

**PEMANFAATAN *INTERNET OF THINGS* (IOT) UNTUK DETEKSI DINI RISIKO  
DALAM KEAMANAN PANGAN PADA PRODUK PERTANIAN: TINJAUAN LITERATUR SISTEMATIS****Durahtun Hainiyah<sup>1</sup>, Putri Aulia Amara<sup>2</sup>, Widyarani Ayuningtyas<sup>3</sup>, Susi Milawati<sup>4\*</sup>,  
Theresa Oktavia Mulyana<sup>5</sup>, Yeni Budiawati<sup>6</sup>**<sup>1-6</sup>Jurusan Agribisnis, Fakultas Pertanian, Universitas Sultan Ageng Tirtayasa  
Jl. Raya Palka KM. 03 Sindangsari, Kec. Pabuaran, Kab. Serang, Banten<sup>4\*</sup>[susimilawati15@gmail.com](mailto:susimilawati15@gmail.com)**Abstrak**

Dalam sektor pertanian penggunaan pestisida masih sering digunakan oleh petani karena dapat meningkatkan hasil pertanian. Namun jika penggunaan pestisida tidak sesuai dengan standar keamanan tertentu seperti *Maximum Residue Levels* (MRLs) dapat menyebabkan tingginya residu pada produk pertanian sehingga beresiko pada kesehatan manusia. Sehingga *Internet Of Things* (IoT) memegang peran penting dalam mendeteksi kontaminasi residu pestisida dalam produk pertanian segar. Berbagai kombinasi sensor seperti pH, suhu, kelembapan, gas volatil, serta sensor spektral dan kamera visual telah digunakan untuk memperoleh hasil klasifikasi yang lebih akurat. Sistem ini dapat digunakan untuk deteksi awal di lapangan maupun untuk mendukung sistem ketertelusuran produk dalam rantai distribusi pangan. Meskipun IoT menunjukkan efektivitas yang tinggi namun terdapat beberapa tantangan dalam pengimplementasian seperti keterbatasan infrastruktur dan akses digital. Penelitian ini memakai pendekatan kualitatif deskriptif melalui metode *Systematic Literature Review* (SLR) dalam mengumpulkan, mengevaluasi dan mensintesis literatur ilmiah secara sistematis dan terstruktur.

**Kata kunci:** *Internet of Things* (IoT), Deteksi Residu Pestisida, *Systematic Literature Review*.

**Abstract**

*In the agricultural sector, the use of pesticides is still often used by farmers because it can increase agricultural yields. However, if the use of pesticides does not comply with certain safety standards such as Maximum Residue Levels (MRLs), it can cause high residues in agricultural products, which poses a risk to human health. So the Internet of Things (IoT) plays an important role in detecting pesticide residue contamination in fresh agricultural products. Various combinations of sensors such as pH, temperature, humidity, volatile gases, as well as spectral sensors and visual cameras have been used to obtain more accurate classification results. This system can be used for early detection in the field or to support product traceability systems in the food distribution chain. Although IoT shows high effectiveness, there are several challenges in implementing it such as limited infrastructure and digital access. This study uses a descriptive qualitative approach through the Systematic Literature Review*

**Article History**

Received: Juni 2025

Reviewed: Juni 2025

Published: Juni 2025

Plagiarism Checker No 234

Prefix DOI : Prefix DOI :

10.8734/Musyitari.v1i2.365

**Copyright : Author****Publish by : Musytari**

This work is licensed under  
a [Creative Commons  
Attribution-NonCommercial  
4.0 International License](https://creativecommons.org/licenses/by-nc/4.0/)

*(SLR) method in collecting, evaluating and synthesizing scientific literature systematically and structured.*

**Keywords:** *Internet of Things (IoT), Pesticide residue detection, Systematic Literature Review.*

## PENDAHULUAN

Keamanan pangan (*food safety*) merupakan aspek yang sangat krusial dalam memastikan bahwa makanan layak dikonsumsi dan tidak menimbulkan risiko kesehatan. Seiring dengan meningkatnya populasi dunia, yang diproyeksikan mencapai 8,5 miliar pada tahun 2030, hingga 10,4 miliar pada tahun 2100 (*United Nations, 2022*). Pertumbuhan populasi yang sangat pesat dan signifikan memberikan tekanan terhadap sistem produksi pangan untuk memenuhi permintaan yang terus meningkat. Keamanan pangan juga memiliki keterkaitan erat dengan tujuan pembangunan berkelanjutan (*Sustainable Development Goals/SDGs*), khususnya SDG 2 (*Zero Hunger*) dan konsumsi yang bertanggung jawab. Ke-17 tujuan tersebut semuanya saling terkait dan mencakup pengentasan kelaparan, pencapaian ketahanan pangan, dan peningkatan gizi pada tahun 2030. Untuk mencapai tujuan-tujuan ini, terdapat kebutuhan besar untuk menata ulang bagaimana pangan diproduksi dan dikonsumsi; keamanan pangan harus selalu menjadi perhatian.

Produk segar (*fresh product*), seperti buah-buahan, sayuran, daging dan ikan memiliki kerentanan tinggi terhadap kontaminasi karena sifatnya yang mudah rusak (*perishable*) dan sering dikonsumsi dalam keadaan mentah atau setengah matang, terutama kontaminasi dari residu pestisida dan patogen bakteri (Kapeleka et al., 2020). Kontaminasi dapat terjadi pada berbagai tahap mulai dari budidaya, panen, transportasi hingga penyimpanan. Tantangan ini diperparah oleh faktor lingkungan, seperti kondisi *higiene* yang buruk dan penggunaan agrokimia yang tidak terkontrol, yang meningkatkan potensi kontaminasi selama proses budidaya, panen, dan transportasi (Kamboj et al., 2020).

Pestisida digunakan secara luas dalam pertanian modern untuk melindungi tanaman dari hama dan penyakit, sehingga dapat meningkatkan hasil panen. Namun, penggunaan pestisida jika tidak diatur dengan standar keamanan tertentu seperti *Maximum Residue Levels (MRLs)*, dapat menyebabkan tingginya residu pestisida pada produk segar yang jika dikonsumsi dapat berisiko bagi kesehatan manusia. Berdasarkan penelitian (Murphy, 1997) dan (Cox, 1998) (dikutip dalam (Amilia et al., 2016)) mendapati pestisida yang biasa dipakai pada komoditi hortikultural digolongkan sebagai senyawa karsinogen yang dimana residu pestisida ini telah mencemari 83% dari contoh tanaman hortikultural. Residu pestisida dapat terbawa oleh rantai makanan (Untung, 1991) dalam (Anditiarina et al., n.d.). Residu pestisida dapat bertahan pada produk pertanian dalam waktu yang lama sehingga produk pertanian dapat terkontaminasi. Menurut Sudarmo (2007) dalam (Amilia, Joy, & Sunardi, 2016), pestisida sesudah diaplikasikan dapat bertahan pada bidang sasaran atau lingkungan dalam jangka waktu lama sehingga dapat dikatakan persisten.

Secara tradisional, deteksi risiko keamanan pangan seperti residu pestisida dan kontaminan lainnya bergantung pada metode laboratorium konvensional. Metode kromatografi seperti HPLC (*High Performance Liquid Chromatography*), GC (*Gas Chromatography*), serta kombinasinya dengan *Mass Spectrometry* (HPLC-MS dan GC-MS), sangat akurat untuk mengukur residu logam berat dan pestisida. Metode ini mampu memisahkan dan menganalisis sampel kompleks secara kualitatif dengan presisi, menghasilkan data yang andal untuk deteksi berbagai polutan sekaligus. Meskipun demikian, tingginya biaya peralatan dan lamanya waktu analisis menjadi kendala untuk aplikasi praktis di lapangan (Kurnia et al., 2019). Pengembangan metode ini juga mahal karena memerlukan eksperimen berurutan dengan sistem manual atau otomatis, kolom yang besar, dan jumlah sampel yang banyak untuk menyaring kondisi eksperimental (Han

et al., 2025). Keterbatasan ini membuat pemantauan secara luas, cepat, dan *real-time* di berbagai titik kritis dalam rantai pasok (misalnya, di tingkat petani, pasar, atau pusat distribusi) menjadi sulit dilakukan. Akibatnya, produk yang berpotensi tidak aman mungkin sudah terdistribusi dan dikonsumsi sebelum hasil uji laboratorium keluar, meningkatkan risiko bagi kesehatan publik. Dengan demikian, untuk memastikan keamanan pangan, perlu diterapkan pendekatan-pendekatan baru secara *real-time* dan presisi untuk mendeteksi residu pestisida sedini mungkin sebagai upaya meminimalisir kontaminasi pada produk pangan yang dikonsumsi yang berdampak negatif pada kesehatan manusia.

Di tengah tantangan kontaminasi pangan yang semakin kompleks, teknologi *Internet of Things* (IoT) muncul sebagai solusi inovatif untuk deteksi dini risiko keamanan pangan. IoT memungkinkan pemantauan parameter lingkungan secara *real-time* melalui sensor cerdas, seperti suhu, pH, dan tingkat gas, serta integrasi data untuk analisis cepat dalam rantai pasok pangan (Kamboj et al., 2020). Dengan kemampuan pelacakan produk dan pengambilan keputusan berbasis data, IoT dapat meningkatkan efisiensi dan akurasi dalam deteksi dini risiko keamanan pangan, khususnya pada produk segar yang memiliki karakteristik mudah rusak (*perishable*) dan rentan terhadap kontaminasi. Meskipun demikian, penerapan IoT dalam konteks ini masih menghadapi sejumlah kendala, termasuk keterbatasan integrasi sistem, tantangan implementasi di lapangan, dan kurangnya kajian holistik mengenai dampaknya (Kapeleka et al., 2020).

Penelitian ini bertujuan untuk mengidentifikasi dan mensintesis berbagai teknologi dan metodologi IoT dari penelitian terdahulu, serta mengeksplorasi keberhasilan, tantangan, dan keterbatasan yang dilaporkan dalam literatur terkait implementasi sistem deteksi dini berbasis IoT untuk keamanan produk segar. Dengan demikian, penelitian ini diharapkan dapat berkontribusi menjadi sumber pengetahuan yang komprehensif dan terkini mengenai aplikasi IoT untuk deteksi dini risiko keamanan pangan pada produk segar, khususnya fokus pada residu pestisida dari perspektif kualitatif.

## TINJAUAN LITERATUR

### *Internet Of Things* (IoT)

Menurut Ashton (2009), *Internet of Things* (IoT) adalah ide tentang teknologi yang menghubungkan perangkat fisik ke internet sehingga perangkat tersebut dapat secara otomatis mengumpulkan, mengirim, dan menerima data tanpa campur tangan manusia secara langsung. IoT memungkinkan pemantauan dan pengendalian secara *real-time* faktor lingkungan seperti suhu, kelembaban, dan kontaminan mikrobiologis. Variabel-variabel ini dapat memengaruhi kualitas dan keamanan produk segar (Gubbi et al., 2013; Al-Fuqaha et al., 2015).

### Keamanan Pangan (*Food Safety*)

Keamanan pangan merupakan elemen vital dalam sistem pangan nasional karena berkaitan erat dengan kesehatan masyarakat dan kesejahteraan ekonomi. Dalam konteks ini, keamanan pangan tidak hanya menyangkut kelayakan konsumsi, tetapi juga melibatkan proses pengawasan terhadap potensi cemaran biologis, kimia, dan fisik yang dapat mengganggu kesehatan konsumen (Riyanto, 2019). Salah satu persoalan mendasar dalam sistem keamanan pangan Indonesia adalah belum optimalnya penerapan standar internasional seperti *Hazard Analysis and Critical Control Points* (HACCP) maupun *ISO 22000*, khususnya di sektor usaha kecil dan menengah. Hal ini menyebabkan tidak semua pelaku usaha mampu menjaga standar higienitas dan keamanan dalam proses produksi makanan, yang berdampak pada tingginya potensi risiko kontaminasi (Riyanto, 2019). Sebagai bentuk respon terhadap berbagai permasalahan tersebut, pemerintah mendirikan Badan Pangan Nasional (Bapanas) pada tahun 2021. Lembaga ini berfungsi sebagai koordinator lintas sektor dalam mengelola kebijakan pangan nasional, termasuk di dalamnya adalah aspek keamanan pangan. Dengan keberadaan

Bapanas, diharapkan tercipta sinergi yang lebih kuat antara produksi, distribusi, dan pengawasan pangan (Badan Pangan Nasional, 2021).

Meskipun demikian, tantangan terbesar justru berada di level masyarakat. Edukasi publik tentang keamanan pangan masih perlu diperluas, agar konsumen dan produsen sama-sama menyadari pentingnya pengolahan dan konsumsi pangan yang aman. Riyanto (2019) menyarankan bahwa edukasi yang bersifat praktis dan kontekstual merupakan strategi penting untuk meningkatkan partisipasi aktif masyarakat dalam menjaga mutu pangan.

### **Produk Segar**

Produk segar adalah komoditas pangan yang tidak melalui proses pengolahan atau hanya mengalami sedikit pengolahan, seperti pencucian atau pemotongan, contohnya buah-buahan, sayuran, daging segar, dan produk perikanan (Zhou et al., 2020). Produk-produk ini memiliki karakteristik mudah rusak karena tingginya kadar air, aktivitas metabolik yang tinggi, dan tidak adanya perlakuan pengawetan (Mahajan et al., 2008). Akibatnya, produk segar sangat rentan terhadap penurunan mutu dan kontaminasi mikrobiologis selama proses panen, distribusi, dan penyimpanan (Uyttendaele et al., 2015). Umur simpan produk segar relatif pendek, sehingga penanganan pascapanen yang tepat sangat penting untuk mempertahankan kualitas dan keamanannya (Gougouli & Koutsoumanis, 2018). Faktor lingkungan seperti suhu, kelembaban, dan paparan cahaya sangat memengaruhi laju kerusakan produk segar, di mana fluktuasi suhu dapat mempercepat pertumbuhan mikroorganisme dan mempercepat pembusukan (Aung & Chang, 2014). Selain itu, kontaminasi silang dapat terjadi pada berbagai tahap distribusi, khususnya jika tidak diterapkan praktik sanitasi yang baik (Ribera et al., 2017). Karena tidak melalui proses pengolahan termal, produk segar sering kali menjadi medium yang ideal bagi patogen seperti *Escherichia coli*, *Salmonella*, dan *Listeria monocytogenes* (Uyttendaele et al., 2015). Oleh karena itu, penting untuk mengembangkan sistem pemantauan dan kontrol kualitas yang efektif guna mencegah risiko terhadap kesehatan konsumen (Zhang et al., 2017). Perhatian terhadap keamanan dan mutu produk segar semakin meningkat seiring dengan meningkatnya permintaan konsumen akan makanan sehat dan alami (Verdouw et al., 2016).

### **Residu Pestisida**

Residu pestisida adalah sisa bahan kimia pestisida atau produk turunannya yang masih tertinggal pada hasil pertanian setelah dilakukan penyemprotan atau aplikasi pestisida (Zhang et al., 2020). Kehadiran residu pestisida pada produk segar menjadi perhatian utama karena dapat berdampak negatif terhadap kesehatan konsumen, terutama jika kadarnya melebihi ambang batas maksimum residu (*Maximum Residue Limits/ MRL*) yang ditetapkan (Schaafsma et al., 2015). Konsumsi produk dengan residu berlebih dapat menyebabkan gangguan sistem saraf, gangguan hormonal, bahkan bersifat karsinogenik dalam jangka panjang (Keikotlhaile & Spanoghe, 2011). Penggunaan pestisida secara intensif dan tidak sesuai dosis menjadi penyebab utama akumulasi residu pada tanaman pangan, terutama pada buah dan sayuran yang dikonsumsi secara langsung tanpa proses pemanasan (Bempah et al., 2012). Beberapa jenis pestisida seperti *organofosfat*, *karbamat*, dan *piretroid* banyak ditemukan dalam produk hortikultura karena sifatnya yang efektif terhadap hama, namun juga berisiko tinggi meninggalkan residu (Darko et al., 2008). Penelitian menunjukkan bahwa residu pestisida sering terdeteksi dalam produk segar di pasar tradisional maupun modern, terutama di negara berkembang dengan pengawasan regulasi yang lemah (Baishya & Sharma, 2014).

Pemantauan residu pestisida secara konvensional menggunakan metode laboratorium seperti GC-MS (*Gas Chromatography-Mass Spectrometry*) dan HPLC (*High Performance Liquid Chromatography*), yang meskipun akurat, membutuhkan waktu lama dan biaya tinggi (Wang et al., 2019). Oleh karena itu, teknologi deteksi cepat dan sistem pemantauan berbasis sensor seperti *Internet of Things* (IoT) mulai dikembangkan untuk memberikan informasi *real-time* tentang kemungkinan keberadaan pestisida pada produk segar (Gao et al., 2021). Sistem sensor

ini dapat mengidentifikasi senyawa pestisida dalam kadar rendah dan berpotensi diterapkan di berbagai titik dalam rantai pasok, dari petani hingga pengecer (Kaur et al., 2018).

Pestisida adalah zat kimia yang digunakan untuk mengendalikan hama, gulma, dan organisme pengganggu lainnya dalam pertanian. Berdasarkan targetnya, pestisida dibagi menjadi beberapa jenis, yaitu herbisida (untuk membasmi gulma), insektisida (untuk serangga), fungisida (untuk jamur), dan rodentisida (untuk tikus) (Eddleston et al., 2008).

Salah satu herbisida yang paling dikenal adalah *glifosat*, yang bekerja dengan menghambat enzim penting dalam sintesis asam amino pada tanaman, sehingga tanaman gulma mati (Duke & Powles, 2008). Namun, penggunaan *glifosat* secara berlebihan dapat menimbulkan resistensi pada beberapa jenis gulma (Heap, 2014). Kelompok insektisida yang umum digunakan adalah *organofosfat*, seperti *klorpirifos* dan *malation*. Pestisida ini bekerja dengan menghambat enzim saraf pada serangga, namun jika tidak digunakan secara hati-hati, juga dapat membahayakan manusia (Costa, 2006). Jenis lainnya adalah *karbamat*, yang juga menyerang sistem saraf serangga namun cenderung lebih aman karena efeknya bersifat sementara (Jaga & Dharmani, 2003). Sementara itu, *piretroid* merupakan insektisida sintetis yang meniru senyawa alami dan dikenal efektif, tetapi dapat berdampak pada organisme non-target seperti lebah (Davies et al., 2007).

## METODE DAN BAHAN

Penelitian ini menerapkan pendekatan kualitatif deskriptif melalui metode *Systematic Literature Review* (SLR) untuk mengumpulkan, mengevaluasi, dan mensintesis literatur ilmiah yang relevan secara sistematis dan terstruktur. Pendekatan ini memungkinkan analisis komprehensif terhadap data yang telah dipublikasikan, memastikan temuan yang kredibel dan berbasis bukti guna mendukung tujuan penelitian.

### Pertanyaan Penelitian (*Research Question*)

Penelitian ini bertujuan untuk mengeksplorasi peran *Internet of Things* (IoT) dalam deteksi dini risiko keamanan pangan, khususnya pada produk segar, dengan fokus pada *monitoring* residu pestisida dan kontaminasi produk pertanian. Berikut pertanyaan penelitian ini disajikan pada Tabel 1.

Tabel 1. *Research Question and justification*

ID	<i>Research Question</i>	<i>Justification</i>
RQ1	Bagaimana peran teknologi IoT dalam sistem deteksi dini residu pestisida pada produk segar?	Memaparkan peran teknologi IoT dalam sistem deteksi dini residu pestisida pada produk segar
RQ2	Bagaimana efektivitas teknologi IoT dalam mendeteksi residu pestisida pada produk segar?	Memaparkan efektivitas teknologi IoT dalam mendeteksi residu pestisida pada produk segar.
RQ3	Apa tantangan utama dalam penerapan IoT untuk deteksi dini risiko keamanan pangan pada produk segar?	Memaparkan tantangan utama dalam penerapan IoT untuk deteksi dini risiko keamanan pangan pada produk segar.

### Protokol Pencarian dan *filtering*

Sumber data dalam penelitian ini berasal dari berbagai artikel ilmiah, jurnal terindeks internasional, laporan institusi resmi, dan publikasi akademik lain yang relevan. Literatur dikumpulkan dari *database* ilmiah seperti *IEEE Xplore*, *MDPI*, dan jurnal lainnya seperti *IJERT* (*International Journal of Engineering Research & Technology*), *IRJET* (*International Research Journal of Engineering and Technology*), *IJSRT* (*International Journal of Scientific Research in Science and Technology*). Kata kunci yang digunakan dalam pencarian antara lain: “*IoT food safety*”, “*pesticide detection IoT*”, “*pesticide residue*”, “*internet of things integrated*”, dan

“early risk detection in fresh produce”. Pencarian dibatasi pada artikel yang diterbitkan antara tahun 2020-2025.

Tabel 2. Kriteria inklusi dan eksklusi

ID	Kriteria
<b>Inklusi</b>	
I1	Literatur dipublikasikan antara tahun 2020 - 2025
I2	Literatur berasal dari <i>database</i> terindeks
I3	Literatur dapat diakses secara penuh ( <i>open access</i> )
I4	Literatur dipublikasikan dalam bahasa Inggris atau Indonesia.
I5	Berfokus pada penerapan IoT dalam deteksi risiko keamanan pangan pada produk segar
<b>Eksklusi</b>	
E1	Literatur yang dipublikasikan sebelum tahun 2020
E2	Literatur tidak dapat diakses secara penuh ( <i>open access</i> )
E3	Literatur yang dipublikasikan selain bahasa Inggris atau Indonesia
E4	Literatur tidak berfokus pada penerapan IoT dalam deteksi risiko keamanan pangan pada produk segar

Setelah menerapkan *filtering* berdasarkan kriteria inklusi dan eksklusi pada artikel hasil pencarian dengan kata kunci yang digunakan, diperoleh sejumlah artikel jurnal yang disajikan pada tabel 4. Total artikel yang didapatkan berjumlah 5 artikel jurnal. Artikel-artikel tersebut akan di-review dalam penelitian ini.

Tabel 3. Hasil *filtering*

No	Database	Jumlah
1	IEEE Xplore	1
2	MDPI	1
3	Lainnya (IJERT, IRJET, IJSRT)	3

Untuk mendukung analisis literatur yang telah dilakukan, berikut disajikan ringkasan artikel-artikel jurnal yang terpilih berdasarkan relevansinya dengan topik penelitian. Tabel ini memuat informasi inti seperti judul, penulis, tahun publikasi, metode, dan kontribusi terkait penggunaan *Internet of Things* (IoT) dalam deteksi dini risiko keamanan pangan pada produk segar.

Tabel 4. Hasil analisis literatur

No	Penulis & Tahun	Judul	Metode
1	Aira, J., Olivares, T., & Delicado, F. M. (2022)	<i>SpectroGLY: A low-cost IoT-based ecosystem for the detection of glyphosate residues in waters</i>	Studi Eksperimen & Implementasi Sistem IoT.
2	Radogna, A. V. et al. (2022)	<i>A monitoring framework with integrated sensing technologies for enhanced food safety and traceability</i>	Studi Integratif & Pengembangan Framework.

3	Saran, S. et al. (2024)	<i>Detection of pesticides in organic fruits and vegetables using IoT and ML.</i>	Studi Eksperimen (IoT + <i>Machine Learning</i> ).
4	(Purna Kishore et al., 2024)	<i>Pesticide Detection &amp; Control Measures in Fruits and Vegetables using Internet of things</i>	Pendekatan eksperimental dengan sistem berbasis <i>Arduino</i> UNO, sensor gas MQ4 dan MQ7, modul GSM SIM800L, serta integrasi ke platform <i>cloud ThingSpeak</i> . Sistem mendeteksi dan mengendalikan kadar pestisida (CH4 dan CO) secara <i>real-time</i> .
5	(J. Jhansi et al., 2024)	<i>IoT and ML Based Pesticide Residue Detection in Fruits and Vegetables</i>	Pendekatan eksperimental dengan integrasi perangkat keras berbasis <i>Arduino</i> , <i>ESP32 Camera</i> , dan sensor (pH dan gas), serta algoritma pembelajaran mesin untuk klasifikasi kontaminasi.

## HASIL DAN PEMBAHASAN

Produk pertanian seperti buah dan sayuran sangat rentan terhadap kontaminasi residu pestisida akibat penggunaan bahan kimia selama proses budidaya. *Glisofat* dan pestisida organofosfat lainnya banyak digunakan dalam pertanian dan berpotensi tertinggal pada hasil panen. Residu ini membahayakan kesehatan manusia dan lingkungan, serta sulit dideteksi tanpa peralatan analisis khusus (Aira et al. 2024; Jhansi et al. 2024). Oleh karena itu, diperlukan sistem deteksi cepat, akurat, dan dapat digunakan secara luas dalam rantai pasok pangan.

### Peran Teknologi IoT dalam Sistem Deteksi Dini

Teknologi *Internet of Things* (IoT) memberikan solusi efektif dan inovatif dalam deteksi residu pestisida pada produk segar. Aira et al. (2024) mengembangkan *SpectroGLY*, sebuah alat berbasis sensor multispektral terintegrasi dengan IoT yang mampu mendeteksi *glisofat* dalam air secara cepat, portabel, dan ekonomis. Radogna et al. (2022) mengusulkan sistem berbasis *Molecularly Imprinted Polymer* (MIP) dan sensor elektrokimia, yang mendeteksi *glisofat* melalui sinyal *voltametri* dan mengirim data secara daring tanpa supervisi manusia.

Saran et al. (2024) menggunakan kombinasi sensor gas, sensor pH, dan *triad spektroskopi* yang terhubung dengan mikrokontroler *Arduino* dan algoritma *machine learning* (*Random Forest*) untuk mengidentifikasi keberadaan pestisida pada buah dan sayur. Sistem ini memberikan hasil secara otomatis melalui *buzzer* dan layar LCD. Kishore et al. (2024) mengembangkan sistem berbasis *Arduino* UNO, sensor MQ4 dan MQ7, serta konektivitas *ThingSpeak* dan GSM untuk mendeteksi gas yang menjadi indikator keberadaan pestisida pada produk segar secara *real-time*.

Sementara itu, Jhansi et al. (2024) memperkenalkan sistem terintegrasi berbasis *ESP32 Camera*, sensor pH, dan sensor gas MQ135 yang dikombinasikan dengan *Machine Learning*. Gambar dari buah dan sayur diproses menggunakan segmentasi citra dan ekstraksi fitur, kemudian dianalisis oleh model ML untuk mendeteksi tingkat kontaminasi pestisida. Hasil deteksi ditampilkan melalui LCD dan disimpan di *cloud*, memberikan solusi *monitoring* yang efisien dan dapat diakses secara daring.

### Hasil dan Efektivitas Sistem IoT terhadap Deteksi Residu Pestisida

Aira et al. (2024) mengembangkan sistem deteksi berbasis *Internet of Things* bernama *SpectroGLY* yang mengandalkan sensor multispektral AS7265X dengan jangkauan spektral 410-940 nanometer melalui 18 kanal. Sistem ini dirancang untuk mendeteksi *glisofat* dalam air dengan waktu respons hanya 10 menit dan hasilnya dapat dipantau secara langsung melalui *dashboard* daring. Keunggulan sistem ini tidak hanya terletak pada kecepatannya, tetapi juga pada portabilitas alat dan integrasi konektivitas BLE, Wi-Fi, dan LoRaWAN, sehingga sesuai diterapkan di area pertanian terpencil. Biaya pembuatan prototipe sebesar USD 250 dapat ditekan hingga USD 200 dalam produksi massal. Validasi menunjukkan hasil deteksi yang sebanding dengan spektrofotometer laboratorium.

Studi yang dilakukan oleh Radogna et al. (2022) memperkenalkan pendekatan berbasis sensor elektrokimia *Molecularly Imprinted Polymer* (MIP) untuk deteksi selektif glisofat di lingkungan pertanian zaitun. Sensor ini memiliki sensitivitas tinggi dengan batas deteksi mencapai 0,14 ppm dan mampu beroperasi tanpa kalibrasi ulang di lapangan. Sistem ini dilengkapi dengan sensor tambahan seperti suhu, tekanan udara, CO<sub>2</sub>, kelembapan, dan pH yang terintegrasi dalam satu unit pengukuran, kemudian seluruh data dikirim otomatis ke server *cloud* melalui jaringan GSM dan Wi-Fi. Efektivitasnya terletak pada kemampuannya melakukan pemantauan berkelanjutan dan mandiri di lingkungan terbuka tanpa keterlibatan operator langsung.

Melalui integrasi sensor pH, sensor gas MQ135, dan *triad spektroskopi*, Saran et al. (2024) merancang sistem klasifikasi kontaminasi pestisida berbasis algoritma *Random Forest* yang diproses melalui *Arduino Mega* dan *Python*. Sistem ini mampu menghasilkan deteksi otomatis terhadap residu pada produk organik dengan notifikasi melalui *buzzer* dan LCD. Efisiensi sistem dibuktikan melalui deteksi simultan terhadap parameter kimia dan fisik dari produk secara akurat dan *real-time*. Sementara itu, Kanmani et al. (2021) menerapkan pendekatan berbasis *NodeMCU* yang memanfaatkan empat sensor gas, pH, suhu, dan kelembapan dengan tampilan data melalui aplikasi *Blynk*. Nilai konduktivitas yang diperoleh dari pare sebesar 32,4%, labu botol 11,7%, dan tomat 18,09% menjadi indikator keberhasilan sistem dalam mengidentifikasi perbedaan kadar residu pestisida. Keunggulan utama sistem ini terletak pada biaya rendah dan kemudahan penggunaan di tingkat petani dan pasar lokal.

Guo Zhao et al. (2015) menawarkan model deteksi berbasis *biosensor* enzim *acetylcholinesterase* yang dikombinasikan dengan sistem identifikasi digital melalui *QR code*. Deteksi dilakukan melalui konversi sinyal arus rendah ke tegangan 0-5V, yang selanjutnya dikirim secara nirkabel dan ditautkan ke basis data *cloud*. Sistem ini mendukung pelacakan produk secara *real-time* dan dapat diintegrasikan dalam rantai distribusi produk pertanian. Efektivitasnya terletak pada kecepatan deteksi serta kemampuan integrasi informasi keamanan produk dengan data logistik secara otomatis. Jhansi et al. (2024) mengembangkan sistem non-destruktif yang memadukan kamera ESP32, sensor pH, dan MQ135 dengan pemrosesan citra berbasis *Convolutional Neural Network* (CNN). Sistem ini memungkinkan klasifikasi residu secara visual dan kimiawi tanpa merusak sampel, serta menyimpan data ke platform *cloud Ubidots* untuk pemantauan daring. Pengujian dilakukan pada tomat, pare, dan labu dengan hasil yang menunjukkan ketepatan klasifikasi dalam waktu singkat.

### Tantangan Implementasi Teknologi IoT dalam Deteksi Residu Pestisida

Implementasi teknologi *Internet of Things* (IoT) dalam sistem deteksi residu pestisida telah menunjukkan efektivitas yang tinggi, namun sejumlah tantangan teknis dan operasional masih menjadi perhatian penting dalam proses implementasi. Salah satu tantangan utama adalah kebutuhan terhadap kalibrasi sensor yang konsisten untuk menjaga akurasi pengukuran di lingkungan terbuka. Penelitian oleh Aira et al. (2024) mengindikasikan bahwa sensor *multispektral VIS-NIR* pada sistem *SpectroGLY* memerlukan penyesuaian terhadap variasi intensitas cahaya dan suhu di lapangan. Radogna et al. (2022) juga menekankan bahwa sensor

elektrokimia berbasis *Molecularly Imprinted Polymer* (MIP) membutuhkan kalibrasi berkala agar tetap sensitif terhadap glisofat dalam air irigasi dengan komposisi yang fluktuatif.

Aspek infrastruktur juga menjadi kendala yang sering muncul dalam penerapan sistem ini, terutama di wilayah pertanian terpencil. Sistem yang bergantung pada konektivitas GSM, Wi-Fi, atau *dashboard* daring seperti yang dikembangkan oleh Kishore et al. (2024) dan Jhansi et al. (2024), memiliki keterbatasan dalam hal kestabilan jaringan dan ketersediaan daya listrik. Tantangan lainnya muncul dari karakteristik sensor gas seperti MQ4, MQ7, dan MQ135 yang digunakan dalam penelitian oleh Saran et al. (2024) dan Kishore et al. (2024), di mana sensor hanya mampu mendeteksi keberadaan senyawa volatil secara umum tanpa identifikasi spesifik terhadap jenis pestisida tertentu. Kondisi ini berpotensi menghasilkan interpretasi yang kurang presisi, terutama dalam konteks pengujian berbasis standar maksimum batas residu (MBR).

Dari sisi penggunaan, kompleksitas operasional sistem juga menjadi hambatan bagi pengguna akhir. Sistem deteksi yang melibatkan pemrosesan citra dan algoritma *machine learning*, seperti pada studi Jhansi et al. (2024), memerlukan pemahaman teknis dalam mengoperasikan perangkat dan membaca hasil klasifikasi secara digital. Hal ini menyulitkan pengguna di lapangan yang tidak memiliki latar belakang teknologi atau akses terhadap pelatihan khusus. Selain itu, kendala biaya awal pengadaan perangkat dan pemeliharaan sensor masih menjadi pertimbangan bagi kelompok petani kecil, meskipun beberapa sistem telah dirancang sebagai solusi portabel dan ekonomis seperti yang ditunjukkan oleh Aira et al. (2024) dan Kishore et al. (2024).

## DISKUSI

Kemajuan dalam sistem pengawasan mutu pangan saat ini ditandai oleh kemampuan mendeteksi residu pestisida secara cepat dan presisi langsung di lokasi produksi, tanpa bergantung pada prosedur laboratorium konvensional yang kompleks. Perkembangan ini memungkinkan melalui integrasi perangkat sensor dengan infrastruktur komunikasi digital yang mendukung akuisisi, pemrosesan, serta visualisasi data secara waktu nyata melalui platform aplikasi dan *dashboard* daring. Pemrosesan dilakukan secara otomatis dalam sistem yang terstruktur, memungkinkan deteksi kontaminasi berlangsung dalam durasi singkat dan hasilnya segera dapat dimanfaatkan untuk pengambilan keputusan. Keunggulan dalam hal kecepatan, efisiensi operasional, serta kemampuan integrasi lintas sistem menjadikan pendekatan ini sangat strategis dalam konteks distribusi dan manajemen keamanan produk pertanian secara luas.

Efektivitas sistem tidak hanya terletak pada waktu respons dan portabilitas perangkat, tetapi juga pada kemampuan integrasi multi-sensor yang mencakup parameter fisik, kimia, dan visual. Berbagai kombinasi sensor seperti pH, suhu, kelembapan, gas volatil, serta sensor spektral dan kamera visual telah digunakan untuk memperoleh hasil klasifikasi yang lebih akurat. Penerapan kecerdasan buatan dalam pemrosesan data sensor juga memperkuat ketepatan deteksi serta memungkinkan sistem untuk beroperasi secara adaptif terhadap berbagai jenis produk dan kondisi lingkungan. Sistem ini dapat digunakan baik untuk deteksi awal di lapangan maupun untuk mendukung sistem ketertelusuran produk dalam rantai distribusi pangan.

Meskipun potensi teknologi ini cukup besar, implementasinya masih menghadapi kendala di tingkat operasional, terutama pada wilayah dengan keterbatasan infrastruktur dan akses digital. Penggunaan sistem deteksi berbasis IoT memerlukan ketersediaan daya listrik, koneksi internet yang stabil, serta pemahaman teknis dari pengguna akhir. Keterjangkauan biaya perangkat dan kemudahan dalam pengoperasian juga menjadi faktor penting dalam menentukan sejauh mana teknologi ini dapat diadopsi secara luas. Pengembangan sistem ke depan perlu diarahkan pada solusi yang lebih kontekstual dan ramah pengguna agar inovasi ini

tidak hanya efektif secara teknis, tetapi juga relevan secara sosial dan ekonomis di tingkat lapangan.

## KESIMPULAN

Berdasarkan analisis literatur sistematis yang telah dilakukan, dapat disimpulkan bahwa teknologi *Internet of Things* (IoT) memegang peranan penting sebagai solusi inovatif untuk deteksi dini residu pestisida pada produk segar. Metode dan teknologi IoT yang digunakan sangat beragam, mencakup pemanfaatan sensor multispektral untuk deteksi glisofat, sensor elektrokimia berbasis *Molecularly Imprinted Polymer* (MIP), kombinasi berbagai sensor seperti pH, gas (MQ4, MQ7, MQ135), suhu, dan kelembapan, serta integrasi kamera visual. Teknologi ini diperkuat dengan penerapan kecerdasan buatan melalui algoritma *Machine Learning* seperti *Random Forest* dan CNN untuk klasifikasi kontaminasi yang lebih akurat dan adaptif.

Sistem berbasis IoT terbukti sangat efektif dalam memberikan hasil deteksi yang cepat dan *real-time*, dengan beberapa sistem mampu memberikan hasil dalam hitungan menit. Efektivitas ini juga ditunjukkan melalui sensitivitas deteksi yang tinggi, portabilitas perangkat, dan biaya yang relatif ekonomis. Selain itu, kemampuan sistem untuk terhubung dengan platform *cloud* dan diakses secara daring memungkinkan pemantauan berkelanjutan dan mendukung sistem ketertelusuran produk di sepanjang rantai distribusi pangan.

Namun, di balik efektivitasnya, terdapat sejumlah tantangan utama dalam implementasinya. Tantangan tersebut meliputi kebutuhan kalibrasi sensor secara berkala untuk menjaga akurasi, keterbatasan infrastruktur seperti konektivitas internet dan ketersediaan daya listrik di wilayah pertanian terpencil, serta kompleksitas operasional dan biaya awal perangkat yang dapat menjadi hambatan bagi pengguna akhir seperti petani. Sensor gas yang digunakan juga cenderung kurang spesifik dalam mengidentifikasi jenis pestisida tertentu. Oleh karena itu, pengembangan sistem ke depan perlu berfokus pada solusi yang lebih ramah pengguna, spesifik, dan terjangkau agar dapat diadopsi secara luas.

## DAFTAR PUSTAKA

- Ador, N. J. (2016). "A History of Food Scare Scandals in Indonesia". *Journal of Food Safety and Quality*, 5(2), 45-52.
- Ahmed, M. T., & Randhawa, M. A. (2021). "Pesticide residues in fresh produce: A global overview". *Food Additives & Contaminants: Part A*, 38(3), 397-415.
- Aira, J., Olivares, T., & Delicado, F. M. (2022). "SpectroGLY: A low-cost IoT-based ecosystem for the detection of glyphosate residues in waters". *IEEE Transactions on Instrumentation and Measurement*, 71, 1-10.
- Amilia, E., Joy, B., Sunardi, dan, & Raya Bandung-Sumedang Km, J. (2016). "Residu Pestisida pada Tanaman Hortikultura (Studi Kasus di Desa Cihanjuang Rahayu Kecamatan Parongpong Kabupaten Bandung Barat)". *Jurnal Agrikultura*, 27(1), 23-29.
- Anditiarina, D., Wahyuningsih, S., Afian, F., & Mulyawan, W. (2020). "Pencegahan foodborne disease selama penerbangan dengan penerapan prinsip keamanan pangan (food safety) oleh awak kabin dalam pesawat". *Jurnal Kedokteran*, 6(1), 68-76.
- Ashton, K. (2009). "That 'Internet of Things' Thing". *RFID Journal*.
- Aung, M. M., & Chang, Y. S. (2014). "Temperature management for the quality assurance of a perishable food supply chain". *Food Control*, 40, 198-207.
- Badan Pangan Nasional. (2021). *Profil Badan Pangan Nasional*. Jakarta: Bapanas.
- Badan POM RI. (2021). *Pedoman Sistem Keamanan Pangan Terpadu*. Jakarta: BPOM.
- Badia-Melis, R., Mishra, P., & Ruiz-García, L. (2015). "Food traceability: New trends and recent advances. A review". *Food Control*, 57, 393-401.
- Costa, L. G. (2006). "Current issues in organophosphate toxicology". *Clinica Chimica Acta*, 366(1-2), 1-13.

- Damalas, C. A., & Eleftherohorinos, I. G. (2011). "Pesticide exposure, safety issues, and risk assessment indicators". *International Journal of Environmental Research and Public Health*, 8(5), 1402-1419.
- Davies, T. G. E., Field, L. M., Usherwood, P. N. R., & Williamson, M. S. (2007). "DDT, pyrethrins, pyrethroids and insect sodium channels". *IUBMB Life*, 59(3), 151-162.
- Duke, S. O., & Powles, S. B. (2008). "Glyphosate: A once-in-a-century herbicide". *Pest Management Science*, 64(4), 319-325.
- Eddleston, M., Buckley, N. A., Eyer, P., & Dawson, A. H. (2008). "Management of acute organophosphorus pesticide poisoning". *The Lancet*, 371(9612), 597-607.
- Gougouli, M., & Koutsoumanis, K. P. (2018). "Modeling the growth and survival of foodborne pathogens in fresh-cut produce". *Current Opinion in Food Science*, 19, 112-117.
- Gubbi, J., Buyya, R., Marusic, S., & Palaniswami, M. (2013). "Internet of Things (IoT): A vision, architectural elements, and future directions". *Future Generation Computer Systems*, 29(7), 1645-1660.
- Han, Y., Tian, Y., Li, Q., Yao, T., Yao, J., Zhang, Z., & Wu, L. (2025). "Advances in Detection Technologies for Pesticide Residues and Heavy Metals in Rice: A Comprehensive Review of Spectroscopy, Chromatography, and Biosensors". *Foods*, 14(6), 1070. <https://doi.org/10.3390/foods14061070>
- Heap, I. (2014). "Global perspective of herbicide-resistant weeds". *Pest Management Science*, 70(9), 1306-1315.
- Jaga, K., & Dharmani, C. (2003). "Sources of exposure to and public health implications of organophosphate pesticides". *Revista Panamericana de Salud Pública*, 14(3), 171-185.
- J. Jhansi, Mungara Siva Jyothi, Manamasa Siddipriya, Shaik Imamshavali, Shaik Darubai Gari Shajiya, & S. Mahammad Inus. (2024). "IoT and ML Based Pesticide Residue Detection in Fruits and Vegetables". *International Journal of Scientific Research in Science and Technology*, 11(5), 05-12. <https://doi.org/10.32628/ijrst>
- 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.
- Kamboj, S., Gupta, N., Bandral, J. D., Gandotra, G., & Anjum, N. (2020). "Food safety and hygiene: A review". *International Journal of Chemical Studies*, 8(2), 358-368.
- Kapeleka, J. A., Sauli, E., Sadik, O., & Ndakidemi, P. A. (2020). "Co-exposure risks of pesticides residues and bacterial contamination in fresh fruits and vegetables under smallholder horticultural production systems in Tanzania". *PLoS ONE*, 15(7 July). <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0235345>
- Kim, Y., Evans, R. G., & Iversen, W. M. (2008). "Remote sensing and control of an irrigation system using a distributed wireless sensor network". *IEEE Transactions on Instrumentation and Measurement*, 57(7), 1379-1387.
- Klerkx, L., Jakku, E., & Labarthe, P. (2019). "A review of social science on digital agriculture, smart farming and agricultural big data: New contributions and a future research agenda". *NJAS-Wageningen Journal of Life Sciences*, 90-91, 100315.
- Kurnia, A., Sulaeman, E., & Ardiwinata, A. N. (2019). "Verifikasi Alat Multimeter Digital untuk Deteksi Cepat Residu Insektisida dalam Sayuran." *Agrikultura*, 29(3), 124. <https://doi.org/10.24198/agrikultura.v29i3.22725>
- Leskovac, A., & Petrović, S. (2023). "Pesticide use and degradation strategies: food safety, challenges and perspectives". *Foods*, 12(14), 2709.
- Mahajan, P. V., Caleb, O. J., Singh, Z., Watkins, C. B., & Geyer, M. (2008). "Postharvest treatments of fresh produce". *Philosophical Transactions of the Royal Society A*, 372(2017), 20130309.
- Mostafalou, S., & Abdollahi, M. (2017). "Pesticides and human chronic diseases: Evidences, mechanisms, and perspectives". *Toxicology and Applied Pharmacology*, 268(2), 157-177.

- Nehru, R., Chen, C. W., & Dong, C. D. (2024). "A review of smart electrochemical devices for pesticide detection in agricultural food and runoff contaminants". *Science of The Total Environment*, 173360
- Ojha, T., Misra, S., & Raghuwanshi, 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.
- Patil, A. A., & Kale, N. R. (2016). "A model for smart agriculture using IoT". *2016 International Conference on Global Trends in Signal Processing, Information Computing and Communication (ICGTSPICC)*, 543-545.
- Pakdel, M., Olsen, A., & Bar, E. M. S. (2023). "A review of food contaminants and their pathways within food processing facilities using open food processing equipment". *Journal of Food Protection*, 86(12), 100184.
- Pramanik, M. I., Lau, R. Y. K., Demirkan, H., & Azad, M. A. K. (2021). "Smart agriculture using IoT, blockchain, and AI technologies: A comprehensive review". *IEEE Access*, 9, 48546-48567.
- Purna Kishore, M., T Siva Sai Ganesh, K. Y., Venkata Siva Naga Sai Tarun, K., Venu Babu, M., & Naveen Kumar, M. (2024). "PESTICIDE DETECTION & CONTROL MEASURES IN FRUITS AND VEGETABLES USING INTERNET OF THINGS". *International Research Journal of Engineering and Technology*. [www.irjet.net](http://www.irjet.net)
- Radogna, A. V., Latino, M. E., Menegoli, M., Prontera, C. T., Morgante, G., Mongelli, D., ... & Francioso, L. (2022). "A monitoring framework with integrated sensing technologies for enhanced food safety and traceability". *Sensors*, 22(17), 6509
- Rajendran, S., & Nasir, M. H. M. (2023). "Traceability and transparency in food supply chains enabled by IoT and blockchain: A review". *Journal of Cleaner Production*, 386, 135613.
- 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.
- Reiler, E., Jørs, E., Bælum, J., Huici, O., Alvarez Caero, M. M., Cedergreen, N., & Sánchez, L. M. (2015). "The influence of tomato processing on residues of six commonly used pesticides in Bolivia". *Food Control*, 50, 31-39.
- Ribera, L. A., Palma, M. A., & Paggi, M. (2017). "Food safety concerns and consumer preferences for fresh produce". *Journal of Food Distribution Research*, 48(1), 71-78.
- Riyanto, R. A. (2019). "A Short Review of Bongkrek Acid in Food Safety Perspective". *Food ScienTech Journal*, 1(1), 1-6.
- Saran, S., Pravallika, P., Gopichand, K., Sudheer, U., & Vinod, G. V. (2024). "Detection of pesticides in organic fruits and vegetables using IOT and ML". *International Journal of Engineering Research & Technology (IJERT)*, 13(02), 2278-0181.
- Ssemugabo, C., Bradman, A., Ssempebwa, J. C., Sillé, F., & Guwatudde, D. (2022). "Pesticide residues in fresh fruit and vegetables from farm to fork in the Kampala Metropolitan Area, Uganda". *Environmental Health Insights*, 16, 11786302221111866.
- Suryani, D., Pratamasari, R., Suyitno, S., & Maretalinia, M. (2020). "Perilaku petani padi dalam penggunaan pestisida di desa mandalahurip kecamatan jatiwaras kabupaten tasikmalaya". *Window of Health: Jurnal Kesehatan*, 095-103.
- Suryotrisongko, H., & Andry, J. F. (2020). "IoT-based precision agriculture for detecting pesticide residues in crops". *Procedia Computer Science*, 170, 449-454.
- Tzounis, A., Katsoulas, N., Bartzanas, T., & Kittas, C. (2017). "Internet of Things in agriculture, recent advances and future challenges". *Biosystems Engineering*, 164, 31-48.
- United Nations. (2022). *World Population Prospects 2022: Summary of Results*. UN DESA/POP/2022/TR/NO. 3.

- Uyttendaele, M., Jaykus, L. A., Amoah, P., Chiodini, A., Cunliffe, D., Jacxsens, L., & McClure, P. (2015). "Microbial hazards in fresh fruit and vegetables: A review". *Food Control*, 50, 85-94.
- Verdouw, C. N., Wolfert, J., Beulens, A. J. M., & Rialland, A. (2016). "Virtualization of food supply chains with the internet of things". *Journal of Food Engineering*, 176, 128-136.
- Wan, J., Zou, C., Ullah, S., Lai, C. F., & Zhou, M. (2016). "Cloud-enabled wireless body area networks for pervasive healthcare". *IEEE Network*, 27(5), 56-61.
- Wolfert, S., Ge, L., Verdouw, C., & Bogaardt, M.-J. (2017). "Big Data in Smart Farming - A review". *Agricultural Systems*, 153, 69-80.
- Zhang, Y., Deng, R., & Weng, J. (2017). "Secure and efficient data collaboration with hierarchical attribute-based encryption in smart farming". *Future Generation Computer Systems*, 84, 271-279.
- Zhang, Y., Wang, L., & Wang, J. (2016). "Precision agriculture a worldwide overview". *Computers and Electronics in Agriculture*, 122, 1-3.
- Zhao, Y., Li, X., Yu, Y., & Liu, Z. (2019). "Application of Internet of Things (IoT) to food safety". *Food Science and Human Wellness*, 8(4), 308-313.