



DOI: <https://doi.org/10.38035/jsmd.v3i4>  
<https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>

## Smart Coffee Farming: Inovasi IoT dan AI untuk Produktivitas Perkebunan Kopi

Rini Risanti<sup>1</sup>, Hasanah Tisna Amijaya<sup>2</sup>, Oktavia<sup>3</sup>, Ganjar Nurul Fajar<sup>4</sup>, Yayat Nurhidayat<sup>5</sup>

<sup>1</sup>STMIK Mardira Indonesia, [rini.risanti@gmail.com](mailto:rini.risanti@gmail.com)

<sup>2</sup>STMIK Mardira Indonesia, [hastie@stmik-mi.ac.id](mailto:hastie@stmik-mi.ac.id)

<sup>3</sup>STMIK Mardira Indonesia, [oktavia@stmik-mi.ac.id](mailto:oktavia@stmik-mi.ac.id)

<sup>4</sup>STMIK Mardira Indonesia, [ganjar.nurul@stmik-ac.id](mailto:ganjar.nurul@stmik-ac.id)

<sup>5</sup>Stebi Bina Essa, Indonesia, [yayat.nurhidayat@stebibinaessa.ac.id](mailto:yayat.nurhidayat@stebibinaessa.ac.id)

Corresponding Author: Email: [rini.risanti@gmail.com](mailto:rini.risanti@gmail.com)<sup>1</sup>

**Abstract:** *The agricultural sector plays a crucial role in supporting the national economy, particularly coffee as a key commodity introduced by Netherlands and widely cultivated in Indonesia. In West Java, coffee plantations such as those in Manglayang are mostly managed traditionally and depend heavily on weather conditions and limited water resources. Productivity often declines due to three main factors: uncontrolled seed processing leading to mold, uneven irrigation during dry seasons, and pest disturbances from wild animals. To address these issues, the implementation of Internet of Things and Artificial Intelligence is essential. Technologies such as soil moisture sensors, drone-based land mapping, and AI-driven animal recognition systems can improve monitoring, irrigation management, and pest control. These innovations enhance efficiency and support sustainable agricultural productivity.*

**Keywords:** *Agriculture, Internet of Things, Artificial Intelligence, Drone Observation.*

**Abstrak:** Sektor pertanian memiliki peran penting dalam perekonomian nasional, khususnya komoditas kopi yang berkembang sejak diperkenalkan oleh Belanda di Indonesia. Di Jawa Barat, perkebunan kopi seperti di Manglayang umumnya dikelola secara tradisional dan bergantung pada kondisi cuaca serta ketersediaan air. Produktivitas kopi sering menurun akibat tiga faktor utama: pengolahan benih yang tidak terkontrol sehingga rentan jamur, distribusi irigasi yang tidak merata saat musim kemarau, serta gangguan hama dari hewan liar. Solusi yang dapat diterapkan adalah pertanian berbasis Internet of Things dan Artificial Intelligence, seperti sensor kelembaban tanah untuk pembibitan, drone untuk pemetaan irigasi, serta sistem pengenalan hewan untuk pengendalian hama. Teknologi ini mampu meningkatkan efisiensi, monitoring, dan produktivitas perkebunan secara berkelanjutan.

**Kata kunci:** *Agriculture, Internet of Things, Artificial Intelligence, Drone Observation*

## PENDAHULUAN

Sektor pertanian masih menjadi bidang yang menjanjikan dengan pangsa pasar yang luas, khususnya pada komoditas kopi. Perkebunan kopi di Indonesia berkembang sejak masa kolonial oleh Belanda yang membawa bibit kopi dari Ethiopia dan kemudian beradaptasi menjadi varietas lokal. Jenis kopi yang umum dibudidayakan adalah arabika dan robusta, seperti Java Preanger di Pulau Jawa serta Lintong, Gayo, dan Sidikalang di Sumatra. Salah satu wilayah penghasil kopi utama adalah Jawa Barat, khususnya daerah Puntang di kaki Gunung Manglayang dengan ketinggian 800–1400 mdpl. Perkebunan di wilayah ini umumnya masih dikelola secara tradisional, dengan sistem irigasi yang bergantung pada sumber air pegunungan serta sangat dipengaruhi oleh kondisi cuaca. Pada musim kemarau, tanaman mengalami kekeringan, sedangkan pada musim hujan, kelebihan air dapat menghambat pertumbuhan dan menurunkan kualitas hasil panen. Selain itu, gangguan hama dari hewan liar seperti babi hutan dan kera juga menjadi faktor penyebab kerugian bagi petani.

Untuk mengatasi permasalahan tersebut, diperlukan penerapan konsep *Smart Agriculture* berbasis *Internet of Things* dan *Artificial Intelligence*. Teknologi ini mencakup penggunaan sensor untuk memantau pH dan kelembaban tanah, pemetaan lahan menggunakan drone, serta sistem deteksi hama berbasis kecerdasan buatan. Implementasi teknologi ini mampu meningkatkan efisiensi pengelolaan lahan, mendukung pengambilan keputusan berbasis data, serta meningkatkan produktivitas dan keberlanjutan pertanian (Wolfert et al., 2017; Zhang & Kovacs, 2012; Kamilaris & Prenafeta-Boldú, 2018).

Selain itu, penerapan teknologi berbasis IoT memungkinkan proses monitoring dilakukan secara *real-time* dan terintegrasi melalui sistem berbasis *cloud*. Data yang diperoleh dari sensor dapat dianalisis secara kontinu untuk memberikan rekomendasi tindakan yang lebih cepat dan tepat, seperti pengaturan irigasi otomatis dan deteksi dini terhadap potensi penyakit tanaman. Hal ini sejalan dengan konsep pertanian presisi (*precision agriculture*) yang bertujuan untuk mengoptimalkan penggunaan sumber daya secara efisien (Zhang & Kovacs, 2012).

Di sisi lain, pemanfaatan kecerdasan buatan dalam analisis data pertanian memberikan nilai tambah dalam proses pengambilan keputusan. Algoritma *machine learning* dapat digunakan untuk memprediksi pola cuaca, tingkat kesuburan tanah, serta potensi hasil panen berdasarkan data historis. Dengan demikian, petani tidak lagi hanya mengandalkan pengalaman tradisional, tetapi juga didukung oleh sistem berbasis data yang lebih akurat dan adaptif terhadap perubahan lingkungan (Kamilaris & Prenafeta-Boldú, 2018).

Integrasi antara IoT, AI, dan teknologi drone dalam sistem *Smart Agriculture* diharapkan mampu menjadi solusi inovatif dalam meningkatkan daya saing sektor perkebunan kopi di Indonesia. Selain meningkatkan produktivitas, teknologi ini juga berkontribusi terhadap keberlanjutan lingkungan melalui pengelolaan sumber daya yang lebih efisien serta pengurangan risiko kerusakan tanaman. Dengan demikian, transformasi digital di sektor pertanian menjadi langkah strategis dalam mendukung ketahanan pangan dan kesejahteraan petani di masa depan (Wolfert et al., 2017).

Meskipun sektor perkebunan kopi di Indonesia memiliki potensi ekonomi yang tinggi, praktik pengelolaan di lapangan masih didominasi oleh metode tradisional yang bergantung pada kondisi alam dan pengalaman petani. Keterbatasan sistem monitoring, irigasi, serta pengendalian hama menyebabkan produktivitas menjadi tidak stabil, khususnya pada wilayah perkebunan di Jawa Barat dengan karakteristik lahan pegunungan.

Berbagai penelitian menunjukkan bahwa teknologi berbasis *Internet of Things* dan drone mampu meningkatkan efisiensi pengelolaan pertanian melalui pemantauan berbasis sensor dan pemetaan spasial (Wolfert et al., 2017; Zhang & Kovacs, 2012). Drone yang dilengkapi sensor multispektral, hyperspectral, dan thermal dapat mengidentifikasi kondisi tanah, kesehatan tanaman, serta distribusi air secara akurat. Namun, implementasi teknologi ini masih terbatas pada fungsi tertentu dan belum terintegrasi secara menyeluruh dalam satu sistem.

Selain itu, penggunaan sensor berbasis jaringan seperti Wireless Sensor Network (WSN) memungkinkan pengumpulan data lingkungan secara real-time, seperti kelembaban tanah, pH, dan kondisi tanaman untuk mendukung pengambilan keputusan. Akan tetapi, penerapan teknologi ini masih menghadapi kendala dalam hal infrastruktur jaringan, konfigurasi sistem, serta penyesuaian dengan kondisi geografis lahan yang luas dan terfragmentasi.

Di sisi lain, penerapan Artificial Intelligence dalam bentuk animal recognition untuk mendeteksi hama dan hewan pengganggu masih menjadi tantangan, terutama dalam hal akurasi deteksi dan adaptasi terhadap kondisi lingkungan yang dinamis. Metode konvensional seperti perangkap listrik dinilai kurang efektif dan berisiko, sehingga diperlukan solusi yang lebih aman dan berbasis teknologi.

Dengan demikian, terdapat kesenjangan penelitian berupa belum adanya sistem Smart Agriculture yang terintegrasi antara IoT, AI, dan drone yang disesuaikan dengan kondisi lokal perkebunan kopi. Penelitian ini bertujuan untuk mengisi kesenjangan tersebut dengan mengembangkan sistem yang komprehensif, adaptif, dan aplikatif guna meningkatkan produktivitas serta keberlanjutan sektor pertanian.

Perkembangan Internet of Things dalam pertanian juga didukung oleh integrasi sistem berbasis cloud dan big data analytics yang memungkinkan pengolahan data dalam skala besar secara real-time. Menurut Ray (2017), penerapan IoT dalam smart farming tidak hanya meningkatkan efisiensi produksi, tetapi juga mendukung pengelolaan risiko pertanian melalui sistem prediksi berbasis data historis. Hal ini sejalan dengan konsep precision agriculture yang menekankan penggunaan teknologi untuk meningkatkan akurasi pengelolaan lahan.

Selain itu, penelitian oleh Tsouros et al. (2019) menunjukkan bahwa penggunaan drone dalam pertanian memberikan keunggulan dalam pemantauan tanaman secara cepat dan akurat, terutama pada area yang luas dan sulit dijangkau. Teknologi ini memungkinkan identifikasi dini terhadap stres tanaman, kekurangan air, serta serangan hama. Kemampuan drone dalam menghasilkan citra resolusi tinggi juga memperkuat analisis spasial dalam pengambilan keputusan.

Dalam konteks kecerdasan buatan, penerapan Artificial Intelligence semakin berkembang melalui penggunaan deep learning untuk klasifikasi tanaman dan deteksi penyakit. Penelitian oleh Mohanty et al. (2016) menunjukkan bahwa model deep learning mampu mengidentifikasi penyakit tanaman dengan tingkat akurasi yang tinggi, sehingga dapat membantu petani dalam melakukan tindakan preventif secara lebih cepat.

Lebih lanjut, teknologi Wireless Sensor Network (WSN) juga terus dikembangkan untuk meningkatkan efisiensi komunikasi antar perangkat di lahan pertanian. Menurut Jawad et al. (2017), WSN memainkan peran penting dalam pengumpulan data lingkungan secara kontinu, namun masih menghadapi tantangan dalam hal konsumsi energi dan kestabilan jaringan. Oleh karena itu, diperlukan optimasi sistem jaringan agar dapat mendukung implementasi smart agriculture secara berkelanjutan.

Selain aspek teknologi, beberapa penelitian juga menyoroti pentingnya faktor sosial dan ekonomi dalam adopsi teknologi pertanian. Menurut Lowenberg-DeBoer dan Erickson (2019), adopsi precision agriculture sangat dipengaruhi oleh tingkat pengetahuan petani, biaya investasi, serta dukungan kebijakan pemerintah. Hal ini menunjukkan bahwa keberhasilan implementasi teknologi tidak hanya bergantung pada inovasi teknis, tetapi juga pada kesiapan pengguna dan ekosistem pendukung.

Penerapan teknik komputer dalam sektor pertanian dapat digunakan sebagai solusi dalam pengamanan area perkebunan, khususnya pada wilayah yang berdekatan dengan hutan. Area ini memiliki tingkat risiko tinggi terhadap gangguan hewan liar seperti babi hutan dan kera yang sering merusak tanaman, terutama pada masa panen. Kerusakan yang ditimbulkan dapat berdampak jangka panjang terhadap produktivitas dan keberlanjutan pertanian.

Selama ini, petani umumnya menggunakan metode konvensional seperti perangkap listrik untuk mengatasi gangguan tersebut. Namun, metode ini dinilai tidak efektif, berisiko tinggi, serta berpotensi melanggar aspek etika dan hukum karena dapat membahayakan berbagai jenis hewan. Oleh karena itu, diperlukan solusi alternatif yang lebih aman dan berbasis teknologi.

Salah satu solusi yang dapat diterapkan adalah penggunaan sistem pengawasan berbasis kamera yang terintegrasi dengan Artificial Intelligence melalui metode animal recognition. Sistem ini bekerja dengan mendeteksi dan mengklasifikasikan objek secara otomatis menggunakan algoritma computer vision, sehingga mampu memberikan peringatan dini ketika hewan mendekati area perkebunan. Pendekatan ini tidak hanya lebih aman, tetapi juga lebih efektif dalam meminimalkan kerusakan tanaman serta mendukung praktik pertanian berkelanjutan (Kamilaris & Prenafeta-Boldú, 2018).

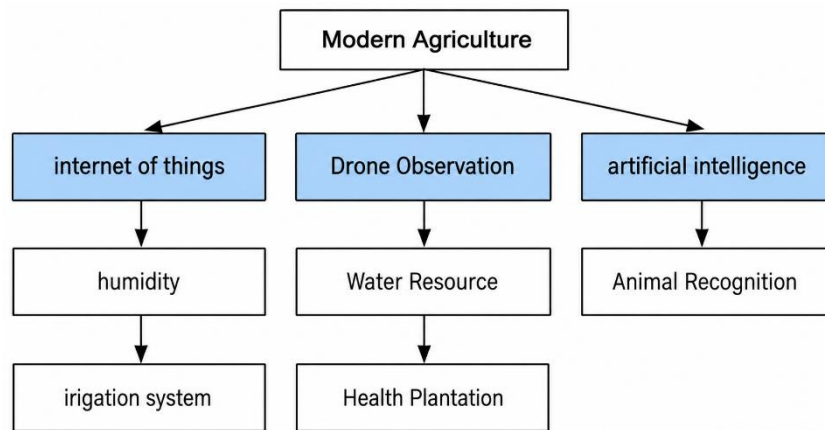
## **METODE**

Penelitian ini menggunakan pendekatan eksperimen dan rekayasa sistem (engineering research) yang bertujuan untuk merancang dan mengimplementasikan sistem Smart Agriculture berbasis Internet of Things dan Artificial Intelligence pada perkebunan kopi. Penelitian dilakukan di wilayah Jawa Barat, khususnya pada area perkebunan di kaki Gunung Manglayang. Tahapan penelitian dimulai dari analisis kebutuhan sistem yang mencakup identifikasi perangkat keras seperti sensor soil moisture, sensor pH, kamera, dan drone, serta perangkat lunak berupa algoritma machine learning untuk analisis data. Selanjutnya dilakukan perancangan sistem yang mengintegrasikan sensor IoT, drone untuk pemetaan lahan, serta sistem deteksi hewan berbasis computer vision dalam satu arsitektur terpusat (Ray, 2017; Tsouros et al., 2019).

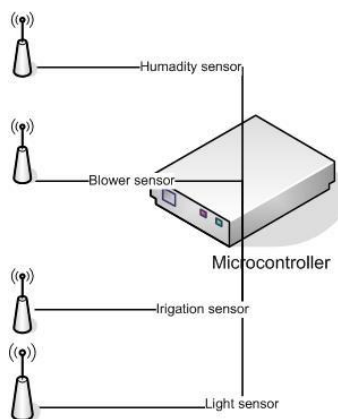
Implementasi sistem dilakukan dengan menghubungkan seluruh perangkat melalui jaringan komunikasi berbasis Wireless Sensor Network (WSN) sehingga memungkinkan pengumpulan data secara real-time dan berkelanjutan. Data yang diperoleh dari sensor dan drone kemudian disimpan dan diproses dalam sistem berbasis cloud untuk menghasilkan informasi yang akurat terkait kondisi tanah, distribusi air, serta keberadaan hama. Tahap pengujian dilakukan untuk mengukur kinerja sistem, meliputi akurasi sensor, efektivitas deteksi hewan, serta efisiensi pengelolaan irigasi. Analisis data dilakukan menggunakan pendekatan deskriptif dan machine learning untuk mengidentifikasi pola serta mendukung pengambilan keputusan berbasis data (Wolfert et al., 2017; Elijah et al., 2018).

Selain itu, penerapan algoritma deep learning dalam sistem deteksi hewan memungkinkan peningkatan akurasi klasifikasi objek secara signifikan, sehingga sistem mampu beradaptasi dengan berbagai kondisi lingkungan. Teknologi ini sangat penting dalam mendukung pengawasan area perkebunan yang berdekatan dengan hutan dan rentan terhadap gangguan hewan liar. Penelitian sebelumnya menunjukkan bahwa penggunaan AI dalam pertanian mampu meningkatkan efisiensi monitoring serta mengurangi kerugian akibat hama dan penyakit tanaman (Kamilaris & Prenafeta-Boldú, 2018; Liakos et al., 2018). Dengan demikian, integrasi teknologi IoT, AI, dan drone dalam penelitian ini diharapkan mampu menghasilkan sistem yang efektif, adaptif, dan berkelanjutan dalam meningkatkan produktivitas perkebunan kopi.

### **a) Analisis alat IOT**



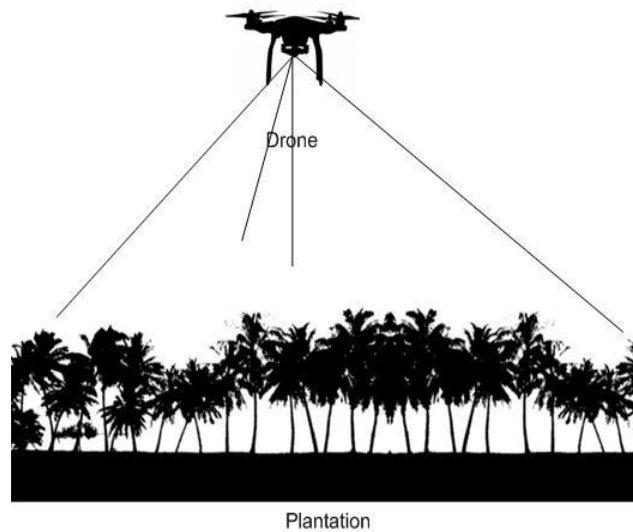
**Gambar 1. Modern Agriculture**



**Gambar 1.2 Greenhouse Monitoring system**

Pada gambar 1.2 adalah perancangan Pengukuran PH tanah dan sistem kendali alat penyiraman. pada bagian ini dibuat sebuah alat kendali berbasis IOT (Internet of things), alat ini terkoneksi dengan microcontroller, alat ini dibuat secara portable dan dibungkus dengan junction box yang berfungsi sebagai pelindung dan bisa digunakan dalam kondisi outdoor, cara kerja alat bisa dikendalikan dengan komputer atau perangkat mobile dan bisa diimplementasikan dengan bantuan alat sensor lainnya, sensor kelembaban tanah yang dipasang pada tiap sudut perkebunan kopi secara paralel atau dikoneksikan dengan greenhouse atau rumah penyimpanan biji kopi agar suhu ruangan terjaga sehingga kopi tidak menjadi berjamur dan lembab.

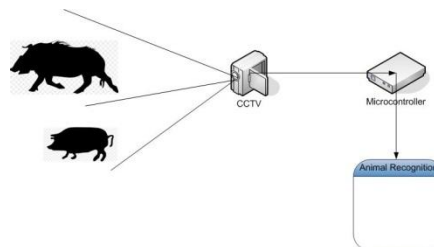
**b) Sistem Monitoring Kandungan dan Suhu Tanman**



**Gambar 1.3 Drone Observation**

Pada gambar 1.3 adalah sebuah sistem menggunakan teknologi drone yang digunakan untuk memonitoring suhu tanah perkebunan serta kandungan air. drone sendiri dipilih karena memiliki cakupan pengambilan gambar yang luas. output dari data ini adalah suhu tanah serta pemetaan jalur air secara otomatis oleh sistem sehingga bisa dipergunakan oleh petani sebagai rekomendasi pemetaan jalur irigasi.

**c) Animal Monitoring System**



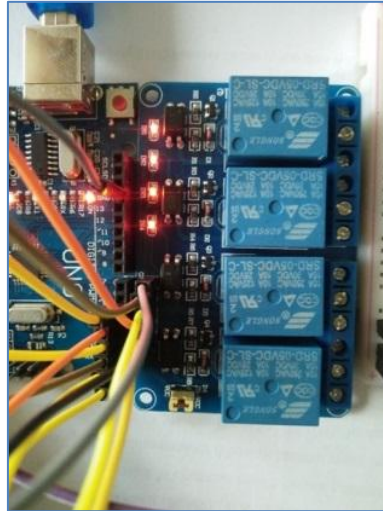
**Gambar 1.4 Animal Recognition system**

Pada gambar 1.4 adalah Sistem yang digunakan untuk mengendalikan hewan dan hama yang sering masuk keperkebunan, sistem ini biasa disebut sebagai peringatan dini, komponen alat menggunakan dua inputan yaitu dan sensor dan kamera, pada sensor digunakan alat deteksi gerak menggunakan teknologi PIR (*Passive Infrared*), sensor ini bisa dikatitkan dimalam hari, sedangkan yang lebih canggih bisa menggunakan kamera pengawas atau surveillance sistem, sistem ini dikoneksikan dengan sistem *animal recognition* yaitu sebuah sistem deteksi otomatis hewan pengganggu, sistem peringatan ini mampu mencegah hewan masuk ke area perkebunan dan lebih canggih karena sistem mengkalkulasikan tiper hewan dengan bantuan metode *artificial Intelegence*.

Pengujian yang kedua adalah untuk melihat lokasi kandungan air tanah dan suhu tanah, metode ini digunakan agar proses penggunaan sumber daya air menjadi efektif dan merata pada lahan kopi, metode ini bisa menggunakan rekomendasi foto citra udara, konsep citra udara ini digunakan karena memiliki jangkauan visual yang luas dan data mampu dintegrasikan dengan software *image processing*, data tanah yang kering akan di tampilan

dengan warna yang berbeda. pengujian yang kedua adalah penggunaan teknologi *animal recognition*, sistem ini dipasang untuk mengusir hewan pengganggu atau hama, sehingga penggunaan perangkat hewan bisa dihindari.

#### **d) Sistem Diteksi Kelembaban dan *monitoring Greenhouse***

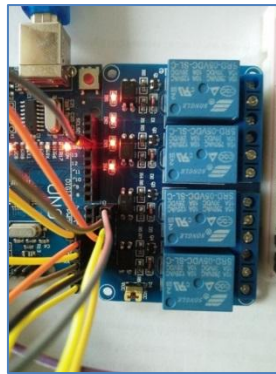


**Gambar 1.5 Perakitan Alat Microcontroler**

Pada gambar 1.5 adalah perakitan sebuah alat *microcontroller* yang terkoneksi dengan beberapa sensor, yaitu *sensor Ph*, *Soil Moisture*, dan sensor pengatur ketinggian air irigasi. Cara kerja sensor ini bekerja dengan menggunakan bantuan arus listrik sekitar 3 hingga 5 volt, alat dibuat secara portabel sehingga bisa dipasang dimana saja sesuai dengan kebutuhan, sebagai contoh bisa dipasang langsung di area perkebunan untuk monitong tanah, atau disimpan di *greenhouse* yang bisa digunakan untuk menanam benih serta bisa digunakan untuk mengatur ketinggian air irigasi.

### **HASIL DAN PEMBAHASAN**

Pada pengujian kali dilakukan beberapa tahanan pengujian, pertama adalah untuk membaca sensor Ph tanah, nilai Ph tanah merupakan hal penting untuk membaca kelembaban yang serta kandungan air. Pengujian yang kedua adalah untuk melihat lokasi kandungan air tanah dan suhu tanah, metode ini digunakan agar proses penggunaan sumber daya air menjadi efektif dan merata pada lahan kopi, metode ini bisa menggunakan rekomendasi foto citra udara, konsep citra udara ini digunakan karena memiliki jangkauan visual yang luas dan data mampu diintegrasikan dengan software *image processing*, data tanah yang kering akan di tampilan dengan warna yang berbeda. pengujian yang kedua adalah penggunaan teknologi *animal recognition*, sistem ini dipasang untuk mengusir hewan pengganggu atau hama, sehingga penggunaan perangkat hewan bisa dihindari.



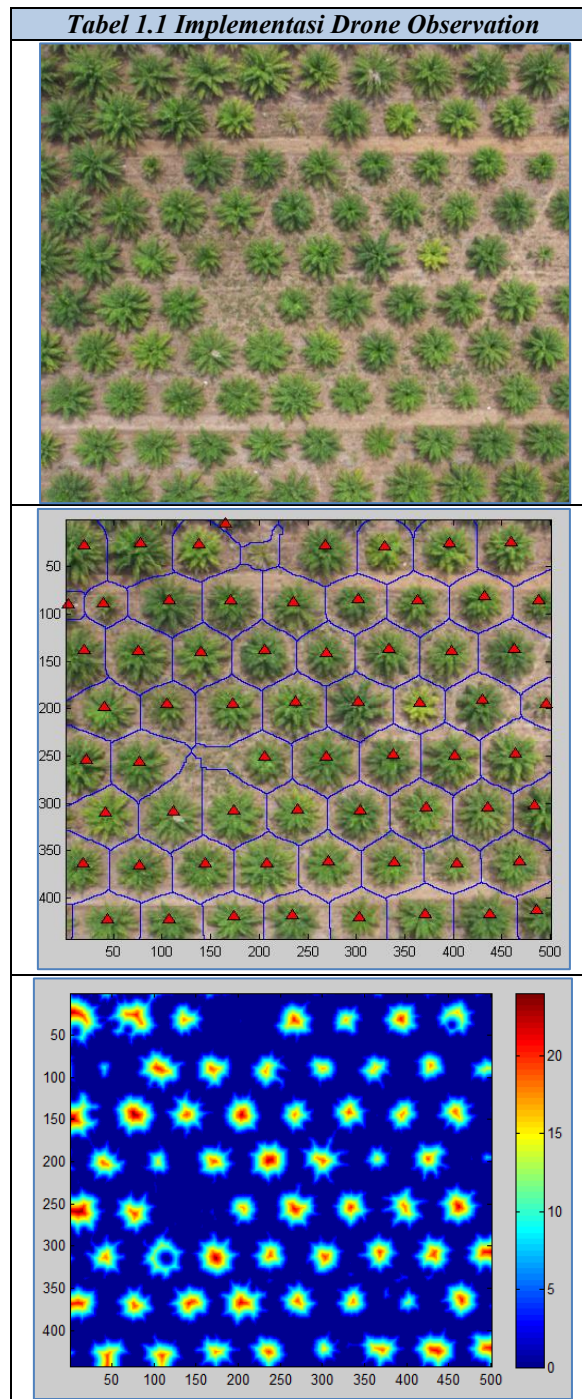
**Gambar 1.5 Perakitan Alat Microcontroler**

Pada gambar 1.5 adalah perakitan sebuah alat *microcontroller* yang terkoneksi dengan beberapa sensor, yaitu *sensor Ph*, *Soil Moisture*, dan sensor pengatur ketinggian air irigasi. Cara kerja sensor ini bekerja dengan menggunakan bantuan arus listrik sekitar 3 hingga 5 volt, alat dibuat secara portabel sehingga bisa dipasang dimana saja sesuai dengan kebutuhan, sebagai contoh bisa dipasang langsung di area perkebunan untuk monitong tanah, atau disimpan di *greenhouse* yang bisa digunakan untuk menanam benih serta bisa digunakan untuk mengatur ketinggian air irigasi.



**Gambar 1.6 Penggunaan Drone Monitoring Suhu Dan Kandungan Air.**

Pada gambar 1.6 diatas adalah penggunaan teknologi drone untuk memonitoring suhu dan kandungan air permukaan yang ada diperkebunan kopi, drone tersebut akan melakukan proses *scanning* secara menyeluruh, gambar yang diambil kemudian dikirimkan pada station kendali untuk diteliti, teknik penelitian ini menggunakan proses teknik pengolahan citra, koneksi drone menggunakan teknik komunikasi WSN (*Wireless sensor Network*) sehingga sistem komunikasi dan pengiriman gambar bisa dibuat secara cepat dan akurat.



Pada tabel 1.1 diatas adalah proses pengambilan data drone yang akan digunakan sebagai sample untuk mediteksi kesuburan tanah serta kandungan air yang ada pada area perkebunan. sistem ini berfungsi sebagai pengaturan dan memanajemen penggunaan sumber daya air, drone akan menampilkan derah aliran air serta saluran irigasi. Pada hasil pengujian terbagi kedalam tiga tahapan sesuai dengan pada tabel 1.1, pengambilan data diambil secara tegak lurus sesuai dengan kebutuhan penelitian, data gambar yang diambil harus dipastikan saat kondisi cuaca yang cerah agar kualitas gambar bagus dan tidak terhalang oleh objek yang lain. proses yang kedua adalah drone melakukan proses scanning pada tiap tanaman dengan memberikan tanda marking segitiga berwarna merah, sehingga jarak tiap tanaman bisa dibedakan, *algoritma artificial intelengece* akan malakukan proses perhitungan jarak dan penentuan derah aliran air, data tersebut bisa dijadikan oleh petani untuk rekomendasi memasang pipa dan saluran air,

algoritma ini menghitung dan mengkalkulasikan jarak yang efektif saat pemasangan pipa irigasi.

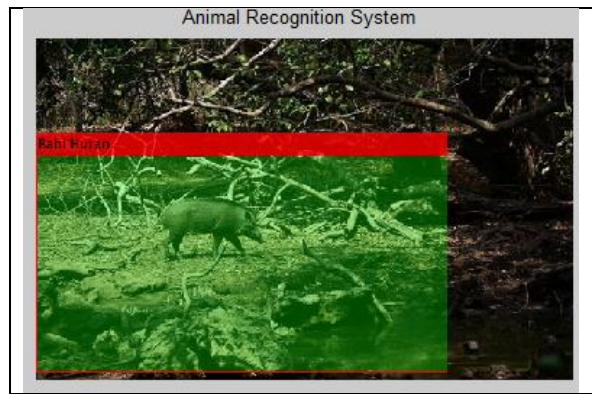
Pada proses yang ketiga adalah perhitungan suhu yang dilakukan oleh drone, aplikasi drone yang dipadukan dengan teknik *image processing* mengolah data gambar perkebunan dan merubahnya dengan kode warna, pada tabel pengujian terlihat suhu yang dimunculkan antara 0-20 ° bahkan lebih, data suhu ini bisa dipergunakan oleh petani untuk melihat kesehatan tanaman dan kandungan air yang terdapat pada tanaman, pada gambar terlihat beberapa kondisi tanaman memiliki suhu diatas 20 °C yang berarti tanaman perlu disiram atau dialiri air dari sumber irigasi.



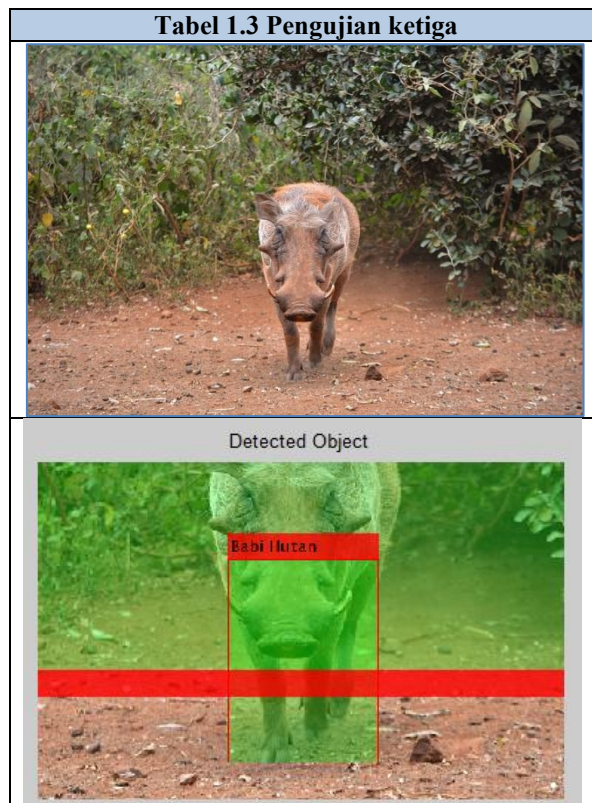
**Gambar 1.7 Penempatan System *Animal Recognition***

Pada gambar 1.7 diatas adalah proses penempatan camera surveilens sistem, implementasi diatas digunakan sebagai sistem pengusiran dan peringatan dini jika ada hewan pengganggu, sistem *animal recognition* ini lebih canggih karena mengenali jenis binatang dibandingkan menggunakan sistem peringatan yang hanya menggunakan sensor PIR (*passive Infrared*), sistem bisa opertasikan selama 24 jam atau diseting secara manual. sistem ini akan memberikan sebuah respons alarm atau suara jika terdapat hewan atau hama pengganggu berbeda dengan sensor PIR biasa. sistem bisa membedakan mana hewan pengganggu semisal babi hutan yang masuk pada area perkebunan sehingga sehingga sensor tidak sembarangan menyala.

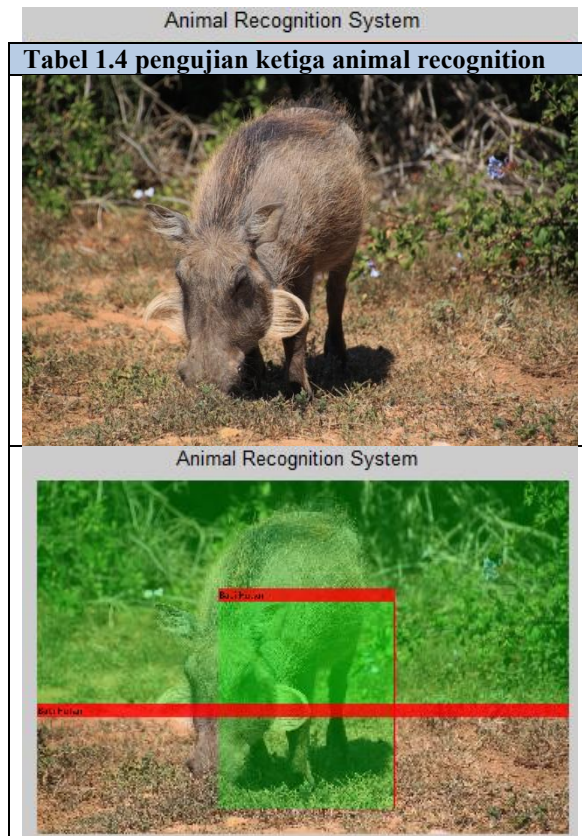




Pada tabel 1.2 diatas adalah data sample diteksi untuk melihat ada pergerakan hewan yang di indentifikasikan sebagai pengganggu yaitu babi hutan, hasil inputan data awal akan dikirimkan pada sebuah database, sistem kemudian melakukan teknik pencocokan pola dengan cara membandingkan ciri dan bentuk hewan, jika data mengindikasikan pengganggu atau hama maka sistem langsung menyala alarm atau warning berupa tampilan visual kotak berwarna merah .



Pada tabel 1.3 diatas adalah pengujian apakah sistem bisa mendeteksi binatang atau tidak dengan mengenali bentuk moncong hewan dan posisi hewan menghadap kamera langsung atau posisi hewan dalam keadaan diam. sistem *animal recognition* bisa menggunakan data *realtime* atau data sample yang pernah diambil sebelumnya, data pada pengujian diskenariokan dalam kondisi siang hari dan tidak bergerak.



Pada tabel 1.4 diatas adalah data sample yang digunakan untuk ujicoba dengan pengambilan gambar dari bagian samping. sistem *animal recognition* bisa mengenali hewan pengganggu dan memberinya marking berwarna merah, aplikasi bisa mengenali pola tubuh pada bagian samping dan memasukkannya kedalam kategori hewan pengganggu.



Pada Tabel 1.5 ditampilkan hasil pengujian sistem *animal recognition* secara acak. Berdasarkan hasil pengamatan, terlihat bahwa sampel hewan berupa babi liar keluar dari area hutan dan mulai mendekati wilayah perkebunan. Sistem secara otomatis melakukan analisis melalui proses *object tracking* dan memberikan tanda (*marking*) pada objek yang terdeteksi. Algoritma Artificial Intelligence yang digunakan mampu melakukan kalkulasi secara real-time untuk mengidentifikasi potensi ancaman terhadap area pertanian. Sistem membaca pola pergerakan hewan, arah mobilitas, serta jarak terhadap kamera pengamatan. Apabila hewan terindikasi memasuki area perkebunan, sistem akan memberikan peringatan visual berupa *marking* berwarna merah sebagai indikator bahaya. Hasil penelitian menunjukkan bahwa

penerapan sistem Smart Agriculture berbasis Internet of Things, drone, dan Artificial Intelligence mampu meningkatkan efektivitas monitoring dan pengelolaan perkebunan kopi. Penggunaan sensor IoT memungkinkan pengukuran kondisi tanah secara real-time, seperti kelembaban dan pH, sehingga pengelolaan irigasi dapat dilakukan secara lebih tepat dan efisien. Hal ini sejalan dengan penelitian Wolfert et al. (2017) yang menyatakan bahwa pemanfaatan data berbasis IoT dapat meningkatkan efisiensi penggunaan sumber daya dalam pertanian.

Hasil pengujian menunjukkan bahwa sistem animal recognition memiliki kemampuan deteksi yang cukup akurat dalam mengidentifikasi pergerakan hewan liar yang berpotensi merusak tanaman. Penggunaan teknik object detection dan tracking memungkinkan sistem tidak hanya mengenali objek, tetapi juga memantau pergerakan secara kontinu. Hal ini sejalan dengan penelitian Kamilaris dan Prenafeta-Boldú (2018) yang menyatakan bahwa penerapan deep learning dalam bidang pertanian mampu meningkatkan akurasi deteksi objek secara signifikan.

Selain itu, fitur marking berwarna merah sebagai indikator peringatan dini memberikan kemudahan bagi petani dalam mengambil tindakan preventif. Sistem ini lebih efektif dibandingkan metode konvensional seperti sensor gerak atau perangkap listrik, karena mampu memberikan informasi yang lebih spesifik terkait jenis ancaman dan tingkat risiko. Temuan ini juga didukung oleh Liakos et al. (2018) yang menjelaskan bahwa teknologi berbasis AI dapat meningkatkan efisiensi monitoring serta mengurangi risiko kerusakan akibat hama.

Integrasi sistem ini dengan teknologi Internet of Things memungkinkan data hasil deteksi dikirim secara real-time ke perangkat pengguna, sehingga respon terhadap ancaman dapat dilakukan dengan lebih cepat dan tepat. Selain itu, sistem ini juga berpotensi dikembangkan lebih lanjut dengan menambahkan fitur prediksi berbasis pola pergerakan hewan, sehingga dapat memberikan peringatan sebelum hewan benar-benar memasuki area perkebunan (Elijah et al., 2018). Namun demikian, terdapat beberapa keterbatasan dalam sistem, seperti pengaruh kondisi pencahayaan, cuaca, serta kemungkinan kesalahan deteksi (false positive) pada objek yang memiliki bentuk serupa. Oleh karena itu, diperlukan pengembangan lebih lanjut pada model algoritma agar mampu beradaptasi dengan berbagai kondisi lingkungan yang dinamis.

Selain itu, pemanfaatan drone dalam penelitian ini terbukti memberikan kemudahan dalam pemetaan lahan dan monitoring kondisi tanaman secara menyeluruh. Drone dengan sensor multispektral dan thermal mampu mengidentifikasi area yang mengalami kekurangan air maupun stres tanaman secara akurat, sehingga mendukung pengambilan keputusan berbasis data (Zhang & Kovacs, 2012). Temuan ini juga diperkuat oleh hasil kajian pada data lapangan yang menunjukkan bahwa teknologi drone mampu menggantikan metode monitoring manual yang kurang efisien.

Penerapan AI dalam bentuk animal recognition juga memberikan kontribusi signifikan dalam mengurangi kerusakan akibat hama hewan liar. Sistem ini mampu mendeteksi keberadaan hewan secara otomatis dan memberikan peringatan dini kepada petani. Dibandingkan dengan metode konvensional seperti perangkap listrik, pendekatan ini lebih aman dan tidak merusak ekosistem. Hasil ini sesuai dengan penelitian Kamilaris dan Prenafeta-Boldú (2018) yang menyatakan bahwa teknologi deep learning dalam pertanian memiliki tingkat akurasi tinggi dalam deteksi objek dan kondisi lingkungan.

Lebih lanjut, integrasi antara IoT, drone, dan AI menunjukkan adanya peningkatan efisiensi operasional secara keseluruhan, terutama dalam pengelolaan irigasi dan pengendalian hama. Sistem yang terintegrasi memungkinkan pengambilan keputusan secara cepat dan berbasis data, sehingga mampu meningkatkan produktivitas tanaman kopi. Hal ini didukung oleh penelitian Elijah et al. (2018) yang menekankan bahwa kombinasi IoT dan analitik data memberikan dampak signifikan terhadap peningkatan kinerja sektor pertanian.

Namun demikian, penelitian ini juga menemukan beberapa kendala dalam implementasi sistem, seperti keterbatasan jaringan komunikasi pada area pegunungan serta kebutuhan biaya awal yang relatif tinggi. Selain itu, tingkat pemahaman petani terhadap teknologi juga menjadi faktor penting dalam keberhasilan implementasi sistem. Temuan ini sejalan dengan Lowenberg-DeBoer dan Erickson (2019) yang menyatakan bahwa adopsi teknologi pertanian sangat dipengaruhi oleh faktor ekonomi dan kesiapan pengguna.

Dengan demikian, penelitian ini menegaskan bahwa penerapan Smart Agriculture berbasis IoT, AI, dan drone merupakan solusi yang efektif untuk meningkatkan produktivitas dan keberlanjutan perkebunan kopi. Namun, diperlukan dukungan infrastruktur, pelatihan, serta kebijakan yang tepat agar teknologi ini dapat diimplementasikan secara optimal di tingkat petani.

## KESIMPULAN

Penelitian ini menunjukkan bahwa penerapan sistem Smart Agriculture berbasis Internet of Things (IoT), drone, dan Artificial Intelligence (AI) mampu meningkatkan efektivitas monitoring, pengelolaan irigasi, serta pengendalian hama pada perkebunan kopi. Penggunaan sensor IoT memungkinkan pengumpulan data kondisi tanah secara real-time, sementara teknologi drone memberikan kemampuan pemetaan lahan yang lebih akurat dan efisien. Selain itu, implementasi sistem animal recognition berbasis AI terbukti mampu mendeteksi dan mengidentifikasi hewan pengganggu secara otomatis serta memberikan peringatan dini kepada petani. Sistem ini menjadi solusi yang lebih aman dan efektif dibandingkan metode konvensional karena tidak merusak ekosistem dan mampu mengurangi risiko kerusakan tanaman.

Secara keseluruhan, integrasi IoT, AI, dan drone dalam sistem Smart Agriculture memberikan kontribusi signifikan terhadap peningkatan produktivitas, efisiensi, dan keberlanjutan sektor pertanian. Namun, implementasi teknologi ini masih menghadapi tantangan seperti keterbatasan infrastruktur, biaya investasi, serta kesiapan sumber daya manusia, sehingga diperlukan pengembangan dan dukungan lebih lanjut agar dapat diterapkan secara optimal.

Implementasi sistem Smart Agriculture berbasis IoT, AI, dan drone memberikan beberapa implikasi penting bagi pengelola perkebunan dan pemangku kebijakan. Pertama, manajemen perkebunan dapat beralih dari pendekatan tradisional menjadi *data-driven decision making*, terutama dalam pengelolaan irigasi, pemantauan kondisi tanah, dan pengendalian hama. Kedua, penggunaan sistem monitoring real-time memungkinkan pengambilan keputusan yang lebih cepat dan akurat, sehingga dapat menekan risiko gagal panen.

Selain itu, teknologi *animal recognition* memberikan solusi pengamanan yang lebih aman dan berkelanjutan dibandingkan metode konvensional, sehingga mendukung praktik pertanian ramah lingkungan. Bagi pemerintah dan stakeholder, hasil penelitian ini dapat menjadi dasar dalam merumuskan kebijakan terkait digitalisasi pertanian, termasuk penyediaan infrastruktur, pelatihan petani, serta subsidi teknologi untuk meningkatkan adopsi di tingkat lapangan.

Penelitian ini memiliki beberapa keterbatasan. Pertama, implementasi sistem masih terbatas pada skala tertentu sehingga belum sepenuhnya merepresentasikan kondisi perkebunan dengan luas area yang lebih besar. Kedua, kinerja sistem dipengaruhi oleh faktor eksternal seperti kondisi cuaca, pencahayaan, dan kestabilan jaringan komunikasi, khususnya di wilayah pegunungan. Ketiga, akurasi sistem animal recognition masih memiliki potensi kesalahan deteksi (*false positive* atau *false negative*) pada kondisi tertentu. Keempat, penelitian ini belum secara mendalam menganalisis aspek ekonomi, seperti biaya implementasi dan tingkat pengembalian investasi (ROI), yang menjadi faktor penting dalam adopsi teknologi oleh petani.

Penelitian selanjutnya dapat difokuskan pada pengembangan sistem yang lebih skalabel dan adaptif, sehingga dapat diterapkan pada berbagai jenis lahan dan kondisi geografis yang berbeda. Selain itu, perlu dilakukan pengembangan algoritma AI yang lebih akurat dan mampu beradaptasi dengan kondisi lingkungan yang dinamis, termasuk peningkatan kemampuan deteksi pada berbagai jenis hama. Penelitian berikutnya juga disarankan untuk mengintegrasikan sistem dengan teknologi lain seperti big data analytics dan cloud computing untuk meningkatkan kemampuan prediksi dan analisis jangka panjang. Selain itu, kajian mengenai aspek ekonomi, seperti efisiensi biaya dan manfaat investasi, perlu dilakukan untuk memastikan keberlanjutan implementasi teknologi di tingkat petani. Terakhir, diperlukan penelitian yang mengkaji faktor sosial dan tingkat penerimaan teknologi oleh petani, sehingga implementasi Smart Agriculture dapat berjalan secara optimal dan berkelanjutan.

## REFERENSI

- Andavarapu, N., & Vatsavayi, V. K. (2017). Wild-animal recognition in agriculture farms using W-COHOG for agro-security. *International Journal of Computational Intelligence Research*, 13(9), 2247–2257.
- Elijah, O., Rahman, T. A., Orikumhi, I., Leow, C. Y., & Hindia, M. N. (2018). An overview of Internet of Things (IoT) and data analytics in agriculture: Benefits and challenges. *IEEE Internet of Things Journal*, 5(5), 3758–3773. <https://doi.org/10.1109/JIOT.2018.2844296>
- Giles, D., & Billing, R. (2015). Deployment and performance of UAV for crop spraying. *Chemical Engineering Transactions*, 44, 307–312. <https://doi.org/10.3303/CET1544052>
- Harun, A. N., Kassim, M. R. M., Mat, I., & Ramli, S. S. (2015). Precision irrigation using wireless sensor network. In *International Conference on Smart Sensors and Application (ICSSA)*. <https://doi.org/10.1109/ICSSA.2015.7322501>
- Jawad, H. M., Nordin, R., Gharghan, S. K., Jawad, A. M., & Ismail, M. (2017). Energy-efficient wireless sensor networks for precision agriculture: A review. *Sensors*, 17(8), 1781. <https://doi.org/10.3390/s17081781>
- Kamilaris, A., & Prenafeta-Boldú, F. X. (2018). Deep learning in agriculture: A survey. *Computers and Electronics in Agriculture*, 147, 70–90. <https://doi.org/10.1016/j.compag.2018.02.016>
- Liakos, K. G., Busato, P., Moshou, D., Pearson, S., & Bochtis, D. (2018). Machine learning in agriculture: A review. *Sensors*, 18(8), 2674. <https://doi.org/10.3390/s18082674>
- Lowenberg-DeBoer, J., & Erickson, B. (2019). Setting the record straight on precision agriculture adoption. *Agronomy Journal*, 111(4), 1552–1569. <https://doi.org/10.2134/agronj2018.12.0779>
- Mohanty, S. P., Hughes, D. P., & Salathé, M. (2016). Using deep learning for image-based plant disease detection. *Frontiers in Plant Science*, 7, 1419. <https://doi.org/10.3389/fpls.2016.01419>
- Ojha, T., Misra, S., & Raghuvanshi, N. S. (2015). Wireless sensor networks for agriculture: The state-of-the-art in practice and future challenges. *Computers and Electronics in Agriculture*, 118, 66–84. <https://doi.org/10.1016/j.compag.2015.08.011>
- 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. <https://doi.org/10.3233/AIS-170440>
- Tallinn Services. (2013). Smart drones. In *Lecture on Internet of Things*.
- Tsouros, D. C., Bibi, S., & Sarigiannidis, P. G. (2019). A review on UAV-based applications for precision agriculture. *Information*, 10(11), 349. <https://doi.org/10.3390/info10110349>

- Unpaproma, Y., Dussadee, N., & Ramaraj, R. (2018). Modern agriculture drones: The development of smart farmers. *ResearchGate*.
- Wolfert, S., Ge, L., Verdouw, C., & Bogaardt, M. J. (2017). Big data in smart farming: A review. *Agricultural Systems*, 153, 69–80. <https://doi.org/10.1016/j.agsy.2017.01.023>
- Xie, Z., Singh, A., Huang, J., Narayan, K. S., & Abbeel, P. (2013). Multimodal blending for high-accuracy instance recognition. In *IEEE/RSJ International Conference on Intelligent Robots and Systems* (pp. 2214–2221). <https://doi.org/10.1109/IROS.2013.6696685>
- Zecha, C. W., Link, J., & Claupein, W. (2013). Mobile sensor platforms: Categorisation and research applications in precision farming. *Journal of Sensors and Sensor Systems*, 2, 51–72. <https://doi.org/10.5194/jsss-2-51-2013>