemen pertanian. Akan tetapi, teknologi IoT baru digunakan dalam beberapa operasi pertanian, bukan seluruh proses untuk saat ini.



Oleh karena itu, ketika IoT dimasukkan ke dalam seluruh proses pertanian, efisiensi dapat ditingkatkan secara signifikan.

Teknologi IoT di masa mendatang, akan memungkinkan seluruh siklus pertanian untuk dihubungkan dan diatur dengan lebih efisien, sehingga lebih cocok untuk pertanian skala besar daripada pertanian skala kecil, dan IoT akan menjadi komponen penting dalam pertanian skala besar. Hasilnya, penelitian di masa mendatang akan difokuskan pada penyematan IoT di seluruh proses pertanian, karena merupakan keharusan untuk bersaing dengan permintaan saat ini dan masa mendatang.

- A. Vroegindewei, B., W van Wijk, S. and Henten, E.J. Van (2014) 'Autonomous Unmanned Aerial Vehicles for Agricultural Applications', International Conference of Agricultural Engineering, (July), pp. 1–8.
- Ahamed, T. (ed.) (2023) IoT and AI in Agriculture: Self-sufficiency in Food Production to Achieve Society 5.0 and SDG's Globally. Tsukuba, Ibaraki, Japan: Springer Nature.
- Ajith Abraham, Sujata Dash, Joel J.P.C. Rodrigues, Biswaranjan Acharya, S.K.P. (ed.) (2021) AI, Edge and IoT-based Smart Agriculture Intelligent Data-Centric Systems. Series Edi. London, United Kingdom: Nikki P. Levy.
- Ala Al-Fuqaha, Mohsen Guizani, Mehdi Mohammadi, Mohammed Aledhari, and Moussa Ayyash. Internet of things: A survey on enabling technologies, protocols, and applications. IEEE Communications Surveys & Tutorials, 17(4):2347–2376, 2015.
- Alazzai, W.K. et al. (2024) 'Precision Farming: The Power of AI and IoT Technologies', E3S Web of Conferences, 491, pp. 0–5. Available at: <https://doi.org/10.1051/e3sconf/202449104006>.
- Ali, A. et al. (2023) 'Application of Smart Techniques, Internet of Things and Data Mining for Resource Use Efficient and Sustainable Crop Production', Agriculture (Switzerland), 13(2). Available at: <https://doi.org/10.3390/agriculture13020397>.
- Alimuzzaman, M. (2016) 'Agricultural Drone', (July 2015). Available at: <https://doi.org/10.13140/RG.2.1.1146.2247>.
- Almeida, R. F., & Costa, A. P. (2019). "Application of IoT in Agriculture for Disease Detection." Journal of Agricultural Science, 11(7), 78-89.

Anandita, D., Patria, K., 2017. Agriculture Challenges: Decline of Farmers and Farmland (Study from Indonesian Family Life Survey). *Jurnal Ilmu Ekonomi dan Pembangunan* 16. <https://doi.org/10.20961/jiep.v16i1.2314>

Anderson, K., & Gaston, K. J. (2013). "Lightweight unmanned aerial vehicles will revolutionize spatial ecology." *Frontiers in Ecology and the Environment*, 11(3), 138-146.

Ángel Giménez Pérez, M. et al. (2024) 'Precision Agriculture 4.0: Implementation of IoT, AI, and Sensor Networks for Tomato Crop Prediction', *Buletin Ilmiah Sarjana Teknik Elektro*, 6(2), pp. 172–181. Available at: <https://doi.org/10.12928/biste.v6i2.10954>.

Atzori, L., Iera, A. and Morabito, G. (2017) 'Understanding the Internet of Things: definition, potentials, and societal role of a fast evolving paradigm', *Ad Hoc Networks*, 56(October 2017), pp. 122–140. Available at: <https://doi.org/10.1016/j.adhoc.2016.12.004>.

Bhagat, S., Bhagat, A., & Suryawanshi, S. (2019). "IoT Based Smart Agriculture System." *International Journal of Engineering Research & Technology (IJERT)*.

Bökle, S., Paraforos, D.S., Reiser, D., Griepentrog, H.W., 2022. Conceptual framework of a decentral digital farming system for resilient and safe data management. *Smart Agricultural Technology* 2. <https://doi.org/10.1016/j.atech.2022.100039>

Brown, C., et al. (2020). *Integrating IoT and Precision Agriculture in Livestock Farming*. *Precision Agriculture and IoT Journal*.

Bu, T. R., L. X. Lv, and Wei Wang. 2009. 'Agricultural Environment Monitoring System Based on TinyOS Wireless Sensor Network'. *Agricultural Network Information* 2:23–26.

Buning, E.A. (2010) "Electric Drives in Agricultural Machinery- Approach from the Tractor Side", *Journal of Agricultural Engineering*, 47(3).

Chowhan, Rahul Singh, and Purva Dayya. 2019. 'Sustainable Smart Farming for Masses Using Modern Ways of Internet of Things (IoT) into Agriculture'. Pp. 189–219 in *Smart Devices, Applications, and Protocols for the IoT*. IGI Global.

Demestichas, K., Peppes, N., Alexakis, T., 2020. Survey on security threats in agricultural IoT and smart farming. *Sensors* 20, 6458.

Demestichas, Konstantinos, Nikolaos Peppes, and Theodoros Alexakis. 2020. 'Survey on Security Threats in Agricultural IoT and Smart Farming'. *Sensors* 20(22):6458.

Dhanaraju, M. et al. (2022) 'Smart Farming: Internet of Things (IoT)-Based Sustainable Agriculture', *Agriculture (Switzerland)*, 12(10), pp. 1–26. Available at: <https://doi.org/10.3390/agriculture12101745>.

Dlodlo, N., Foko, T., Mvelase, P., & Mathaba, S. (2016). "The Internet of Things in Agriculture for Sustainable Rural Development." *IEEE Conference on Emerging Technologies & Factory Automation*.

Du, Keming, Jinxiang Chu, Zhongfu Sun, Feixiang Zheng, Yu Xia, and Xiaodong Yang. 2016. 'Design and Implementation of Monitoring System for Agricultural Environment Based on WebGIS with Internet of Things'. *Transactions of the Chinese Society of Agricultural Engineering* 32(4):171–78.

Duckett, T. et al. (2018) 'Agricultural Robotics: The Future of Robotic Agriculture'. Available at: <http://arxiv.org/abs/1806.06762>.

Erdanto, A.N., Sujarwo, A., 2022. Improving Effectiveness of State Management Using Prop Drilling Pattern on Jala Tech's Financial Feature, Science and Education.

Erwin Erwin, Aulia Iefan Datya, Nurohim Nurohim, Sepriano Sepriano, Waryono Waryono, Iwan Adhicandra, Eko Budihartono, N.W.P. (2023) Pengantar & Penerapan Internet of Things: Konsep dasar & Penerapan IoT di berbagai Sektor. Edited by Efitra Efitra. PT. Sonpedia Publishing Indonesia.

Fernández, J. E., & Moreno, J. (2018). "Smart irrigation in horticulture: a review." *Agricultural Water Management*, 203, 186-197.

Gaikwad, S. V, Vibhute, A.D., Kale, K. V, Mehrotra, S.C., 2021. An innovative IoT based system for precision farming. *Comput Electron Agric* 187, 106291.

Garg, S., Rumjit, N.P. and Roy, S. (2024) 'Smart agriculture and nanotechnology: Technology, challenges, and new perspective', *Advanced Agrochem*, 3(2), pp. 115–125. Available at: <https://doi.org/10.1016/j.aac.2023.11.001>.

Getahun, S., Kefale, H. and Gelaye, Y. (2024) 'Application of Precision Agriculture Technologies for Sustainable Crop Production and Environmental Sustainability: A Systematic Review', 2024. Available at: <https://doi.org/10.1155/2024/2126734>.

Giovanni Valecce, Sergio Strazzella, Antonio Radesca, Luigi Alfredo Grieco. Solarfertigation: Internet of Things architecture for Smart Agriculture IEEE International Conference on Communications Workshops (ICC Workshops). 2019.

Goap, A. et al. (2018) 'An IoT based smart irrigation management system using Machine learning and open source technologies', *Computers and Electronics in Agriculture*,

- Gupta, M., Abdelsalam, M., Khorsandroo, S., Mittal, S., 2020. Security and privacy in smart farming: Challenges and opportunities. IEEE access 8, 34564–34584.
- H, G. et al. (2024) 'Precision Farming Solutions: Integrating Technology for Sustainable Pest Management', *Journal of Advances in Biology & Biotechnology*, 27(8), pp. 33–54. Available at: <https://doi.org/10.9734/jabb/2024/v27i81119>.
- He Yong, He Yong, Nie PengCheng Nie PengCheng, and Liu Fei Liu Fei. 2013. 'Advancement and Trend of Internet of Things in Agriculture and Sensing Instrument.'
- Hou, Jia Lin, Rui Hou, Dong Sheng Gao, and Huai Rui Shu. 2012. 'The Design and Implementation of Orchard Long-Distance Intelligent Irrigation System Based on Zigbee and GPRS'. *Advanced Materials Research* 588:1593–97.
- Hu, Jingtao, Lei Gao, Xiaoping Bai, Taochang Li, and Xiaoguang Liu. 2015. 'Review of Research on Automatic Guidance of Agricultural Vehicles'. *Transactions of the Chinese Society of Agricultural Engineering* 31(10):1–10.
- Hwang, Jeonghwan, Changsun Shin, and Hyun Yoe. 2010. 'Study on an Agricultural Environment Monitoring Server System Using Wireless Sensor Networks'. *Sensors* 10(12):11189–211.
- I.K.C. Arta, A. Febriyanto & I. Nugraha. (2022). Animal Tracking Based on the Internet of Things. *Scientific Journal of Electrical Technology*.
- IoT in Smart Farming (2024) [rethinkcleveland](https://rethinkcleveland.org/). Available at: <https://rethinkcleveland.org/> (Accessed: 12 October 2024).

Jha, K., Yadav, P. and Gupta, S. (2022) 'Role of Machine Learning and Internet of Thing in Agriculture- A Survey', Proceedings of 2022 IEEE International Conference on Current Development in Engineering and Technology, CCET 2022, pp. 1–4. Available at: <https://doi.org/10.1109/CCET56606.2022.10080222>.

Jones, J.W. et al. (2017) 'Brief history of agricultural systems modeling', *Agricultural Systems*, 155, pp. 240–254. Available at: <https://doi.org/10.1016/j.agys.2016.05.014>.

Jouanjean, M.-A., Casalini, F., Wiseman, L., Gray, E., 2020. Issues around data governance in the digital transformation of agriculture: The farmers' perspective.

Kamilaris, A., Prenafeta-Boldú, F. X., & Gao, F. (2016). "Agri-IoT: A semantic framework for Internet of Things-enabled smart farming applications." *Agricultural Systems*, 149, 80-95.

Karunathilake, E.M.B.M. et al. (2023) 'The Path to Smart Farming: Innovations and Opportunities in Precision Agriculture', *Agriculture (Switzerland)*, 13(8), pp. 1–26. Available at: <https://doi.org/10.3390/agriculture13081593>.

Kaur, J., Hazrati Fard, S.M., Amiri-Zarandi, M., Dara, R., 2022. Protecting farmers' data privacy and confidentiality: Recommendations and considerations. *Front Sustain Food Syst* 6, 903230.

Kim, Jeongeun, Seungwon Kim, Chanyoung Ju, and Hyoung Il Son. 2019. 'Unmanned Aerial Vehicles in Agriculture: A Review of Perspective of Platform, Control, and Applications'. *Ieee Access* 7:105100–115.

Kodali, Ravi Kishore, and Archana Sahu. 2016. 'An IoT Based Soil Moisture Monitoring on Losant Platform'. Pp. 764–68 in 2016 2nd International Conference on Contemporary Computing and Informatics (IC3I). IEEE.

Kumar Mishra, C. (2019) 'Post-harvest crop management system using IoT and AI', Chakshu; International Journal of Advance Research and Development, 4(5), pp. 42–44. Available at: www.IJARND.com.

Kumar, S., et al. "IoT-Based Smart Irrigation and Fertilization Systems for Sustainable Agriculture." *Journal of Environmental Management*. 2021.

Kumar, S., Tiwari, P. and Zymbler, M. (2019) 'Internet of Things is a revolutionary approach for future technology enhancement: a review', *Journal of Big Data*, 6(1). Available at: <https://doi.org/10.1186/s40537-019-0268-2>.

Kyrkou, C. et al. (2019) 'Drones: Augmenting Our Quality of Life', *IEEE Potentials*, 38(1), pp. 30–36. Available at: <https://doi.org/10.1109/MPOT.2018.2850386>.

Lima Manfaat Big Data Penuhi Kebutuhan Pangan Masa Depan (2019) *Bilingual News*. Available at: <https://www.berita2bahasa.com/berita/09/3141510-pertanian-4-0> (Accessed: 14 October 2024).

Lin, Fu-To, Yu-Chun Kuo, Jen-Chien Hsieh, Hsi-Yuan Tsai, Yu-Te Liao, and Huang-Chen Lee. 2015. 'A Self-Powering Wireless Environment Monitoring System Using Soil Energy'. *IEEE Sensors Journal* 15(7):3751–58.

Liu, J. Q. 2019. 'Design and Implementation of Agricultural Machinery Automatic Driving System Based on Stm32'. China: North China Institute of Aerospace Engineering.

M. Hermann, T. Pentek, and B. Otto. Design principles for industrie 4.0 scenarios. In 2016 49th Hawaii International Conference on System Sciences (HICSS), pages 3928–3937, Jan 2016.

Ma, Y. Q., and X. Sun. 2020. 'Intelligent Agricultural Machinery Equipment and Technology'. *Agric Equip Technol* 46(01):4-6.

Mana, A.A. et al. (2024) 'Sustainable AI-based production agriculture: Exploring AI applications and implications in agricultural practices', *Smart Agricultural Technology*, 7(May 2023), p. 100416. Available at: <https://doi.org/10.1016/j.atech.2024.100416>.

Mansaf Alam, Kashish Ara Shakil, S.K. (ed.) (2020) *Internet of Things (IoT): Concepts and Applications*. Switzerland: Springer Nature.

Meeradevi et al. (2019) 'Design of a Smart Water-Saving Irrigation System for Agriculture Based on a Wireless Sensor Network for Better Crop Yield', in A. Kumar and S. Mozar (eds) *ICCCE 2018*. Singapore: Springer Singapore, pp. 93-104.

Mekala, M. S., & Viswanathan, P. (2017). "A Survey: Smart Agriculture IoT with Cloud Computing." *Proceedings of the International Conference on Microelectronic Devices, Circuits and Systems (ICMDCS)*.

Mentsiev, A., Aygumov, T. and Abdurashidov, S. (2023) 'Using internet of things technologies to optimize agriculture and increase productivity', *E3S Web of Conferences*, 462. Available at: <https://doi.org/10.1051/e3sconf/202346201037>.

Misal, M., Jagtap, S. and Todkari, P.S.V. (2019) 'Post harvesting Onion Storage Methodology Using IOT', *Ijarcce*, 8(5), pp. 17-20. Available at: <https://doi.org/10.17148/ijarcce.2019.8504>.

Morchid, A. et al. (2024) 'Applications of internet of things (IoT) and sensors technology to increase food security and agricultural Sustainability: Benefits and challenges', *Ain*

- N Umami, A Hernawan, & IGPWW Wirawan. (2024). Application Of Linear Regression To Predict The Body Temperature Of Cattle Using Data From Smart Ternak PT Telkom Indonesia: Case Study In The Pengengat Village. *Journal of Information Technology, Computers and Their Applications*.
- Nguyen, V.D. et al. (2023) 'Digital and circular technologies for climate-smart and sustainable agriculture: The case of Vietnamese coffee', *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*, 1278(1). Available at: <https://doi.org/10.1088/1755-1315/1278/1/012003>.
- Ouafiq, E.M., Elrharras, A., Mehdary, A., Chehri, A., Saadane, R., Wahbi, M., 2021. IoT in smart farming analytics, big data based architecture, in: *Human Centred Intelligent Systems: Proceedings of KES-HCIS 2020 Conference*. pp. 269–279.
- Partha Pratim Ray. Internet of things for smart agriculture: Technologies, practices and future direction. *Journal of Ambient Intelligence and Smart Environments*, 9(4):395–420, 2017.
- Patil, A. S., & Patil, S. B. (2020). "Smart Irrigation System using IoT." *International Journal of Engineering Research and Technology (IJERT)*, 8(4), 1-5.
- Patnaik, S. and Editors, M.S.M. (2020) 'Village Technology', (February). Available at: <https://doi.org/10.1007/978-3-030-37794-6>.
- Porto, S. M. C., C. Arcidiacono, and G. Cascone. 2011. 'Developing Integrated Computer-Based Information Systems for Certified Plant Traceability: Case Study of

- Prakarsa, A., Sujarwo, A., 2021. Pemanfaatan Vue Js Pada Fitur Pengaturan Tambak Dalam Aplikasi Budi Daya Tambak Jala. *Automata* 2 (1).
- Priya, M.T. et al. (2023) 'IoT Based Smart Agriculture To Avoid Post Harvest Losses Using Machine Learning Algorithms', *Journal of Survey in Fisheries Sciences*, 10(4S), pp. 1130–1138. Available at: <https://sifisherliessciences.com/journal/index.php/journal/article/view/1163>.
- Qardafil, R., Sujarwo, A., 2023. Optimasi Kualitas Chatbot Jala Tech Melalui Implementasi Auto-GPT. *Jurnal Teknik ITS* 12 (2), 174–180.
- R Devitasari & KP Kartika. (2020). Design Of Automatic Cat Feeding Device Using Nodemcu Microcontroller Based On Internet Of Things (Iot). *Scientific Journal of Informatics Engineering*.
- R, J. et al. (2021) 'IoT based Smart Technology for Post-Harvest Handling in Agro Industry', (1). Available at: <https://doi.org/10.4108/eai.7-6-2021.2308853>.
- R. Nur Ariefin. (2023). Automatic Internet of Things Based Air Quality, Temperature and Cleanliness Monitoring System for Chicken Coops. *IMTechno: Journal of Industrial Management and Technology*.
- Rainer Drath and Alexander Horch. *Industrie 4.0: Hit or hype?*[industry forum]. *IEEE industrial electronics magazine*, 8(2):56–58, 2014.
- Rajak, P. et al. (2023) 'Internet of Things and smart sensors in agriculture: Scopes and challenges', *Journal of Agriculture*

- Rajiv (2024) What are the major components of Internet of Things, rfpape. Available at: <https://www.rfpage.com/what-are-the-major-components-of-internet-of-things/> (Accessed: 12 October 2024).
- Rathore, M. M., Son, N. T., & Ahmad, A. (2018). "Real-Time Data Analytics in Internet of Things: Applied for Smart Agriculture." *International Journal of Sensors Wireless Communications and Control*.
- Ray, P. P. (2017). "Internet of Things for Smart Agriculture: Technologies, Practices and Future Direction." *Journal of Ambient Intelligence and Smart Environments*, 9(4), 395-420.
- Rezk, N.G., Hemdan, E.E.-D., Attia, A.-F., El-Sayed, A., El-Rashidy, M.A., 2021. An efficient IoT based smart farming system using machine learning algorithms. *Multimed Tools Appl* 80, 773–797.
- Shahab, H. et al. (2024) 'IoT-based agriculture management techniques for sustainable farming: A comprehensive review', *Computers and Electronics in Agriculture*, 220(March), p. 108851. Available at: <https://doi.org/10.1016/j.compag.2024.108851>.
- Smith, A., & Jones, B. (2019). The Role of IoT in Livestock Monitoring and Management. *International Journal of IoT in Agriculture*.
- Song, J., Zhong, Q., Wang, W., Su, C., Tan, Z., Liu, Y., 2020. FPDP: Flexible privacy-preserving data publishing scheme for smart agriculture. *IEEE Sens J* 21, 17430–17438.
- Sontowski, S., Gupta, M., Chukkapalli, S.S.L., Abdelsalam, M., Mittal, S., Joshi, A., Sandhu, R., 2020. Cyber attacks on

- smart farming infrastructure, in: 2020 IEEE 6th International Conference on Collaboration and Internet Computing (CIC). pp. 135–143.
- Soussi, A. et al. (2024) 'Smart Sensors and Smart Data for Precision Agriculture: A Review', *Sensors*, 24(8). Available at: <https://doi.org/10.3390/s24082647>.
- Srbinovska, Mare, Cvetan Gavrovski, Vladimir Dimcev, Aleksandra Krkoleva, and Vesna Borozan. 2015. 'Environmental Parameters Monitoring in Precision Agriculture Using Wireless Sensor Networks'. *Journal of Cleaner Production* 88:297–307.
- Sun, J., Abdulghani, A. M., Imran, M. A. and Abbasi, Q. H. IoT Enabled Smart Fertilization and Irrigation Aid for Agricultural Purposes. In: 2020 International Conference on Computing, Networks and Internet of Things (CNIOT 2020), Sanya, China, 24-26 Apr 2020, pp. 71-75.
- Talaviya, T. et al. (2020) 'Implementation of artificial intelligence in agriculture for optimisation of irrigation and application of pesticides and herbicides', *Artificial Intelligence in Agriculture*, 4, pp. 58–73. Available at: <https://doi.org/10.1016/j.aiia.2020.04.002>.
- Tan, E.-K., Chong, Y.-W., Niswar, M., Ooi, B.-Y., Basuki, A., 2020. An iot platform for urban farming, in: 2020 International Seminar on Intelligent Technology and Its Applications (ISITIA). pp. 51–55.
- Ud Din, I. et al. (2019) 'The Internet of Things: A Review of Enabled Technologies and Future Challenges', *IEEE Access*, 7(December), pp. 7606–7640. Available at: <https://doi.org/10.1109/ACCESS.2018.2886601>.
- Ullo, Silvia Liberata, and Ganesh Ram Sinha. 2021. 'Advances in IoT and Smart Sensors for Remote Sensing and Agriculture Applications'. *Remote Sensing* 13(13):2585.

Wang, X. & Zhang, Y. (2018). IoT in Smart Farming Technologies: A Comprehensive Review. *Journal of Agricultural Informatics*.

Wang, Yong Tao, He Xi Zhang, Jia Chun Li, and Yan Ying Wu. 2014. 'Application and Research of Agricultural Irrigation Fertilization Intelligent Control System Based on Gprs Dtu'. *Applied Mechanics and Materials* 441:783–87.

Wardani, Dwika Karima, Victor Bintang Panunggul, Elisurya Ibrahim, Putri Laeshita, Yati Setiati Rachmawati, Firmansyah Firmansyah, Esty Puri Utami, Khaerana Khaerana, Sumiyati Tuhuteru, and Rr Aline Gratika Nugrahani. 2023. *DASAR AGRONOMI*. TOHAR MEDIA.

Wilson, J.N. (2000) 'Guidance of agricultural vehicles – a historical perspective', *Computers and Electronics in Agriculture*, 25(1), pp. 3–9. Available at: [https://doi.org/https://doi.org/10.1016/S0168-1699\(99\)00052-6](https://doi.org/https://doi.org/10.1016/S0168-1699(99)00052-6).

Xu, Jinyuan, Baoxing Gu, and Guangzhao Tian. 2022. 'Review of Agricultural IoT Technology'. *Artificial Intelligence in Agriculture* 6:10–22.

Y. A. Saputra, S. A. Wibowo & Y. A. Pranoto. (2023). Design Of Quality Control System At Cow Milk Storage Posts Using IoT-based RFID. *Journal of Informatics Engineering Students*.

Yamamoto, S. et al. (2010) 'Development of Robotic Strawberry Harvester to Approach Target Fruit from Hanging Bench Side', *IFAC Proceedings Volumes*, 43(26), pp. 95–100. Available at: <https://doi.org/https://doi.org/10.3182/20101206-3-JP-3009.00016>.

Yanna, S.M.P. (2024) UI/UX Case Study: Agriculture, Medium. Available at: <https://medium.com/@sitimahmudahpy/ui->



ux-case-study-agriculture-d9ac701ccd8c (Accessed: 14 October 2024).

Zhang, Q., & Zhang, Y. (2018). "A Smart Irrigation System Based on IoT Technology." Proceedings of the 2018 International Conference on Smart Agriculture.

Zhang, Y., et al. "Internet of Things (IoT) in Agriculture: Applications and Benefits." Journal of Smart Agriculture. 2018



Dr. Widyastuti Andriyani, S.Kom. M.Kom. lahir di Karanganyar, Surakarta pada Tanggal 17 Maret. Dengan latar belakang pendidikan Sarjana, Magister dan Doktor di bidang Komputer, telah memperoleh banyak pengalaman di Teknologi Informasi. Sejak tahun 2019, telah menjadi dosen di Program Studi Magister Teknologi Informasi, Universitas

Teknologi Digital Indonesia di Yogyakarta, yang berdedikasi, terus menerus melakukan riset, dengan fokus khusus pada bidang Sistem Cerdas. Riset ini mencakup berbagai aspek dalam pengembangan dan penerapan teknologi cerdas untuk meningkatkan kualitas kehidupan dan efisiensi dalam berbagai sector untuk menghadirkan inovasi baru yang dapat mengoptimalkan berbagai proses dan sistem dengan memanfaatkan kecerdasan buatan dan teknologi terkini. Dengan motivasi ini, terus berupaya untuk menjadi agen perubahan dalam mendorong kemajuan teknologi informasi dan menginspirasi generasi muda dan rekan sejawat untuk mengeksplorasi dan memanfaatkan potensi teknologi.



Inayatul Inayah, S.Si., M.Si lahir di Kota Demak pada tahun 1994. Ia mendapatkan gelar Magister Fisika pada tahun 2020 di Institut Teknologi Bandung melalui beasiswa LPDP. Sejak tahun 2021, ia telah tercatat sebagai dosen tetap program studi Fisika Institut Teknologi dan Sains Nahdlatul Ulama (ITSNU) Pekalongan. Selain mengajar, ia juga aktif dalam

kegiatan tridharma lainnya, yaitu penelitian dan pengabdian. Saat ini, ia sedang menempuh Pendidikan Doktor di Jurusan Fisika Institut Teknologi Bandung dan menjadi penerima beasiswa BPI-LPDP tahun 2023. Beberapa penelitian dan publikasi yang telah dilakukan berfokus pada bidang elektronika dan instrumentasi, *internet of things*, dan *machine learning*. Pada tahun 2022, ia berhasil mendapatkan dana hibah penelitian DIKTI (PDP) dengan judul Rancang Bangun Sistem Pemantauan Panel Surya Secara *Realtime* Berbasis *Internet of Things*, dan pada tahun 2023 & 2024 ia juga berhasil mendapatkan dana hibah Penelitian Kompetitif Nasional (PT-JH) dengan judul Pengembangan Sistem *Smart Agriculture* untuk Peningkatan Produktivitas Hasil Pertanian Berbasis *Internet of Things* dan *Machine Learning*. Selain aktif melakukan kegiatan penelitian dan pengabdian kepada masyarakat, ia juga aktif sebagai penulis buku dengan judul “*Artificial intelligence : konsep dasar dan kajian praktis*”, “*Algoritma Pemrograman*” dan “*Panduan Praktis Analisis Variabel untuk Peneliti*”. Ia juga aktif menjadi narasumber dalam kegiatan seminar maupun workshop.



Dr. Zahlul Ikhsan, SP., MP. lahir di Manna, Kab. Bengkulu Selatan pada tanggal 8 Juni 1990. Penulis lulus SDN 02 pada tahun 2002, lulus SMPN 2 Kab. Seluma pada tahun 2005 dan lulus SMA Muhammadiyah 1 Kota Palembang pada tahun 2008. Penulis memperoleh gelar Sarjana Pertanian (S1) pada Prodi Agroekoteknologi Fakultas Pertanian Universitas Andalas pada tahun 2012, memperoleh gelar Magister Pertanian (S2) pada Prodi Ilmu Hama dan Penyakit Tumbuhan Universitas Andalas pada tahun



2015, dan memperoleh gelar Doktor (S3) di Prodi Ilmu Pertanian Universitas Andalas pada tahun 2021. Penulis menjadi staf pengajar di Universitas Islam Indragiri, Riau pada tahun 2015-2019. Saat ini, penulis merupakan dosen tetap di Prodi Agroekoteknologi Universitas Andalas. Selain mengajar, penulis juga aktif dalam kegiatan penelitian, menulis dan melaksanakan pengabdian kepada masyarakat. Disamping menulis, ia juga aktif menumbuhkembangkan dan mengelola jurnal yang merupakan wadah publikasi artikel ilmiah. Penulis merupakan Editor in Chief pada Jurnal Riset Perkebunan (JRP) dan Andalasian International Journal of Entomology (AIJENT). Saat ini penulis juga menjadi Tim Pusat Pengembangan Jurnal dan Seminar Universitas Andalas. Selain itu, sebagai bentuk kecintaannya pada serangga, penulis juga aktif di Perhimpunan Entomologi Indonesia



Sheli Mustikasari Dewi, S.P., M.P.

Lahir di Tasikmalaya, 14 Oktober 1991. Lulus S2 di Program Studi Agronomi Fakultas Pertanian Universitas Padjadjaran tahun 2019. Saat ini sebagai Dosen dengan bidang keilmuan Budidaya Tanaman/Agronomi di Universitas Sali Al-Aitaam pada Program Studi Agroteknologi Fakultas Teknik.



Ahsanun Naseh Khudori, M. Kom, Lahir di Tulungagung pada tanggal 29 Juli 1988. Pendidikan dasarnya ditempuh di Madrasah Ibtidaiyah Miftahul Ulum Rejosari Kalidawir. Pendidikan Lanjut Tingkat Pertama ditempuh di Madrasah Tsanawiyah Sunan Kalijogo di desa kelahirannya. Ia juga menimba ilmu di Pondok Pesantren Ma'hadul 'ilmi Walamal (MIA) di Moyoketen Tulungagung sembari melanjutkan Sekolah Lanjut Tingkat Atas di SMK Veteran 1 Tulungagung. Gelar S1 diraihinya dari Universitas Islam Negeri Maulana Malik Ibrahim Malang pada jurusan Teknik informatika, sedangkan S2 ditempuh di Universitas Brawijya pada program studi Ilmu Komputer konsentrasi Rekayasa Perangkat Lunak. Saat ini, dia menjabat sebagai dosen tetap di Institut Teknologi Sains dan Kesehatan (ITSK) RS dr. Soepraoen Kesdam V Brawijaya Malang pada Prodi Teknik Informatika dan menjadi salah satu dosen pengampu matukuliah bisnis digital di Program Magister Manajemen Rumah Sakit (MMRS) Universitas Brawijaya Malang. Selain berprofesi sebagai dosen Ia juga aktif memberikan jasa pelayanan konsultan IT melalui PT Arkatama Multi Solusindo (<https://arkatama.id>) sekaligus founder AMD Academy Indonesia yang meluncurkan salah satu platform kursus online yaitu <https://edu.amdacademy.id/>. Ia juga aktif di organisasi social kemasayrakan Ikatan Sarjana Nahdlatul Ulama' (ISNU) Malang Kota. Untuk korespondensi Ia dapat dihubungi di 0812343111335. Email Penulis: ahsanunnasehk@gmail.com



M. Syauqi Haris, M.Kom. lahir di Kota Lamongan Jawa Timur pada 22 Februari 1985. Lulus dari Sarjana Ilmu Komputer Universitas Brawijaya pada tahun 2010 dan lulus dari Magister Ilmu Komputer Universitas Brawijaya pada tahun 2020. Berpengalaman lebih 10 tahun dalam industri pengembangan perangkat lunak dan saat ini aktif sebagai Kepala Program

Studi S1 Informatika di Institut Teknologi, Sains, dan Kesehatan (ITSK) RS dr. Soepraoen Malang. Selain menjadi dosen, penulis aktif sebagai CEO PT Narasumber Teknologi Indonesia, sebuah startup di bidang konsultan teknologi informasi dan digital marketing bagi koperasi dan UMKM sehingga seringkali diundang sebagai narasumber oleh berbagai instansi negeri maupun swasta sebagai trainer di berbagai acara bimbingan teknis maupun pelatihan bagi koperasi dan UMKM. Dalam penelitian, penulis aktif melakukan riset di bidang rekayasa perangkat lunak dan pembelajaran mesin. Pada tahun 2022, menerima hibah Penelitian Dosen Pemula (PDP) dengan judul Prediksi Prevalensi Stunting di Provinsi Jawa Timur dengan menggunakan Algoritma *Machine Learning*.



Ari Sujarwo, S. Kom. M.IT.

Berkecimpung intensif dalam dunia teknologi informasi sejak lebih dari 20 tahun lalu. Penulis menyelesaikan pendidikan Master of Information Technology Honours di Monash University, Melbourne, Australia pada 2013 setelah



menyelesaikan pendidikan sarjananya di Universitas Islam Indonesia, Yogyakarta.

Selain sebagai dosen di Program Studi Informatika, penulis juga diamanahi sebagai Kepala Bidang Operasi Sistem Informasi di bawah Badan Sistem Informasi, Universitas Islam Indonesia. Di posisi ini, Penulis berperan memimpin pengelolaan infrastruktur dan operasi (I&O) sistem informasi Universitas Islam Indonesia.

Penulis banyak terlibat di penelitian-penelitian dan pengabdian yang disponsori berbagai pihak baik internal Universitas Islam Indonesia maupun Direktorat Jenderal Pendidikan Tinggi, juga turut serta pada pengembangan dan implementasi sekolah kepemimpinan pendidikan tinggi di bawah bendera *Indonesian Higher Education Leadership Program (iHiLead)* yang disponsori oleh Erasmus+ dari Uni Eropa.

Kajian akademis penulis berfokus pada ranah *Information and Communication Technology for Development (ICT4D)* yang mengulas perencanaan, implementasi, dan dampak teknologi informasi dan komunikasi pada masyarakat. Juga, kajian-kajian teknologi dan implementasinya di dunia Islam merupakan bagian tak terpisahkan dari aktivitas akademiknya.



Safira Faizah, S.Tr.Kom., M.IT merupakan salah satu dosen Teknik Informatika di Universitas Global Jakarta, Depok, Indonesia. Ia memperoleh gelar sarjana (S.Tr.Kom) di bidang Manajemen Informatika, Politeknik Negeri Sriwijaya dan Magister (M.IT) di bidang Teknologi Informasi, Manajemen dan Sains University (MSU) Malaysia. Selain mengajar, ia juga aktif dalam kegiatan tridarma yaitu penelitian. Minat penelitiannya meliputi internet of things, aplikasi seluler, dan kecerdasan buatan. Ia dapat dihubungi di email: safirafaizah@jgu.ac.id.



Firmansyah, SP., M.Sc. lahir di Ujung Pandang, 29 Maret 1985. Ia menjadi Sarjana Pertanian pada tahun 2007 di Jurusan Agronomi, Universitas Hasanuddin dan mendapat gelar Master of Science di bidang Pemuliaan Tanaman, Universitas Gadjah Mada pada tahun 2013. Saat ini ia tercatat sebagai Peneliti di Pusat Riset Tanaman Pangan, Badan Riset Inovasi Nasional (BRIN). Sebelumnya ia pernah menjadi peneliti di Loka Penelitian Penyakit Tungro, Kementerian Pertanian. Penulis juga pernah menjabat sebagai Ketua Prodi Teknologi Tanaman Pangan pada Program Studi Diluar domisili Politeknik Pertanian Negeri Pangkep di Sidrap, Sulawesi Selatan dan pernah menjadi Assesor di Bidang pertanian dan peternakan, Lembaga Sertifikasi Profesi di bawah naungan Badan Nasional Sertifikasi Profesi (BNSP). Saat ini ia aktif dalam kegiatan penelitian khususnya perakitan varietas padi. Penulis pernah menerbitkan buku



diantaranya Biologi Molekuler, Biokimia dan Dasar Agronomi. Selain itu penulis aktif menulis di jurnal dan prosiding baik scope nasional maupun internasional terindeks scopus. Sebagai bentuk pengabdian masyarakat penulis beberapa kali diundang menjadi narasumber tentang produksi dan perbenihan padi.



TEKNOLOGI IoT PADA BIDANG PERTANIAN MODERN

Buku "Teknologi IoT pada Bidang Pertanian Modern" memberikan pandangan komprehensif tentang penerapan teknologi IoT di sektor pertanian, dimulai dengan memperkenalkan konsep dasar IoT dan relevansinya dalam revolusi pertanian modern. Buku ini kemudian membahas teknologi dan komponen utama IoT, seperti sensor, perangkat cerdas, dan jaringan komunikasi yang menjadi dasar sistem pertanian pintar. Fokus beralih ke aplikasi IoT dalam pemantauan tanaman, di mana sensor digunakan untuk mengukur kelembaban, suhu, dan kualitas tanah secara real-time. Buku ini mengeksplorasi sistem irigasi cerdas berbasis IoT yang secara otomatis mengatur penyiraman sesuai kebutuhan tanaman, serta menjelaskan bagaimana IoT membantu mengoptimalkan pemupukan dengan menyesuaikan dosis berdasarkan kondisi lahan. Pembahasan berlanjut pada manajemen peternakan terintegrasi IoT, yang memungkinkan pelacakan kesehatan dan produktivitas ternak melalui perangkat pintar. Buku ini juga menyoroti penggunaan IoT dalam pengelolaan pascapanen, memastikan kualitas dan ketepatan waktu distribusi hasil pertanian.

Topik analitik data dalam pertanian berbasis IoT, dengan penjelasan tentang bagaimana data besar dan kecerdasan buatan (AI) digunakan untuk mendukung pengambilan keputusan yang lebih baik. Isu keamanan dan privasi dalam sistem IoT pertanian juga dibahas, dengan menekankan pentingnya melindungi data pertanian dari ancaman siber. Buku ini juga mengidentifikasi tantangan yang dihadapi dalam penerapan IoT, seperti keterbatasan infrastruktur dan biaya, serta peluang yang dapat dimanfaatkan di masa depan dan merumuskan strategi implementasi IoT di pertanian modern, menawarkan panduan praktis bagi petani dan industri untuk beradaptasi dengan teknologi baru ini dan bagaimana IoT mengubah wajah pertanian modern.



No Anggota IKAPI : 022/SSL/2019
Workshop : Jl. Adiyaksa Baru, Ruko Zamrud Blok I No 9
Redaksi : Jl. Muhktar dg Tompo Kabupaten Gowa
Perumahan Nayla Regency Blok D No 25
Telp. (0411) 8987659 Hp. 085299993635
<https://toharmedia.co.id>

