

Efektifitas Penerapan Internet of Things Pada Pertanian Padi: Tinjauan Literatur

Fajar Ramadhan[✉], Febri Pratama², Fauziah Noviandini³, Ilham Albana⁴

^{1, 2, 3, 4}Teknologi Informasi, Universitas Amikom Purwokerto, Banyumas, 53127, Indonesia

fajaramadhan.college@gmail.com

Abstract

Rice farming is a vital sector in maintaining global food security, particularly in agrarian countries such as Indonesia. However, conventional or traditional methods, which are still widely used in developing countries like Indonesian, face numerous challenges, including climate change, weather anomalies, and inefficient resource utilization, often leading to crop failures or suboptimal yields. On global scale, research on the application of Internet of Things (IoT) technology in rice farming has demonstrated significant potential to enhance efficiency and productivity. IoT offers innovative solutions such as remote environmental monitoring, smart irrigation, and early disease detection in crops. However, the implementation of IoT in the rice farming sector in Indonesia remains largely experimental and has yet to be widely adopted. This study conducts narrative review of international articles that examine the effectiveness of IoT applications in rice farming, analyzing its implementation and success rates. The review findings indicate that IoT can improve irrigation efficiency by up to 96%, detect plant diseases with an accuracy of 87.2%-89.4%, and improve fertilization with effectiveness of 95.5%. Additionally, the use of renewable energy sources, such as solar panels, has proven effective in reducing operational costs. This study also highlights the potential integration of data processing technologies like Machine Learning (ML), which can enhance system precision. This study is expected to serve as a reference and foundation for the broader development and application of IoT in the rice farming sector, ultimately improving productivity and resource efficiency.

Keywords: *Internet of Things, Food Security, Rice Farming, Paddy Corp, Literature Review*

Abstrak

Pertanian padi merupakan sektor vital dalam menjaga ketahanan pangan global, terutama di negara-negara agraris seperti Indonesia. Namun, metode pertanian tradisional yang masih banyak digunakan di negara berkembang seperti Indonesia menghadapi berbagai tantangan, seperti perubahan iklim, anomali cuaca, dan inefisiensi penggunaan sumber daya, yang sering mengakibatkan gagal panen atau hasil panen yang tidak optimal. Pada skala global, penelitian tentang penerapan teknologi *Internet of Things* (IoT) dalam pertanian padi telah menunjukkan potensi besar untuk meningkatkan efisiensi dan produktivitas. IoT menawarkan solusi inovatif seperti pemantauan lingkungan jarak jauh, irigasi pintar, dan deteksi dini penyakit tanaman. Meskipun demikian implementasi IoT sektor pertanian padi di negara Indonesia masih banyak yang hanya melakukan eksperimental dan belum diadopsi secara luas. Penelitian ini melakukan tinjauan naratif terhadap artikel-artikel internasional yang meneliti efektivitas penggunaan IoT pada tanaman padi, meninjau tentang penerapan teknologi IoT di sektor pertanian padi, serta tingkat keberhasilan hasil implementasinya. Hasil tinjauan menunjukkan bahwa IoT mampu meningkatkan efisiensi irigasi hingga 96%, mendeteksi penyakit tanaman dengan akurasi 87,2%-89,4%, dan mengoptimalkan pemupukan dengan efektivitas 95,5%. Selain itu, penggunaan energi terbarukan seperti panel surya terbukti efektif dalam menekan biaya operasional, studi ini juga menemukan bahwa potensi integrasi dari teknologi pemrosesan seperti *Machine Learning* (ML) dapat menghasilkan suatu sistem yang lebih presisi. Studi ini diharapkan dapat menjadi referensi dan literatur bagi pengembangan teknologi IoT di sektor pertanian padi dalam skala yang lebih besar, guna meningkatkan produktivitas dan efisiensi sumber daya.

Kata kunci: *Internet of Things, Ketahanan Pangan, Pertanian, Pertanian Padi, Tinjauan Literatur*

Jutekom is licensed under a Creative Commons Attribution-Share Alike 4.0 International License.



1. Pendahuluan

Populasi dunia diproyeksikan akan mencapai 9,6 milyar pada tahun 2050 mendatang, dimana sektor pertanian memiliki peran yang sangat penting secara langsung terhadap ketahanan pangan dunia [1]. Sektor pertanian menjadi fondasi ekonomi suatu negara, khususnya di negara – negara berkembang dan juga menjadi sumber utama lapangan pekerjaan bagi sebagian besar penduduk desa di negara – negara tersebut. Tak hanya itu, ternyata produktivitas pada sektor pertanian memiliki korelasi yang kuat terhadap pendapatan perkapita suatu negara [2], [3]. Oleh karena itu dapat dikatakan bahwa produktivitas dan efisiensi pada sektor pertanian menjadi prioritas global dalam menunjang keberlanjutan sumber daya pada kehidupan mendatang.

Komoditas utama dari sektor pertanian adalah tanaman padi yang menghasilkan beras sebagai makanan pokok lebih dari setengah populasi dunia terutama di benua asia [4]. Peran yang sangat vital tersebut, menjadikan tanaman padi sangat penting dalam memenuhi kebutuhan pangan global. Karena hal tersebut pula, sudah menjadi perhatian yang khusus untuk mengevaluasi bagaimana metode pertanian yang diterapkan saat ini untuk menghasilkan komoditas beras dari tanaman padi. Metode pertanian konvensional saat ini dinilai kurang efektif dan tidak dapat beradaptasi dalam menangani berbagai macam masalah kontemporer seperti perubahan iklim, penurunan kualitas lahan yang digunakan, serta dalam memanfaatkan sumber daya yang semakin hari semakin terbatas [5], [6]. Salah satu tantangan terbesar bagi para petani saat ini adalah bagaimana mengelola dan memantau secara efektif lahan pertanian yang ada terhadap kondisi alam yang berubah – ubah. Metode konvensional mengharuskan petani melakukan pemantauan langsung ke lahan untuk dapat mengetahui situasi dan kondisi seperti suhu, kelembapan tanah, dan intensitas cahaya. Metode ini akan memakan waktu dan inefisiensi yang dapat menyebabkan kesalahan dalam mengambil keputusan sehingga membuat hasil panen yang buruk [7], [8], [9].

Dalam sektor pertanian terkhusus tanaman padi, teknologi modern muncul untuk dapat menawarkan solusi agar dapat otomatisasi dan membuat pekerjaan menjadi lebih efisien, salah

satu teknologi yang sangat berkaitan erat untuk mendukung keperluan tersebut adalah teknologi *Internet of Things* (IoT). IoT adalah teknologi yang mengacu pada perangkat fisik yang dapat terkoneksi dengan suatu aplikasi dan sensor untuk dapat saling bertukar data secara *real-time* dengan cara yang efisien menggunakan protokol komunikasi yang beragam [10]. Penerapan teknologi IoT ini tak semena – mena langsung dapat diterapkan dengan mudah begitu saja, berbagai macam potensi masalah dinilai menjadi pertimbangan yang perlu diperhatikan, diantaranya yaitu masalah biaya investasi awal yang bisa tinggi, kekurangan infrastruktur teknologi yang ada di pedesaan, dan penggunaan sumber daya energi yang terbatas [5], [7], [8]. Berbagai potensi masalah tersebut membuat penelitian mengenai bagaimana teknologi IoT akan diterapkan untuk sektor pertanian khususnya padi masih sebagian besar didominasi oleh penelitian yang bersifat eksperimental dan belum berkembang dalam skala yang lebih besar, khususnya penelitian di Indonesia yang merupakan negara agraris terbesar. Padahal jika dapat dilakukan untuk penelitian yang bersifat aplikatif terhadap kondisi lapangan yang ada, dapat memberikan gambaran bahwa teknologi IoT dapat diterapkan untuk efisiensi dalam mengelola tanaman padi. Penelitian sebelumnya yang dilakukan oleh [5], [7] menunjukkan bahwa IoT dapat mengintegrasikan dengan baik berbagai macam sensor yang diperlukan untuk mendukung pertanian padi seperti sensor cahaya, sensor suhu, dan sensor kelembapan yang meningkatkan efisiensi produksi hasil pertanian dan sumber daya

Berbagai macam potensi masalah yang dibahas sebelumnya dapat dijawab dan ditelaah lebih lanjut dengan melihat penelitian sebelumnya yang telah menerapkan IoT untuk efisiensi dalam pertanian. Misalnya teknologi IoT dapat digunakan untuk sistem pemantauan lingkungan, dengan menggunakan NodeMCU ESP8266 sebagai mikrokontroler dan protokol komunikasi MQTT, yaitu protokol komunikasi berbasis *publish/subscribe* yang dapat digunakan dengan *bandwidth* sangat rendah untuk mengirim data, mudah mengimplementasikannya, serta efisien dalam mengirim pesan yang membuatnya ideal untuk aplikasi pada perangkat pintar dan sistem otomatisasi seperti IoT. Sistem ini dapat

mengirim data sensor secara real-time dengan koneksi terbatas ke perangkat seluler atau dashboard website sehingga petani dapat mengakses informasi lahan pertanian dengan mudah tanpa ada penggunaan perangkat yang terlalu rumit [7], [8], [11]. Contoh lain bagaimana teknologi IoT dapat mengatasi potensi masalah yang muncul pada pembahasan sebelumnya yaitu penelitian oleh [5], dan [7] yang membuat sistem pengairan otomatis, menunjukkan efisiensi yang tinggi sehingga dapat menghemat biaya dengan mengontrol pompa air dari jarak jauh. Tak selamanya berjalan efisien salah satu penelitian juga menunjukkan jika sistem IoT yang dibuat tidak dilakukan dengan baik maka akan memakan energi yang banyak sehingga alih – alih terjadi efisiensi dalam penggunaan sumber daya yang terbatas justru sebaliknya menguras banyak sumber energi [6].

Berdasarkan berbagai faktor tersebut maka perlu dilakukan tinjauan literatur mengenai bagaimana sesungguhnya efektifitas penerapan teknologi IoT pada sektor pertanian dengan berbagai potensi masalah yang mungkin muncul. Tinjauan literatur ini akan berfokus pada tanaman padi menggunakan pendekatan naratif yang bertujuan untuk meninjau tentang penerapan teknologi IoT di sektor pertanian padi, menelaah bagaimana penggunaan teknologi IoT untuk pertanian padi dilakukan, serta tingkat keberhasilan hasil implementasinya. Hasil dari penelitian ini diharapkan dapat menjadi bahan acuan dan literatur yang relevan terkhususnya bagi peneliti yang ingin memaksimalkan teknologi IoT untuk efisiensi pada pertanian padi di Indonesia yang merupakan negara agraris terbesar.

2. Metodologi Penelitian

Penelitian ini menggunakan pendekatan naratif dimulai dengan proses pencarian artikel ilmiah pada platform penyedia artikel online yaitu ScienceDirect dan IEEE Explorer untuk mendapat jurnal internasional yang aplikatif karena kebanyakan jurnal di Indonesia dengan topik ini masih bersifat eksperimental. Kombinasi kata kunci dan operasi *boolean* digunakan untuk memastikan hasil yang relevan dengan topik tinjauan. Kata kunci yang digunakan dapat dilihat pada Tabel 1. Kata kunci ini bertujuan untuk menjangkau artikel yang secara eksplisit membahas implementasi IoT di kawasan pertanian padi dan perluasan cangkupan pencarian artikel juga dilakukan dengan

menggunakan kata kunci umum seperti "IoT", dan "rice farming" untuk mendapatkan istilah terkait yang sering digunakan pada penelitian. Pendekatan ini memungkinkan pengumpulan artikel yang berfokus pada implementasi sistem IoT dalam sektor pertanian padi, baik dari segi sensor dan sumber energi yang digunakan, serta menelaah metode pendekatan dengan teknologi lain seperti *Machine Learning* (ML), beserta efektivitasnya.

Tabel 1. Sumber Platform Artikel dan Kata Kunci

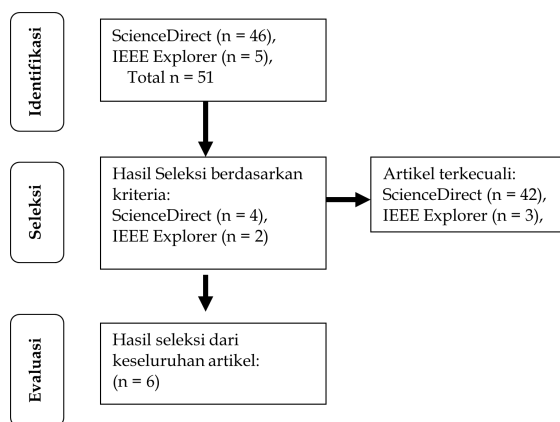
Sumber Platform	Artikel Didapat	Kata Kunci
ScienceDirect	46	("IoT" OR "Internet of Things") AND ("smart farming" OR "smart agriculture") AND ("rice" OR "paddy") AND NOT ("review")
IEEE Explorer	5	("IoT" AND "paddy fields") OR ("IoT applications" AND "rice farming")

Artikel yang didapat dari hasil pencarian dengan kata kunci yang telah ditetapkan akan diseleksi berdasarkan beberapa kriteria yang telah dirumuskan agar sesuai dan relevan terhadap tujuan dan topik pembahasan pada studi ini. Kriteria yang digunakan sebagai dapat dilihat pada Tabel 2.

Tabel 2. Kriteria Pencarian Artikel

Termasuk	Terkecuali
Publikasi tahun 2020-2025	Publikasi sebelum 2020
Artikel riset dan pengembangan	Artikel review dan prosiding atau konferensi
Terdapat foto alat IoT yang dikembangkan	Hanya berupa rancangan
Teknologi IoT sebagai pembahasan yang utama	Pembahasan selain IoT atau teknologi IoT tidak jadi pembahasan utama
Penelitian yang berupa pengembangan sistem atau alat untuk diimplementasikan	Penelitian hanya berupa prototipe atau tanpa disertai hasil implementasi
Implementasi pada tanaman padi atau Jika bukan implmentasi langsung pada tanaman padi maka harus memiliki kemungkinan besar dan masuk akal untuk dapat diterapkan pada tanaman padi	Implementasi pada tanaman bukan padi atau tanaman dengan cara tanam yang bersebrangan dengan padi seperti hidroponik

Langkah – langkah yang telah disebutkan memastikan bahwa penelitian ini dilakukan walau dengan pendekatan naratif tetapi dapat menerapkan hal-hal komprehensif dan mendalam. Hal ini juga memungkinkan pengumpulan data yang relevan untuk memenuhi kebutuhan studi secara menyeluruh. Metode ini tidak hanya memberikan gambaran tentang bagaimana efektivitas penggunaan teknologi IoT pada sektor pertanian padi, tetapi juga menemukan masalah dan peluang pengembangan. Hasil penelitian ini diharapkan dapat memberikan referensi akademis yang relevan dan praktis serta signifikan tentang implementasi teknologi IoT di sektor pertanian padi. Hasil seleksi dari artikel yang dikumpulkan dapat dilihat pada Gambar 1.



Gambar 1. Hasil Seleksi Artikel

3. Pembahasan

Dari hasil analisis artikel yang dipilih dapat diidentifikasi kegunaan utama dari teknologi IoT dalam sektor pertanian terkhusus tanaman padi, Aspek lain seperti sensor dan sumber energi juga dapat diketahui sebagai pendukung utama dalam meningkatkan kegunaan perangkat IoT. serta tingkat efektivitas implementasi alat selalu di cantumkan secara eksplisit pada artikel, dimana efektivitas ini selalu di komparasikan dengan sistem tradisional atau konvensional. Kegunaan utama teknologi IoT untuk padi berupa sistem otomatisasi irigasi atau pengairan sawah menjadi yang paling banyak, disamping kegunaannya yang lain yaitu kontrol kesehatan tanaman padi berupa deteksi penyakit tanaman serta tingkat nutrisi tanaman. Hasil implementasi alat berbasis IoT dari artikel yang dipilih selalu menunjukan peningkatan yang signifikan dibanding metode tradisional dan konvensional. Sebagai contoh studi yang dilakukan [12] dapat menunjukan tingkat efektivitas lebih dari 95% dari segi biaya,

konsumsi energi, dan keandalan untuk mendeteksi nutrisi berdasarkan tingkat klorofil pada tanaman padi dibanding alat semi-konvensional yang di komparasikan. Kemudian energi yang digunakan pada masing – masing alat atau sistem IoT yang dibuat pada artikel yang di pilih merupakan energi terbarukan, dimana energi surya menjadi sumber energi yang paling banyak dipakai oleh peneliti untuk implementasi alat IoT di persawahan. Penggunaan panel surya yang memiliki stereotipe mahal ternyata dapat digunakan secara efektif untuk diterapkan pada alat IoT tanaman padi bahkan dapat menekan biaya karena kebutuhan energi dari alat IoT yang digunakan cukup rendah sekitar 10W-20W [13], [14].

Pada studi ini akan dibahas lebih mendalam tentang relevansi kegunaan teknologi IoT pada tanaman padi serta aspek utama yang mempengaruhi tingginya efektivitas alat IoT pada tanaman padi berupa sumber energi dan sensor yang digunakan, serta adanya perpaduan dengan pendekatan teknologi lain seperti *Machine Learning* (ML).

3.1. Kegunaan

a. Otomatisasi Irigasi (*Smart Irrigation*)

Dari hasil artikel yang dipilih 80% menggunakan teknologi IoT sebagai sistem irigasi, dimana IoT digunakan untuk membuka dan menutup pengairan secara otomatis melalui berbagai input. Pada studi [13], menggunakan kondisi cuaca sebagai parameter atau input utama kapan lahan sawah harus di basahi melalui sistem irigasi yang ada. Berbeda dengan studi [14], dan [15] yang menggunakan kondisi kelembapan tanah sebagai parameter dan input utama untuk mengukur kapan sawah harus di basahi oleh sistem irigasi. Parameter juga diukur dengan metode semi tradisional dengan mengukur ketinggian air [16]. Semua studi yang menggunakan IoT sebagai otomatisasi dan peningkatan sistem irigasi yang sudah ada menghasilkan efektivitas dan peningkatan dibandingkan terhadap metode irigasi tradisional atau konvensional tanpa mempengaruhi hasil panen dari tanaman padi itu sendiri. Tingkat efektivitas dari masing-masing studi dapat dilihat pada Tabel 3.

Tabel 3. Tingkat Efektivitas IoT untuk Irigasi

Judul	Efektivitas (%)
Practical application of an intelligent irrigation system to rice paddies in Taiwan [13]	60%-80%
Automation of soil moisture sensor-based basin irrigation system [14]	86,6%
AgriSens : IoT-Based Dynamic Irrigation Scheduling System for Water Management of Irrigated Crops [15]	10,21 %
Development and evaluation of the first automated irrigation system for alternate wetting and drying technique in rice cultivation in Bangladesh [16]	20%

b. Monitor Kesehatan

Untuk mengukur kesehatan pada tanaman padi ada dua cara yang dimanfaatkan pada sistem atau alat IoT yang dibahas pada studi ini, yaitu mendeteksi potensi penyakit dan mengukur nutrisi tanaman untuk dapat di beri pupuk dengan kadar tertentu. Tanaman padi sangat rentan terhadap penyakit bernama *rice blast*, suatu penyakit berupa jamur yang menyerang tanaman dan dapat menyebar ke tanaman lain yang dipengaruhi oleh tingkat kelembapan suatu tanaman, penyakit ini menjadi penyebab utama kegagalan panen padi [17]. Alat IoT yang dikembangkan menggunakan metode *non-image detection* dengan pendekatan *Machine Learning* (ML) untuk mendeteksi penyakit *rice blast* menggunakan 4 stasiun cuaca mini untuk diperoleh hasil data agar dapat di kirim ke platform web untuk dianalisis menggunakan model ML *Convolutional Neural Network* (CNN) sehingga menghasilkan data prediksi akan terjadinya *rice blast* berdasarkan perhitungan masa tumbuh spora yang dipengaruhi oleh kondisi cuaca dan lingkungan. Metode ini memanfaatkan data dari berbagai macam sensor IoT yang dibuat menjadi stasiun cuaca untuk dapat mengirim data secara *real-time* sehingga tidak ada penundaan untuk dapat membuat prediksi oleh model CNN, metode ini menghasilkan *net prediction*, yaitu deteksi saat penyakit *rice blast* tidak terjadi sebesar 87,2%, dan *positive prediction*, yaitu deteksi saat penyakit *rice blast* benar-benar terjadi sebesar 89,4% [17]. Kemudian pada studi lain yang dilakukan

oleh [12], kesehatan tanaman padi di monitoring dengan cara mengukur kadar klorofil atau zat hijau daun pada tanaman padi untuk dapat menentukan pemupukan. Pada studi tersebut menghasilkan alat yang jauh lebih efisien dibanding alat semi-konvensional yang digunakan sebagai komparasi dan acuan yaitu SPAD-502. Cara kerja alat ini yaitu menangkap cahaya inframerah dan lampu *Emitting Diode* (LED) merah yang dipancarkan pada daun, menganalisis apakah ada cahaya yang di teruskan sehingga menembus dan terdeteksi oleh sensor spektral. Proses ini menghasilkan nilai *Chlorophyll Content Index* (CCI) sebagai indikasi nutrisi yang ada pada tanaman. Meskipun pada studi tersebut tidak dicantumkan total biaya pembuatan alat, jika dilakukan perhitungan secara mandiri dengan estimasi harga dari alat yang dibuat dibanding alat komparasi, terdapat perbedaan harga sampai 40 kali lipat lebih murah daripada alat semi-konvensional yang sudah ada. Tingkat efektivitas dari masing-masing studi dapat dilihat pada Tabel 4.

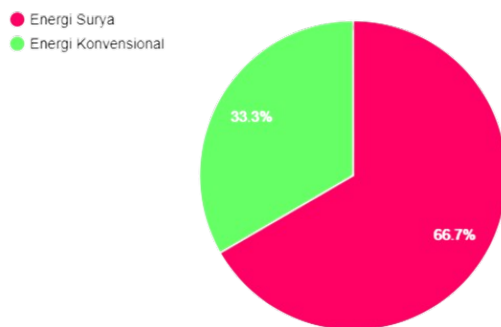
Tabel 4. Tingkat Efektivitas IoT untuk Monitoring Kesehatan Tanaman Padi

Judul	Efektivitas (%)
AgriSens : IoT-Based Dynamic Irrigation Scheduling System for Water Management of Irrigated Crops [15]	95,5%
RiceTalk : Rice Blast Detection using Internet of Things and Artificial Intelligence Technologies [17]	87,2% (<i>net prediction</i>) , 89,4% (<i>positive prediction</i>)

3.2. Sumber Energi

Manajemen sumber daya energi pada sistem atau alat IoT di sektor pertanian selalu menjadi tantangan pada saat proses pengembangan [12]. Sumber energi tenaga surya menjadi sumber energi kebanyakan yang dipakai untuk menopang kebutuhan energi alat IoT tanaman padi. Penggunaan panel surya yang memiliki stereotipe mahal ternyata dapat digunakan secara efektif untuk diterapkan pada alat IoT tanaman padi, bahkan penerapan ini dapat menekan biaya karena kebutuhan energi dari alat IoT yang digunakan cukup rendah sekitar 10W-20W [13], [14]. Dengan energi surya sebagai energi utama yang digunakan oleh kebanyakan studi IoT tanaman padi, mengindikasikan bahwa selain

efektivitas dan efisiensi otomatisasi yang disediakan teknologi IoT, penghematan dan penggunaan energi ramah lingkungan sudah menjadi cara yang unggul diterapkan pada sistem atau alat IoT dibandingkan cara konvensional. Penghematan energi ini dapat dilakukan karena penggunaan protokol komunikasi pada teknologi IoT memiliki variasi yang beragam dan diperuntukan untuk pengiriman data yang sangat efisien berupa data angka dan text dari berbagai sensor untuk dapat diolah dan di unggah ke internet [14], [15]. Meskipun begitu masih ada peneliti yang menggunakan sumber energi konvensional karena kesederhanaan alat yang dikembangkan dan juga faktor tahun pengembangan serta implementasi yang cukup lama dilakukan di era dimana keterbaruan teknologi belum memadai dimasanya untuk menyediakan kebutuhan yang minim infrastruktur di kawasan persawahan [13], [16]. Namun begitu, proses penelitian tersebut dilakukan dengan berkala dalam jangka waktu yang cukup panjang selama 4 tahun berturut-turut, penelitian ini dilakukan oleh [13] menghasilkan peningkatan tanpa mempengaruhi hasil panen meskipun menggunakan sumber energi konvensional. Berbagai hal diatas menunjukkan efektivitas IoT untuk tanaman padi sangat ideal terkhusus pada aspek penggunaan energi. Hal ini dapat dimaksimalkan dengan menggunakan protokol komunikasi yang tepat untuk mengirim data pada saat proses pengembangan sistem atau alat IoT. Presentase penggunaan energi yang digunakan pada artikel yang di review divisualisasikan pada Gambar 2.



Gambar 2. Presentase Jenis Sumber Energi yang Digunakan

3.3. Sensor

Penggunaan sensor dalam sistem atau alat IoT tanaman padi memang cukup beragam dan banyak, tetapi dari sekian banyaknya sensor yang digunakan dapat diklasifikasikan menjadi

beberapa kelompok yaitu: sensor cuaca, kelembapan, dan deteksi nutrisi.

a. Sensor Cuaca

Penggunaan sensor cuaca memiliki peran sebagai pengukuran dan analisis dalam bidang yang berbeda. Sensor cuaca digunakan sebagai input dan parameter dalam mengukur tingkat kelembapan pada wilayah agar dapat menentukan jadwal irigasi dilakukan [13]. Selain sebagai irigasi, sensor cuaca juga digunakan sebagai pengukur dan parameter untuk mendeteksi penyakit *rice blast*. Hasil data yang diperoleh dari sensor cuaca tersebut akan diolah menggunakan *machine learning Convolutional Neural Network (CNN)* sehingga menghasilkan prediksi tingkat kelembapan yang menumbuhkan penyakit *rice blast* [17]. Berbagai sensor cuaca yang digunakan adalah sebagai berikut:

- Sensor Barometric Pressure Sensor (BAP)
- Sensor suhu
- Sensor kelembapan
- Sensor curah hujan
- Sensor kecepatan angin

b. Sensor Kelembapan Tanah

Pada sektor irigasi beberapa penelitian memanfaatkan sensor kelembapan tanah sebagai input dan parameter pengairan sawah. Sensor kelembapan tanah akan dipasang dengan mikrokontroler dan sumber tenaga panel surya untuk dapat terus beroperasi pada titik-titik yang sudah ditentukan, sensor diletakan di beberapa titik (tiga atau lebih titik) untuk memaksimalkan data pada lahan, kemudian hasil data yang diperoleh dikirim melalui protokol komunikasi yang efisien seperti Lora, MQTT atau Zigbee untuk dapat menjadi acuan sistem irigasi [14], [15].

c. Sensor Deteksi Nutrisi

Tanaman melakukan proses penyerapan cahaya oleh daun untuk melakukan fotosintesis, proses inilah yang digunakan untuk mendeteksi klorofil melalui sensor IoT. Selama proses ini, alat IoT yang memiliki cahaya merah (620–660 nm) dari lampu *Light Emitting Diode (LED)* dan inframerah (850–940 nm) menerangi daun. Cahaya merah diserap oleh klorofil untuk fotosintesis, sedangkan inframerah dipantulkan atau

diteruskan. Selanjutnya, intensitas cahaya yang diteruskan oleh daun diukur dengan menggunakan sensor spektral, seperti TSL2561. Sensor ini mendeteksi intensitas cahaya inframerah dan LED merah yang diteruskan, lalu nilai *Chlorophyll Content Index* (CCI) dihitung berdasarkan rasio intensitas cahaya inframerah dan LED merah yang diteruskan. Nilai CCI ini menunjukkan kandungan klorofil dalam daun, hal ini berkaitan erat dengan kondisi nutrisi tanaman tersebut. tingkat kandungan klorofil yang tinggi menunjukkan efisiensi proses fotosintesis yang membuat tanaman mendapat energi yang baik sehingga memungkinkan tanaman untuk menghasilkan lebih banyak bahan organik, hal ini akan berkontribusi pada pembentukan buah yang lebih banyak. Metode ini memiliki akurasi cukup tinggi ($R^2 = 0.8372$), tingkat akurasi yang dihasilkan berasal dari komparasi dengan alat SPAD-502, alat pengukuran klorofil komersil dengan harga yang sangat mahal dibandingkan sistem atau alat IoT yang di kembangkan, alat komersil ini biasa digunakan oleh peneliti pada bidang agronomi [12]. Hal tersebut menunjukkan potensi efisiensi yang sangat signifikan dari teknologi IoT, bahkan pada alat yang sudah ada secara komersil yang belum menggunakan teknologi IoT.

3.4 Internet of Things dan Machine Learning

Integrasi *Internet of Things* (IoT) dan *Machine Learning* (ML) memungkinkan pengambilan keputusan dari suatu sistem atau alat yang lebih cerdas dan otomatis melalui pengumpulan data *real-time* dari sensor dan analisis berbasis algoritma untuk meningkatkan efektivitas pengelolaan tanaman padi. Bagaimana suatu model ML mengoptimalkan sistem atau alat IoT memang tidak menjadi pembahasan utama pada studi ini, namun dalam studi ini juga membahas bagaimana potensi dan efektivitas dari perpaduan teknologi IoT dan ML secara bersamaan menghasilkan suatu sistem yang lebih baik. Peran ML adalah sebagai pemrosesan data yang dihasilkan dan di kumpulkan oleh berbagai macam sensor IoT yang saling berkomunikasi dan mengirimkan data menggunakan berbagai macam protokol komunikasi yang efisien. Teknologi IoT berperan mengatur dan mengumpulkan data mentah secara *real-time* untuk dapat diproses oleh model ML. Kombinasi dari kedua teknologi ini menghasilkan suatu

sistem yang sangat efisien dengan studi [17] menghasilkan tingkat prediksi *net* dan *positive* sebesar 87,2%-89,4%. Kombinasi dari kedua teknologi ini tak boleh sembarangan diterapkan, karena teknologi ML sendiri membutuhkan komputasi yang mumpuni untuk menjalankan proses prediksi dari data secara *real-time*, maka dari itu pemrosesan data tidak boleh diterapkan langsung pada alat IoT tetapi data mentah dari alat IoT tersebut diunggah ke platform seperti web atau penyimpanan awan agar dapat diproses dengan komputasi lebih mumpuni.

4. Kesimpulan

Penelitian ini meninjau penerapan teknologi Internet of Things (IoT) dalam pertanian padi yang memainkan peran penting dalam meningkatkan produktivitas dan efisiensi sektor pertanian global. Hasil tinjauan terhadap artikel yang dipilih menunjukkan bahwa teknologi IoT memberikan berbagai manfaat yang signifikan dibandingkan metode konvensional, terutama dalam otomatisasi irigasi, pemantauan kesehatan tanaman, dan penggunaan sumber energi yang lebih efisien. Teknologi IoT memungkinkan sistem irigasi pintar dengan memanfaatkan sensor kelembapan tanah dan kondisi cuaca sebagai parameter utama untuk membuka dan menutup pengairan secara otomatis, dengan tingkat efektivitas dan efisiensi daripada metode konvensional berkisar antara 10% hingga 96%. Selain itu, pemantauan kesehatan tanaman menggunakan IoT juga dimanfaatkan untuk mendeteksi penyakit seperti *rice blast* dengan akurasi hingga 89,4% menggunakan pendekatan *Machine Learning* (ML) dengan model *Convolutional Neural Network* (CNN), IoT juga dapat dimanfaatkan untuk mengukur kadar klorofil untuk pemupukan yang lebih presisi menggunakan kombinasi sinar inframerah dan LED merah serta sensor spektral dengan efektivitas 95,5%. Penggunaan panel surya sebagai sumber energi utama lebih unggul digunakan untuk mengembangkan sistem dan alat IoT, meskipun memiliki stereotipe mahal, ternyata penggunaan panel surya terbukti efektif dalam menekan biaya operasional karena kebutuhan daya perangkat IoT yang relatif rendah berkisar antara 10W-20W. Jenis sensor yang digunakan mencakup sensor cuaca, kelembapan tanah, dan deteksi nutrisi, yang masing-masing berperan penting dalam meningkatkan efisiensi pemantauan kondisi lahan dan tanaman. Pendekatan dengan teknologi lain seperti Machine Learning juga

dibahas sebagai teknologi yang erat kaitannya dengan IoT. Kedua teknologi ini dapat terintegrasi dan menghasilkan sistem dengan pengambilan keputusan yang lebih presisi dengan IoT sebagai teknologi yang mengatur untuk mendapatkan dan mengirim data secara *real-time*, sementara hasil data tersebut akan diproses sehingga menghasilkan suatu prediksi oleh model *Machine Learning* di komputasi awan atau dalam arti, tidak langsung dari alat IoT itu sendiri karena ML membutuhkan komputasi yang mumpuni untuk melakukan prediksi. Secara keseluruhan penerapan dari teknologi IoT untuk pertanian padi tak hanya meningkatkan efektivitas dan efisiensi dengan otomatisasi dan penggunaan sumber energi terbarukan, tetapi juga membuka peluang untuk integrasi dengan teknologi lain seperti ML. Temuan ini menunjukkan bahwa teknologi IoT dapat diterapkan untuk mendapatkan manfaat jangka panjang dari segala segi baik produktivitas, penggunaan energi, dan pengurangan biaya operasional untuk mendukung keberlanjutan pertanian padi. Hasil studi ini mengimplikasikan adanya kesempatan untuk melakukan penelitian lanjutan guna mengatasi tantangan berupa komputasi yang mumpuni untuk analisis data *real-time* dengan mempertimbangkan berbagai faktor yang belum dibahas berupa penggunaan protokol komunikasi yang sangat beragam untuk memaksimalkan infrastruktur minim di daerah pedesaan. Untuk itu disarankan agar penelitian selanjutnya dapat mengeksplorasi bagaimana protokol komunikasi yang diterapkan pada sistem atau alat IoT dapat diterapkan dengan optimal untuk mengirim data agar dapat di proses secara *real-time* dan lebih lanjut oleh model *Machine Learning*, serta eksplorasi yang lebih mendalam mengenai penerapan teknologi ini untuk pertanian padi di Indonesia secara luas yang masih minim teknologi dalam praktiknya.

Daftar Rujukan

- [1] R. K. Ghosh, I. M. Otto, and J. Rommel, "Editorial: Food Security , Agricultural Productivity , and the Environment: Economic , Sustainability , and Policy Perspectives," vol. 10, no. May, pp. 1-2, 2022, doi: 10.1126/science.1234485.
- [2] D. A. Syahputri, "Peran Pertanian dalam Pengembangan Ekonomi: Penilaian Transformasi Struktural dan Dinamika Pertumbuhan Ekonomi," vol. 1, no. 2, pp. 1-9, 2024.
- [3] C. Korgbeelo, "Contribution of Agriculture to the Development of the Nigerian Economy," vol. 4002, no. 3, pp. 167-176, 2022, doi: 10.36346/sarjhss.2022.v04i03.004.
- [4] U. E. R. S. (ERS), "Rice Sector at a Glance."
- [5] B. Kusuma, "Smart Farming System for Monitoring and Optimizing Paddy Field with Internet of Things Technology," *Telematika*, vol. 16, no. 1, pp. 1-11, 2023, doi: 10.35671/telematika.v16i1.2183.
- [6] A. Khumaidi and N. Hikmah, "Rancang Bangun Prototipe Pengusir Hama Burung Menggunakan Sensor Gerak Rcw1 Microwave Berbasis Internet of Things," *Simetris J. Tek. Mesin, Elektro dan Ilmu Komput.*, vol. 11, no. 2, pp. 560-567, 2021, doi: 10.24176/simet.v11i2.5071.
- [7] A. Ambarwari, Dewi Kania Widyawati, and Anung Wahyudi, "Sistem Pemantau Kondisi Lingkungan Pertanian Tanaman Pangan dengan NodeMCU ESP8266 dan Raspberry Pi Berbasis IoT," *J. RESTI (Rekayasa Sist. dan Teknol. Informasi)*, vol. 5, no. 3, pp. 496-503, 2021, doi: 10.29207/resti.v5i3.3037.
- [8] R. Rahmaddi and R. N. Rohmah, "Sistem Keamanan dan Pengairan Ladang Pertanian Berbasis IOT," *Emit. J. Tek. Elektro*, vol. 21, no. 2, pp. 126-134, 2021, doi: 10.23917/emitor.v21i2.13720.
- [9] I. T. Amri, A. Oktarino, and M. Heru, "Jurnal Teknologi dan Ilmu Komputer Perancangan dan Pengembangan Sistem Sensor Kelembapan Tanah Berbasis Arduino," vol. 01, no. 01, pp. 29-34, 2025, doi: 10.35134/Jutekom.v9i2.1.
- [10] A. Dubey and S. K. Yadav, "Basics of Internet of Things," pp. 1-5, 2024, doi: 10.55041/IJSREM37970.
- [11] A. P.S., S. M. D. Kumar, and V. K.R., "MQTT Implementations, Open Issues, and Challenges: A Detailed Comparison and Survey," 2022, doi: http://dx.doi.org/10.2174/2210327913666221216152446.
- [12] H. Andrianto, Suhardi, A. Faizal, N. Budi Kurniawan, and D. Praja Purwa Aji, "Performance evaluation of IoT-based service system for monitoring nutritional

- deficiencies in plants," *Inf. Process. Agric.*, vol. 10, no. 1, pp. 52–70, 2023, doi: 10.1016/j.inpa.2021.10.001.
- [13] Y. Zeng, C. Chen, and G. Lin, "Practical application of an intelligent irrigation system to rice paddies in Taiwan," *Agric. Water Manag.*, vol. 280, no. September 2022, p. 108216, 2023, doi: 10.1016/j.agwat.2023.108216.
- [14] M. Pramanik *et al.*, "Automation of soil moisture sensor-based basin irrigation system," *Smart Agric. Technol.*, vol. 2, no. August 2021, p. 100032, 2022, doi: 10.1016/j.atech.2021.100032.
- [15] S. K. Roy, S. Misra, N. S. Raghuwanshi, and S. K. Das, "AgriSens: IoT-Based Dynamic Irrigation Scheduling System for Water Management of Irrigated Crops," *IEEE Internet Things J.*, vol. 8, no. 6, pp. 5023–5030, 2021, doi: 10.1109/JIOT.2020.3036126.
- [16] M. M. Rana, M. M. Rahman, M. M. H. Oliver, and M. Y. Miah, "Development and evaluation of the first automated irrigation system for alternate wetting and drying technique in rice cultivation in Bangladesh," *Smart Agric. Technol.*, vol. 6, no. August, p. 100348, 2023, doi: 10.1016/j.atech.2023.100348.
- [17] W. Chen, Y. Lin, F. Ng, C. Liu, and Y. Lin, "RiceTalk: Rice Blast Detection using Internet of Things and Artificial Intelligence Technologies," *IEEE Internet Things J.*, vol. PP, no. c, p. 1, 2019, doi: 10.1109/JIOT.2019.2947624.