

KAJIAN LITERATUR PERBANDINGAN TEKNOLOGI LORAWAN DAN NB-IOT PADA SISTEM SMART AGRICULTURE BERBASIS INTERNET OF THINGS

Raihan Riyon Pratama^{1*}, Andi Ahmad Dahlan², Ramiati³, Yulindon Khaidir⁴

^{1,2,3}Politeknik Negeri Padang, Indonesia

^{1*}raihanriyonp@gmail.com, ²aadfuty@gmail.com

ABSTRACT

The development of the Internet of Things (IoT) has encouraged the implementation of smart agriculture systems through the integration of sensors, communication technologies, and automated monitoring systems. Communication technology plays an important role in supporting long-range data transmission with low power consumption and efficient implementation costs. Two Low Power Wide Area Network (LPWAN) technologies widely used in IoT-based smart agriculture are LoRaWAN and Narrowband Internet of Things (NB-IoT). This study aims to analyze and compare the characteristics, performance, advantages, limitations, and implementation of LoRaWAN and NB-IoT through a literature review approach. Scientific articles published between 2021 and 2026 were collected from Google Scholar, IEEE Xplore, ScienceDirect, MDPI, and Springer. The analysis focused on communication coverage, power consumption, latency, scalability, infrastructure requirements, implementation costs, reliability, and suitability for smart agriculture. The results show that LoRaWAN is more suitable for low-power and low-cost monitoring systems, while NB-IoT provides better communication stability and quality of service for real-time applications.

Keywords:

LoRaWAN, NB-IoT, Smart Agriculture, Internet of Things, LPWAN

PENDAHULUAN

Internet Perkembangan Internet of Things (IoT) telah mendorong transformasi pada berbagai sektor, termasuk sektor pertanian modern. Konsep smart agriculture memanfaatkan teknologi IoT untuk meningkatkan efisiensi, produktivitas, dan kualitas pengelolaan pertanian melalui proses monitoring dan otomasi berbasis sensor secara real-time. Implementasi IoT pada smart agriculture memungkinkan proses pemantauan kondisi lingkungan seperti suhu, kelembaban udara, kelembaban tanah, dan sistem irigasi dilakukan secara lebih efektif dan efisien melalui komunikasi data jarak jauh (Tao et al., 2021). Selain itu, integrasi IoT pada sektor pertanian juga mendukung pengambilan keputusan berbasis data guna meningkatkan hasil produksi dan efisiensi penggunaan sumber daya.

Dalam implementasinya, sistem smart agriculture membutuhkan teknologi komunikasi yang mampu mendukung pengiriman data dengan konsumsi daya rendah, jangkauan luas, serta biaya implementasi yang efisien. Oleh karena itu, teknologi Low Power Wide Area Network (LPWAN) menjadi salah satu solusi yang banyak digunakan dalam sistem IoT modern. Dua teknologi LPWAN yang saat ini berkembang pesat pada implementasi smart agriculture adalah LoRaWAN dan Narrowband Internet of Things (NB-IoT) (Rafi et al., 2025). LoRaWAN merupakan teknologi komunikasi nirkabel berdaya rendah dengan cakupan luas yang bekerja pada spektrum unlicensed, sedangkan NB-IoT merupakan teknologi berbasis jaringan seluler yang dirancang untuk mendukung komunikasi IoT dengan kualitas layanan dan stabilitas jaringan yang lebih baik.

Berbagai penelitian telah dilakukan terkait implementasi LoRaWAN dan NB-IoT pada sistem smart agriculture. Lopez et al. (2025) mengembangkan sistem akuisisi data pertanian berbasis LoRaWAN dan menunjukkan bahwa teknologi tersebut mampu memberikan jangkauan komunikasi yang baik dengan konsumsi daya yang rendah. Khairullah et al. (2025) juga menjelaskan bahwa LoRaWAN efektif digunakan pada sistem manajemen irigasi pintar karena mampu mendukung komunikasi jarak jauh dengan kebutuhan energi minimal. Di sisi lain, Soy et al. (2023) melakukan analisis cakupan jaringan LoRa dan NB-IoT pada sistem pelacakan kendaraan pertanian dan menunjukkan bahwa masing-masing teknologi memiliki karakteristik performa yang berbeda bergantung pada kondisi lingkungan dan kebutuhan komunikasi.

Penelitian lain oleh Leenders et al. (2021) menunjukkan bahwa kombinasi LoRaWAN dan NB-IoT memiliki potensi besar dalam mendukung implementasi IoT berskala luas melalui pendekatan multi-radio access technology (multi-RAT). Selain itu, Nawaz dan Babar (2025) menjelaskan bahwa perkembangan smart agriculture modern semakin mengarah pada integrasi IoT dan Artificial Intelligence (AI) untuk meningkatkan efisiensi dan keberlanjutan sistem pertanian. Sementara itu, Gatkal et al. (2024) menegaskan bahwa teknologi IoT berbasis sensor dan komunikasi jarak jauh memainkan peran penting dalam mendukung pertanian presisi (precision agriculture).

Meskipun berbagai penelitian telah membahas implementasi LoRaWAN maupun NB-IoT pada smart agriculture, sebagian besar penelitian masih berfokus pada implementasi salah satu teknologi secara terpisah atau hanya mengevaluasi performa pada skenario tertentu. Kajian yang secara khusus membandingkan karakteristik, performa, konsumsi daya, cakupan jaringan, biaya implementasi, serta relevansi penggunaan LoRaWAN dan NB-IoT pada sistem smart agriculture berbasis IoT masih relatif terbatas, terutama dalam bentuk kajian literatur yang terstruktur dan komprehensif.

Berdasarkan kondisi tersebut, penelitian ini menyajikan kajian literatur mengenai perbandingan teknologi LoRaWAN dan NB-IoT pada sistem smart agriculture berbasis Internet of Things. Penelitian ini berfokus pada analisis komparatif terhadap aspek jangkauan komunikasi, konsumsi daya, skalabilitas, biaya implementasi, serta kesesuaian penggunaan kedua teknologi dalam mendukung sistem smart agriculture modern. Hasil penelitian diharapkan dapat menjadi referensi bagi peneliti dan praktisi dalam menentukan teknologi komunikasi yang sesuai untuk implementasi smart agriculture berbasis IoT.

KAJIAN LITERATUR

Internet of Things

Internet of Things (IoT) merupakan konsep komunikasi yang memungkinkan berbagai perangkat fisik saling terhubung dan bertukar data melalui jaringan Internet tanpa memerlukan interaksi manusia secara langsung. Teknologi IoT memanfaatkan integrasi antara sensor, perangkat komunikasi, sistem komputasi, dan jaringan Internet untuk melakukan proses pengumpulan, pengiriman, serta pengolahan data secara otomatis. Perkembangan IoT telah mendorong transformasi digital pada berbagai sektor seperti kesehatan, industri, transportasi, hingga pertanian modern (Tao et al., 2021).

Secara umum, arsitektur dasar IoT terdiri dari beberapa lapisan utama, yaitu perception layer, network layer, processing layer, dan application layer. Perception layer berfungsi untuk mengumpulkan data dari lingkungan menggunakan sensor atau perangkat akuisisi data. Network layer bertugas mengirimkan data dari sensor menuju server atau pusat pengolahan melalui teknologi komunikasi tertentu seperti Wi-Fi, LoRaWAN, NB-IoT, atau jaringan seluler. Selanjutnya, processing layer melakukan proses penyimpanan, pengolahan, dan analisis data, sedangkan application layer digunakan untuk menampilkan informasi kepada pengguna dalam bentuk monitoring maupun sistem kendali otomatis (Nawaz & Babar, 2025).

Pada sektor pertanian modern, IoT berperan penting dalam mendukung implementasi smart agriculture atau pertanian cerdas. Teknologi IoT memungkinkan proses monitoring kondisi lahan dilakukan secara real-time melalui sensor yang mampu mendeteksi parameter lingkungan seperti suhu, kelembaban tanah, kelembaban udara, intensitas cahaya, dan kondisi irigasi. Data yang diperoleh kemudian dikirimkan melalui jaringan komunikasi untuk dianalisis sehingga dapat membantu petani dalam mengambil keputusan yang lebih efektif dan efisien (Gatkal et al., 2024).

Selain mendukung proses monitoring, implementasi IoT pada smart agriculture juga berperan dalam sistem otomasi pertanian, seperti pengendalian irigasi otomatis, pemupukan cerdas, dan sistem peringatan dini terhadap kondisi lingkungan tertentu. Oleh karena itu, sistem komunikasi data menjadi komponen penting dalam arsitektur IoT karena menentukan kecepatan, jangkauan, stabilitas, dan efisiensi pengiriman data antar perangkat. Dalam implementasi smart agriculture berbasis IoT, teknologi komunikasi Low Power Wide Area Network (LPWAN) seperti LoRaWAN dan NB-IoT banyak digunakan karena mampu mendukung komunikasi jarak jauh dengan konsumsi daya yang rendah (Rafi et al., 2025).

Smart Agriculture

Smart agriculture merupakan konsep pertanian modern yang memanfaatkan teknologi digital untuk meningkatkan efisiensi, produktivitas, dan kualitas pengelolaan sektor pertanian. Implementasi smart agriculture umumnya melibatkan integrasi Internet of Things (IoT), sensor, sistem komunikasi data, cloud computing, serta analisis data untuk mendukung proses monitoring dan pengambilan keputusan secara otomatis maupun semi otomatis. Pemanfaatan teknologi tersebut memungkinkan aktivitas pertanian dilakukan secara lebih efektif dengan penggunaan sumber daya yang lebih optimal (Tao et al., 2021).

Salah satu konsep utama dalam smart agriculture adalah precision agriculture atau pertanian presisi. Precision agriculture merupakan pendekatan pengelolaan pertanian berbasis data yang bertujuan meningkatkan hasil produksi melalui pemantauan kondisi lahan secara spesifik dan real-time. Pada sistem ini, sensor digunakan untuk mengukur berbagai parameter lingkungan seperti suhu, kelembaban tanah, pH tanah, intensitas cahaya, dan kondisi cuaca. Data yang diperoleh kemudian dianalisis untuk menentukan tindakan yang paling sesuai, seperti pengaturan irigasi, pemupukan, maupun pengendalian hama (Gatkal et al., 2024).

Selain mendukung monitoring kondisi pertanian, smart agriculture juga memungkinkan penerapan sistem otomasi pertanian. Teknologi IoT dapat digunakan untuk mengendalikan perangkat secara otomatis berdasarkan data

sensor yang diperoleh. Contohnya adalah sistem irigasi otomatis yang dapat aktif ketika kelembaban tanah berada di bawah nilai tertentu sehingga penggunaan air menjadi lebih efisien. Implementasi otomasi pertanian juga membantu mengurangi keterlibatan manusia secara langsung dan meningkatkan efisiensi operasional pertanian (Khairullah et al., 2025).

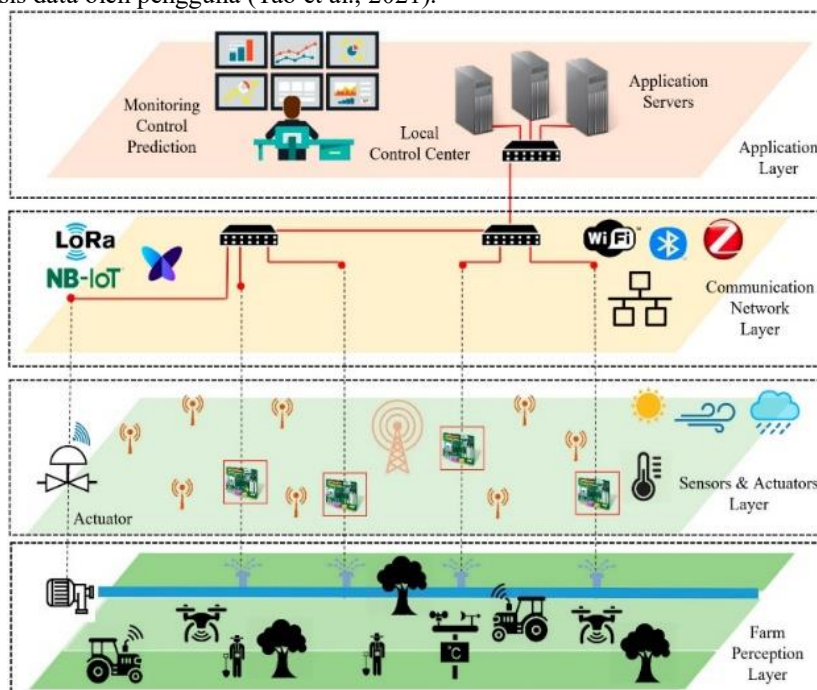
Meskipun menawarkan berbagai keunggulan, implementasi smart agriculture masih menghadapi sejumlah tantangan. Salah satu tantangan utama adalah keterbatasan infrastruktur komunikasi pada wilayah pertanian yang umumnya memiliki cakupan jaringan terbatas. Selain itu, sistem smart agriculture membutuhkan teknologi komunikasi yang mampu mendukung pengiriman data jarak jauh dengan konsumsi daya rendah dan biaya implementasi yang efisien. Tantangan lainnya meliputi skalabilitas sistem, keamanan data, kompatibilitas perangkat, serta kebutuhan energi pada perangkat sensor yang digunakan secara terus-menerus di lapangan (Nawaz & Babar, 2025).

Oleh karena itu, pemilihan teknologi komunikasi menjadi faktor penting dalam implementasi smart agriculture berbasis IoT. Teknologi Low Power Wide Area Network (LPWAN) seperti LoRaWAN dan NB-IoT banyak dikembangkan karena dinilai mampu mendukung kebutuhan komunikasi data pada sistem pertanian cerdas dengan jangkauan luas dan efisiensi daya yang baik.

LoRaWAN

LoRaWAN (Long Range Wide Area Network) merupakan salah satu teknologi komunikasi berbasis Low Power Wide Area Network (LPWAN) yang dirancang untuk mendukung komunikasi data jarak jauh dengan konsumsi daya rendah. LoRaWAN bekerja menggunakan modulasi LoRa (Long Range) pada spektrum frekuensi unlicensed seperti 433 MHz, 868 MHz, dan 915 MHz. Teknologi ini banyak digunakan pada implementasi Internet of Things (IoT) karena mampu mendukung komunikasi perangkat sensor dengan jangkauan luas dan kebutuhan energi yang relatif kecil (Lopez et al., 2025).

Secara umum, arsitektur LoRaWAN terdiri dari empat komponen utama, yaitu end device, gateway, network server, dan application server. End device merupakan perangkat sensor atau node IoT yang bertugas mengumpulkan data dari lingkungan. Data tersebut kemudian dikirimkan ke gateway menggunakan komunikasi LoRa. Selanjutnya, gateway meneruskan data menuju network server melalui koneksi Internet. Network server bertugas mengelola proses autentikasi, pengaturan jaringan, dan distribusi data sebelum akhirnya diteruskan ke application server untuk proses monitoring dan analisis data oleh pengguna (Tao et al., 2021).



Gambar 1. Arsitektur LoRaWAN pada Sistem Smart Agriculture

Cara kerja LoRaWAN dimulai ketika sensor pada end device mengumpulkan data lingkungan seperti suhu, kelembaban tanah, atau kondisi irigasi. Data tersebut dikirimkan secara nirkabel menggunakan sinyal LoRa menuju gateway terdekat. Teknologi LoRa menggunakan metode komunikasi chirp spread spectrum (CSS) yang memungkinkan pengiriman data pada jarak jauh dengan ketahanan interferensi yang baik. Setelah data diterima oleh

gateway, informasi diteruskan menuju server melalui jaringan Internet untuk dilakukan pengolahan dan monitoring secara real-time.

LoRaWAN memiliki beberapa kelebihan dalam implementasi sistem IoT, khususnya pada smart agriculture. Teknologi ini mampu mendukung komunikasi dengan jangkauan luas hingga beberapa kilometer, memiliki konsumsi daya rendah sehingga cocok digunakan pada perangkat berbasis baterai, serta biaya implementasi yang relatif murah karena menggunakan spektrum frekuensi bebas lisensi. Selain itu, LoRaWAN juga mendukung skalabilitas jaringan dengan jumlah perangkat yang cukup besar (Khairullah et al., 2025).

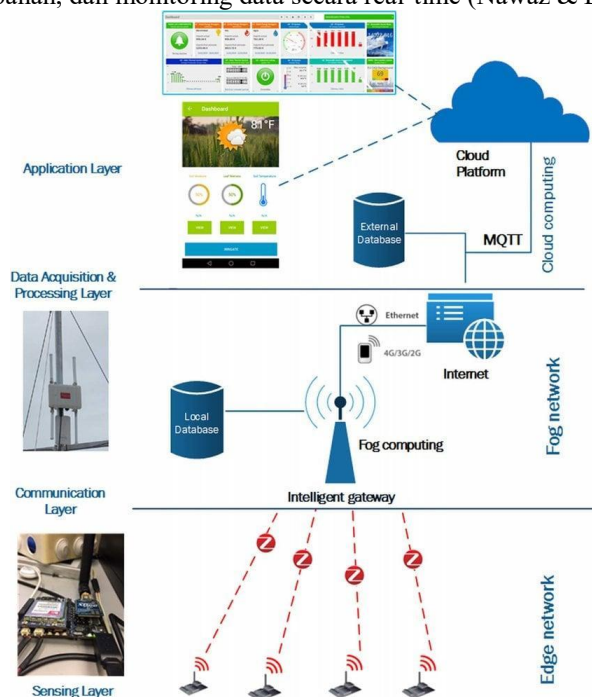
Namun demikian, LoRaWAN juga memiliki beberapa keterbatasan. Teknologi ini memiliki kecepatan transmisi data (data rate) yang relatif rendah dibandingkan teknologi komunikasi seluler. Selain itu, kualitas layanan (Quality of Service/QoS) dan stabilitas jaringan dapat dipengaruhi oleh kondisi lingkungan serta interferensi sinyal karena penggunaan frekuensi unlicensed. Kapasitas pengiriman data yang terbatas juga menyebabkan LoRaWAN kurang optimal untuk aplikasi yang membutuhkan transmisi data berukuran besar atau komunikasi real-time dengan latensi rendah (Soy et al., 2023).

Dalam implementasi smart agriculture, LoRaWAN banyak digunakan untuk mendukung sistem monitoring dan otomasi pertanian berbasis sensor. Lopez et al. (2025) menunjukkan bahwa LoRaWAN mampu digunakan pada sistem akuisisi data pertanian dengan konsumsi daya rendah dan jangkauan komunikasi yang baik pada area pertanian luas. Selain itu, Khairullah et al. (2025) menjelaskan bahwa LoRaWAN efektif diterapkan pada sistem irigasi pintar karena mampu mendukung komunikasi sensor dan aktuator secara efisien dengan kebutuhan energi minimal. Oleh karena itu, LoRaWAN menjadi salah satu teknologi komunikasi yang banyak dipertimbangkan dalam implementasi smart agriculture berbasis Internet of Things.

NB-IoT

Narrowband Internet of Things (NB-IoT) merupakan teknologi komunikasi berbasis Low Power Wide Area Network (LPWAN) yang dikembangkan oleh 3rd Generation Partnership Project (3GPP) untuk mendukung komunikasi perangkat Internet of Things (IoT) dengan konsumsi daya rendah, cakupan jaringan luas, serta konektivitas yang stabil. Berbeda dengan LoRaWAN yang menggunakan spektrum frekuensi unlicensed, NB-IoT bekerja pada jaringan seluler berlisensi milik operator telekomunikasi sehingga memiliki kualitas layanan (Quality of Service/QoS) dan reliabilitas komunikasi yang lebih baik (Rafi et al., 2025).

Secara umum, arsitektur NB-IoT terdiri dari perangkat sensor atau user equipment (UE), base station atau eNodeB, jaringan inti seluler (core network), serta application server. Perangkat sensor bertugas mengumpulkan data lingkungan seperti suhu, kelembaban tanah, atau kondisi cuaca. Data tersebut kemudian dikirimkan menuju base station NB-IoT menggunakan jaringan seluler. Selanjutnya, data diteruskan melalui core network menuju server aplikasi untuk dilakukan pengolahan, penyimpanan, dan monitoring data secara real-time (Nawaz & Babar, 2025).



Gambar 2. Arsitektur NB-IoT pada Sistem Smart Agriculture

Cara kerja NB-IoT dimulai ketika sensor pada perangkat IoT mengumpulkan data dari lingkungan pertanian. Data kemudian dikirimkan melalui jaringan NB-IoT menuju base station terdekat. Teknologi NB-IoT menggunakan kanal komunikasi sempit (narrowband) dengan bandwidth sekitar 180 kHz sehingga mampu mendukung komunikasi data dengan efisiensi energi yang baik. Setelah data diterima oleh jaringan inti seluler, informasi diteruskan menuju server aplikasi untuk dilakukan analisis dan pengambilan keputusan.

NB-IoT memiliki beberapa kelebihan dalam implementasi sistem IoT, khususnya pada smart agriculture. Teknologi ini menawarkan cakupan jaringan yang luas dengan stabilitas komunikasi yang baik karena memanfaatkan infrastruktur operator seluler. Selain itu, NB-IoT memiliki tingkat reliabilitas dan keamanan komunikasi yang lebih tinggi dibandingkan teknologi komunikasi berbasis frekuensi unlicensed. NB-IoT juga mampu mendukung koneksi perangkat IoT dalam jumlah besar dengan konsumsi daya yang relatif rendah (Leenders et al., 2021).

Meskipun demikian, NB-IoT juga memiliki beberapa keterbatasan. Implementasi NB-IoT memerlukan dukungan infrastruktur jaringan seluler dari operator telekomunikasi sehingga biaya implementasinya cenderung lebih tinggi dibandingkan LoRaWAN. Selain itu, ketergantungan terhadap jaringan operator menyebabkan fleksibilitas implementasi menjadi lebih terbatas, terutama pada wilayah pertanian yang belum memiliki cakupan jaringan seluler yang memadai. NB-IoT juga memiliki latensi komunikasi yang dapat lebih tinggi pada beberapa kondisi jaringan tertentu (Soy et al., 2023).

Dalam implementasi smart agriculture, NB-IoT banyak digunakan pada sistem monitoring pertanian berbasis sensor yang membutuhkan stabilitas komunikasi dan cakupan jaringan yang baik. Teknologi ini dapat diterapkan pada sistem pemantauan kelembaban tanah, pemantauan cuaca, sistem irigasi pintar, hingga pelacakan kendaraan pertanian secara real-time. Dengan dukungan infrastruktur seluler dan kemampuan komunikasi jarak jauh, NB-IoT menjadi salah satu solusi yang potensial untuk mendukung pengembangan smart agriculture berbasis Internet of Things.

Penelitian Terdahulu

Berbagai penelitian telah dilakukan terkait implementasi teknologi LoRaWAN dan NB-IoT pada sistem smart agriculture berbasis Internet of Things (IoT). Penelitian-penelitian tersebut umumnya membahas performa komunikasi, konsumsi daya, cakupan jaringan, hingga implementasi teknologi LPWAN pada monitoring dan otomasi pertanian. Ringkasan penelitian terdahulu yang relevan dengan topik penelitian ini ditunjukkan pada Tabel 1.

Tabel 1. Ringkasan Penelitian Terdahulu

| No | Peneliti | Tahun | Fokus Penelitian | Metode | Temuan |
|----|-------------------|-------|------------------------------------------------------------------------|---------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------|
| 1 | Tao et al. | 2021 | Teknologi komunikasi IoT pada smart agriculture | Literature Review | LPWAN menjadi solusi utama komunikasi IoT pertanian |
| 2 | Leenders et al. | 2021 | Kombinasi LoRaWAN dan NB-IoT pada IoT | Analisis Komparatif | LoRaWAN dan NB-IoT memiliki potensi implementasi bersama melalui multi-RAT |
| 3 | Soy et al. | 2023 | Analisis cakupan LoRa dan NB-IoT pada kendaraan pertanian | Eksperimen | LoRa dan NB-IoT memiliki karakteristik cakupan jaringan yang berbeda |
| 4 | Gatkal et al. | 2024 | IoT dan elektronika pada smart agriculture | Literature Review | Sensor dan komunikasi data berperan penting dalam precision agriculture |
| 5 | Lopez et al. | 2025 | Sistem akuisisi data pertanian berbasis LoRaWAN | Implementasi Sistem | LoRaWAN mampu mendukung komunikasi jarak jauh dengan konsumsi daya rendah |
| 6 | Khairullah et al. | 2025 | LoRaWAN untuk smart water management | Literature Review | LoRaWAN efektif digunakan pada sistem irigasi pintar |
| 7 | Rafi et al. | 2025 | Perbandingan LPWAN, 5G, dan hybrid connectivity pada smart agriculture | Analisis Komparatif | Pemilihan teknologi komunikasi dipengaruhi kebutuhan cakupan, biaya, dan efisiensi daya |
| 8 | Nawaz dan Babar | 2025 | Integrasi IoT dan AI pada smart agriculture | Literature Review | IoT dan AI mendukung efisiensi dan keberlanjutan pertanian modern |

Berdasarkan penelitian terdahulu tersebut, dapat diketahui bahwa LoRaWAN dan NB-IoT merupakan teknologi komunikasi yang banyak digunakan dalam implementasi smart agriculture berbasis IoT. Namun, sebagian besar penelitian masih berfokus pada implementasi salah satu teknologi atau membahas performa pada skenario tertentu. Oleh karena itu, penelitian ini dilakukan untuk menyajikan kajian literatur yang lebih komprehensif mengenai perbandingan LoRaWAN dan NB-IoT berdasarkan aspek jangkauan komunikasi, konsumsi daya, biaya implementasi, skalabilitas,

dan kesesuaian penerapannya pada sistem smart agriculture modern.

METODE PENELITIAN

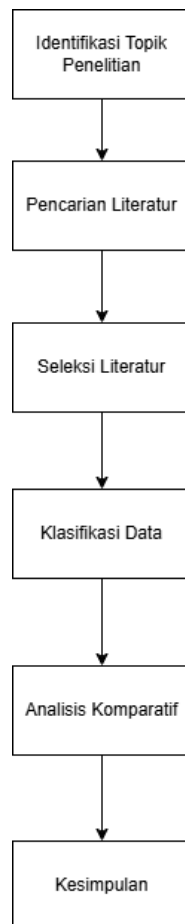
Penelitian ini menggunakan metode Literature Review dengan pendekatan deskriptif kualitatif. Metode ini dilakukan dengan mengumpulkan, mempelajari, serta menganalisis berbagai literatur ilmiah yang berkaitan dengan teknologi LoRaWAN dan NB-IoT pada sistem smart agriculture berbasis Internet of Things (IoT). Literatur yang digunakan meliputi jurnal ilmiah, artikel konferensi, dan publikasi akademik lain yang relevan dengan topik penelitian.

Sumber data penelitian diperoleh dari beberapa platform publikasi ilmiah seperti Google Scholar, IEEE Xplore, ScienceDirect, MDPI, dan Springer. Literatur dicari menggunakan beberapa kata kunci (keywords), yaitu “LoRaWAN”, “NB-IoT”, “Smart Agriculture”, dan “LPWAN IoT”. Selain itu, kombinasi kata kunci seperti “LoRaWAN for Smart Agriculture”, “NB-IoT in Agriculture”, dan “Comparison of LoRaWAN and NB-IoT” juga digunakan untuk memperoleh referensi yang lebih spesifik dan relevan.

Literatur yang diperoleh kemudian diseleksi berdasarkan beberapa kriteria, yaitu publikasi tahun 2021–2026, relevansi terhadap topik penelitian, ketersediaan naskah lengkap (full text), serta kredibilitas sumber publikasi. Artikel yang tidak memiliki keterkaitan langsung dengan implementasi LoRaWAN, NB-IoT, atau smart agriculture tidak digunakan dalam proses analisis.

Data dan informasi yang diperoleh dari literatur selanjutnya dianalisis menggunakan metode deskriptif komparatif. Analisis dilakukan dengan membandingkan karakteristik LoRaWAN dan NB-IoT berdasarkan beberapa aspek utama, yaitu jangkauan komunikasi, konsumsi daya, latensi, skalabilitas, kebutuhan infrastruktur, biaya implementasi, reliabilitas jaringan, dan kesesuaian penggunaan pada sistem smart agriculture berbasis IoT.

Tahapan penelitian dilakukan secara sistematis mulai dari identifikasi topik penelitian, pencarian literatur, seleksi literatur, klasifikasi data, analisis komparatif, hingga penarikan kesimpulan. Diagram alur penelitian ditunjukkan pada Gambar 3.



Gambar 3. Diagram Alur Penelitian

HASIL DAN PEMBAHASAN

Karakteristik LoRaWAN pada Smart Agriculture

LoRaWAN merupakan salah satu teknologi komunikasi berbasis Low Power Wide Area Network (LPWAN) yang banyak digunakan pada implementasi smart agriculture berbasis Internet of Things (IoT). Teknologi ini dirancang untuk mendukung komunikasi data jarak jauh dengan konsumsi daya rendah sehingga sesuai digunakan pada lingkungan pertanian yang umumnya memiliki area luas dan keterbatasan sumber daya listrik.

Salah satu karakteristik utama LoRaWAN adalah kemampuan jangkauan komunikasinya yang luas. Teknologi ini mampu mendukung pengiriman data hingga beberapa kilometer tergantung pada kondisi lingkungan dan topografi wilayah. Pada area terbuka seperti lahan pertanian, LoRaWAN dapat memberikan cakupan komunikasi yang lebih luas dibandingkan teknologi komunikasi jarak dekat lainnya. Lopez et al. (2025) menunjukkan bahwa LoRaWAN mampu digunakan untuk sistem akuisisi data pertanian pada area pertanian luas dengan kualitas komunikasi yang baik dan stabil.

Selain memiliki jangkauan luas, LoRaWAN juga dikenal memiliki konsumsi daya yang rendah. Perangkat sensor berbasis LoRaWAN dapat beroperasi dalam waktu lama menggunakan sumber daya baterai karena teknologi ini dirancang untuk mengirimkan data dalam ukuran kecil dengan interval tertentu. Karakteristik tersebut menjadikan LoRaWAN sangat sesuai diterapkan pada sistem monitoring pertanian yang membutuhkan perangkat sensor aktif secara terus-menerus di lapangan. Khairullah et al. (2025) menjelaskan bahwa efisiensi daya pada LoRaWAN memungkinkan implementasi sistem irigasi pintar dengan kebutuhan energi yang minimal.

Dari sisi topologi jaringan, LoRaWAN menggunakan arsitektur berbasis star-of-stars yang terdiri dari end device, gateway, network server, dan application server. Perangkat sensor mengirimkan data menuju gateway menggunakan komunikasi LoRa, kemudian data diteruskan ke server melalui jaringan Internet. Topologi ini memungkinkan implementasi jaringan yang relatif sederhana dan fleksibel pada area pertanian dengan cakupan luas.

LoRaWAN memiliki beberapa kelebihan dalam implementasi smart agriculture. Teknologi ini menawarkan biaya implementasi yang relatif rendah karena menggunakan spektrum frekuensi unlicensed sehingga tidak memerlukan lisensi operator seluler. Selain itu, LoRaWAN mendukung skalabilitas jaringan yang baik dan mampu menghubungkan banyak perangkat sensor secara bersamaan. Karakteristik tersebut membuat LoRaWAN banyak digunakan pada sistem monitoring kelembaban tanah, pemantauan kondisi lingkungan, dan sistem irigasi otomatis.

Namun demikian, LoRaWAN juga memiliki beberapa keterbatasan. Kecepatan transmisi data (data rate) pada LoRaWAN relatif rendah dibandingkan teknologi komunikasi seluler seperti NB-IoT. Selain itu, kualitas komunikasi dapat dipengaruhi oleh interferensi sinyal dan kondisi lingkungan karena penggunaan frekuensi unlicensed. Soy et al. (2023) menunjukkan bahwa performa LoRaWAN dapat mengalami penurunan pada kondisi tertentu, terutama pada lingkungan dengan hambatan sinyal atau kepadatan perangkat yang tinggi.

Berdasarkan karakteristik tersebut, LoRaWAN dinilai cocok digunakan pada sistem smart agriculture yang membutuhkan komunikasi jarak jauh, konsumsi daya rendah, serta biaya implementasi yang relatif murah. Teknologi ini lebih sesuai diterapkan pada aplikasi monitoring berbasis sensor dengan kebutuhan transmisi data berukuran kecil dan interval pengiriman data yang tidak terlalu tinggi.

Karakteristik NB-IoT pada Smart Agriculture

Narrowband Internet of Things (NB-IoT) merupakan teknologi komunikasi berbasis Low Power Wide Area Network (LPWAN) yang dikembangkan untuk mendukung komunikasi perangkat Internet of Things (IoT) melalui infrastruktur jaringan seluler. Teknologi ini dirancang untuk menyediakan komunikasi data dengan cakupan luas, efisiensi daya yang baik, serta konektivitas yang stabil pada berbagai lingkungan implementasi, termasuk sektor smart agriculture.

Salah satu karakteristik utama NB-IoT adalah penggunaan infrastruktur jaringan seluler milik operator telekomunikasi. Berbeda dengan LoRaWAN yang menggunakan spektrum frekuensi unlicensed, NB-IoT bekerja pada spektrum berlisensi sehingga memiliki dukungan jaringan yang lebih terstruktur dan stabil. Pemanfaatan infrastruktur seluler memungkinkan NB-IoT mendukung komunikasi data pada area yang luas tanpa memerlukan pembangunan gateway secara mandiri. Karakteristik ini menjadi salah satu keunggulan NB-IoT pada implementasi smart agriculture berskala besar (Leenders et al., 2021).

Selain itu, NB-IoT memiliki stabilitas jaringan yang baik karena didukung oleh sistem komunikasi seluler dengan manajemen jaringan yang terpusat. Teknologi ini mampu menyediakan konektivitas yang lebih andal pada lingkungan dengan kepadatan perangkat tinggi maupun kondisi komunikasi yang kompleks. Pada implementasi smart agriculture, stabilitas jaringan sangat penting untuk mendukung proses monitoring kondisi lahan dan pengiriman data sensor secara kontinu.

NB-IoT juga menawarkan kualitas layanan (Quality of Service/QoS) yang lebih baik dibandingkan beberapa teknologi LPWAN lainnya. Penggunaan jaringan berlisensi memungkinkan NB-IoT memiliki tingkat interferensi sinyal yang lebih rendah sehingga komunikasi data menjadi lebih stabil dan aman. Selain itu, teknologi ini mendukung mekanisme keamanan jaringan seluler yang dapat meningkatkan perlindungan data pada sistem IoT pertanian modern (Rafi et al., 2025).

Dari sisi kelebihan, NB-IoT mampu mendukung koneksi perangkat IoT dalam jumlah besar dengan kualitas komunikasi yang baik. Teknologi ini juga memiliki cakupan jaringan luas dan mampu bekerja pada area dengan kondisi sinyal yang sulit seperti wilayah pedesaan atau area tertutup. Karakteristik tersebut menjadikan NB-IoT cocok digunakan pada sistem monitoring pertanian yang membutuhkan pengiriman data secara stabil dan real-time.

Namun demikian, NB-IoT juga memiliki beberapa keterbatasan. Implementasi teknologi ini sangat bergantung pada ketersediaan infrastruktur jaringan operator seluler sehingga fleksibilitas implementasinya menjadi lebih terbatas dibandingkan LoRaWAN. Selain itu, biaya implementasi dan operasional NB-IoT cenderung lebih tinggi karena penggunaan layanan jaringan operator. Pada beberapa kondisi, latensi komunikasi NB-IoT juga dapat dipengaruhi oleh kepadatan trafik jaringan seluler (Soy et al., 2023).

Berdasarkan karakteristik tersebut, NB-IoT dinilai sesuai digunakan pada sistem smart agriculture yang membutuhkan stabilitas komunikasi, cakupan jaringan luas, serta kualitas layanan yang baik. Teknologi ini lebih cocok diterapkan pada aplikasi pertanian yang memerlukan komunikasi data secara kontinu dan tingkat reliabilitas jaringan yang tinggi.

Perbandingan LoRaWAN dan NB-IoT

LoRaWAN dan NB-IoT merupakan dua teknologi komunikasi berbasis Low Power Wide Area Network (LPWAN) yang banyak digunakan pada implementasi Internet of Things (IoT), termasuk pada sistem smart agriculture. Kedua teknologi tersebut memiliki karakteristik yang berbeda dari sisi jangkauan komunikasi, konsumsi daya, latensi, skalabilitas, kebutuhan infrastruktur, biaya implementasi, dan tingkat reliabilitas jaringan. Oleh karena itu, pemilihan teknologi komunikasi perlu disesuaikan dengan kebutuhan sistem dan kondisi lingkungan implementasi.

Dari sisi coverage atau jangkauan komunikasi, LoRaWAN mampu mendukung komunikasi data pada area yang luas dengan jarak beberapa kilometer, terutama pada wilayah terbuka seperti lahan pertanian. Teknologi ini cocok digunakan pada area pedesaan yang memiliki cakupan jaringan seluler terbatas. Sementara itu, NB-IoT juga memiliki jangkauan komunikasi yang luas karena memanfaatkan infrastruktur jaringan seluler operator telekomunikasi. Namun, performa cakupan NB-IoT sangat bergantung pada ketersediaan jaringan operator pada wilayah implementasi (Soy et al., 2023).

Pada aspek konsumsi daya, LoRaWAN memiliki efisiensi energi yang sangat baik karena dirancang untuk pengiriman data berukuran kecil dengan interval tertentu. Perangkat sensor berbasis LoRaWAN dapat bekerja dalam waktu lama menggunakan baterai sehingga cocok diterapkan pada sistem monitoring pertanian jangka panjang. NB-IoT juga mendukung komunikasi berdaya rendah, namun konsumsi dayanya umumnya lebih tinggi dibandingkan LoRaWAN karena penggunaan infrastruktur jaringan seluler dan mekanisme komunikasi yang lebih kompleks (Rafi et al., 2025).

Dari sisi latensi komunikasi, NB-IoT memiliki performa yang lebih baik dibandingkan LoRaWAN pada beberapa kondisi implementasi. Teknologi NB-IoT mendukung kualitas layanan (Quality of Service/QoS) yang lebih stabil sehingga cocok digunakan pada aplikasi yang membutuhkan komunikasi data secara kontinu dan real-time. Sebaliknya, LoRaWAN lebih optimal digunakan pada aplikasi monitoring berkala dengan kebutuhan transmisi data yang relatif kecil.

Pada aspek skalabilitas, kedua teknologi mampu mendukung implementasi IoT dalam jumlah perangkat yang besar. LoRaWAN memiliki fleksibilitas yang tinggi dalam pengembangan jaringan mandiri karena penggunaan spektrum frekuensi unlicensed. Namun, peningkatan jumlah perangkat yang terlalu banyak dapat mempengaruhi performa jaringan akibat potensi interferensi sinyal. Di sisi lain, NB-IoT didukung oleh infrastruktur operator seluler sehingga mampu menyediakan manajemen jaringan yang lebih terstruktur dan stabil untuk koneksi perangkat dalam jumlah besar (Leenders et al., 2021).

Perbedaan lainnya terlihat pada kebutuhan infrastruktur dan biaya implementasi. LoRaWAN memiliki biaya implementasi yang relatif lebih rendah karena tidak memerlukan layanan operator seluler dan dapat dikembangkan menggunakan gateway mandiri. Teknologi ini cocok diterapkan pada area pertanian dengan keterbatasan infrastruktur komunikasi. Sebaliknya, NB-IoT memerlukan dukungan jaringan operator sehingga biaya implementasi dan operasional cenderung lebih tinggi. Namun, penggunaan infrastruktur seluler memberikan keuntungan dari sisi stabilitas dan keamanan komunikasi.

Dari aspek reliability, NB-IoT memiliki tingkat reliabilitas komunikasi yang lebih baik karena bekerja pada jaringan berlisensi dengan interferensi yang lebih rendah. Teknologi ini juga mendukung keamanan komunikasi yang lebih kuat dibandingkan LoRaWAN. Sementara itu, LoRaWAN lebih rentan terhadap gangguan sinyal karena menggunakan spektrum frekuensi unlicensed, terutama pada lingkungan dengan kepadatan perangkat tinggi.

Berdasarkan hasil kajian literatur, LoRaWAN dinilai lebih cocok digunakan pada sistem smart agriculture yang membutuhkan komunikasi jarak jauh, konsumsi daya rendah, dan biaya implementasi yang murah, seperti monitoring kelembaban tanah dan sistem irigasi pintar. Di sisi lain, NB-IoT lebih sesuai diterapkan pada sistem pertanian yang membutuhkan stabilitas komunikasi tinggi, kualitas layanan yang baik, serta integrasi dengan infrastruktur jaringan seluler.

Tabel 2. Perbandingan LoRaWAN dan NB-IoT pada Smart Agriculture

| Aspek | LoRaWAN | NB-IoT |
|------------------------------|------------------------|----------------------------------------|
| Coverage | Luas pada area terbuka | Luas bergantung jaringan seluler |
| Konsumsi daya | Sangat rendah | Rendah |
| Latensi | Relatif lebih tinggi | Lebih stabil |
| Skalabilitas | Baik | Sangat baik |
| Infrastruktur | Gateway mandiri | Infrastruktur operator seluler |
| Biaya implementasi | Relatif murah | Relatif lebih mahal |
| Reliability | Cukup baik | Sangat baik |
| Kesesuaian smart agriculture | Monitoring dan irigasi | Monitoring real-time dan sistem kritis |

Analisis Implementasi pada Smart Agriculture

Implementasi teknologi LoRaWAN dan NB-IoT pada sistem smart agriculture telah banyak diterapkan untuk mendukung proses monitoring dan otomasi pertanian berbasis Internet of Things (IoT). Pemanfaatan kedua teknologi tersebut memungkinkan pengumpulan dan pengiriman data secara real-time dari berbagai perangkat sensor yang tersebar pada area pertanian. Berdasarkan hasil kajian literatur, implementasi LoRaWAN dan NB-IoT pada smart agriculture umumnya digunakan pada monitoring kelembaban tanah, sistem smart irrigation, pelacakan aktivitas pertanian, dan precision agriculture.

Pada sistem monitoring kelembaban tanah, sensor digunakan untuk mengukur kadar air tanah secara berkala sehingga kondisi lahan dapat dipantau secara real-time. LoRaWAN banyak digunakan pada implementasi ini karena memiliki konsumsi daya rendah dan mampu mendukung komunikasi pada area pertanian yang luas. Teknologi ini memungkinkan perangkat sensor bekerja dalam waktu lama menggunakan sumber daya baterai sehingga cocok diterapkan pada lahan pertanian yang sulit dijangkau sumber listrik. Lopez et al. (2025) menunjukkan bahwa LoRaWAN mampu mendukung pengiriman data sensor pertanian secara stabil dengan kebutuhan energi yang minimal.

Selain monitoring kelembaban tanah, teknologi LPWAN juga banyak diterapkan pada sistem smart irrigation atau irigasi pintar. Sistem ini memanfaatkan sensor kelembaban tanah dan aktuator untuk mengontrol distribusi air secara otomatis berdasarkan kondisi lahan. LoRaWAN dinilai efektif digunakan pada sistem irigasi pintar karena mampu mendukung komunikasi jarak jauh dengan biaya implementasi yang relatif rendah. Khairullah et al. (2025) menjelaskan bahwa penggunaan LoRaWAN pada sistem manajemen irigasi dapat meningkatkan efisiensi penggunaan air dan mendukung pengelolaan pertanian yang lebih berkelanjutan.

Pada implementasi tracking pertanian, teknologi komunikasi digunakan untuk memantau posisi kendaraan, alat pertanian, maupun distribusi hasil pertanian secara real-time. Dalam implementasi ini, NB-IoT memiliki keunggulan dari sisi stabilitas komunikasi dan kualitas layanan (Quality of Service/QoS) karena memanfaatkan infrastruktur jaringan seluler. Soy et al. (2023) menunjukkan bahwa NB-IoT mampu memberikan performa komunikasi yang lebih stabil pada sistem pelacakan kendaraan pertanian dibandingkan beberapa teknologi LPWAN lainnya.

Implementasi teknologi komunikasi LPWAN juga berperan penting dalam mendukung precision agriculture atau pertanian presisi. Konsep ini memanfaatkan data sensor dan sistem komunikasi untuk membantu proses pengambilan keputusan berbasis data secara lebih akurat. Teknologi LoRaWAN dan NB-IoT memungkinkan pengumpulan data lingkungan secara kontinu sehingga petani dapat melakukan pengelolaan lahan secara lebih efektif dan efisien. Gatkal et al. (2024) menjelaskan bahwa integrasi IoT, sensor, dan komunikasi data menjadi faktor utama dalam mendukung implementasi pertanian presisi modern.

Berdasarkan hasil analisis implementasi pada smart agriculture, LoRaWAN lebih sesuai digunakan pada sistem monitoring dan otomasi pertanian dengan kebutuhan komunikasi jarak jauh, konsumsi daya rendah, dan biaya implementasi yang murah. Sementara itu, NB-IoT lebih cocok diterapkan pada sistem yang membutuhkan stabilitas komunikasi tinggi, pelacakan real-time, dan dukungan kualitas layanan yang lebih baik. Oleh karena itu, pemilihan teknologi komunikasi pada smart agriculture perlu disesuaikan dengan kebutuhan sistem dan kondisi lingkungan implementasi.

Analisis Kelebihan dan Keterbatasan

Berdasarkan hasil kajian literatur, LoRaWAN dan NB-IoT memiliki karakteristik yang berbeda sehingga penerapannya pada sistem smart agriculture perlu disesuaikan dengan kebutuhan komunikasi dan kondisi lingkungan implementasi. Masing-masing teknologi memiliki kelebihan dan keterbatasan yang mempengaruhi performa sistem Internet of Things (IoT) pada sektor pertanian modern.

LoRaWAN lebih cocok digunakan pada sistem smart agriculture yang membutuhkan komunikasi jarak jauh dengan konsumsi daya rendah dan biaya implementasi yang relatif murah. Teknologi ini sesuai diterapkan pada sistem monitoring lingkungan pertanian seperti pemantauan kelembaban tanah, suhu, kelembaban udara, serta sistem irigasi otomatis yang mengirimkan data secara berkala dalam ukuran kecil. Penggunaan spektrum frekuensi unlicensed memungkinkan LoRaWAN dikembangkan secara mandiri tanpa ketergantungan terhadap operator seluler sehingga lebih fleksibel diterapkan pada wilayah pertanian terpencil dengan keterbatasan infrastruktur komunikasi (Khairullah et al., 2025).

Selain itu, LoRaWAN memiliki keunggulan dari sisi efisiensi energi sehingga perangkat sensor dapat bekerja dalam waktu lama menggunakan baterai. Karakteristik tersebut menjadikan LoRaWAN sangat sesuai untuk implementasi smart agriculture berskala luas yang membutuhkan banyak perangkat sensor dengan biaya operasional rendah. Namun demikian, LoRaWAN memiliki keterbatasan pada kapasitas pengiriman data dan kualitas layanan komunikasi. Penggunaan frekuensi unlicensed juga menyebabkan teknologi ini lebih rentan terhadap interferensi sinyal dan penurunan performa pada lingkungan dengan kepadatan perangkat tinggi (Soy et al., 2023).

Di sisi lain, NB-IoT lebih cocok digunakan pada sistem smart agriculture yang membutuhkan stabilitas komunikasi, reliabilitas jaringan, dan kualitas layanan (Quality of Service/QoS) yang baik. Teknologi ini sesuai diterapkan pada aplikasi monitoring real-time, pelacakan kendaraan pertanian, serta sistem pertanian yang membutuhkan komunikasi data secara kontinu dan stabil. Penggunaan infrastruktur jaringan seluler membuat NB-IoT memiliki cakupan jaringan luas dengan tingkat keamanan komunikasi yang lebih baik dibandingkan LoRaWAN (Leenders et al., 2021).

NB-IoT juga mendukung koneksi perangkat dalam jumlah besar dengan manajemen jaringan yang lebih terstruktur. Namun, implementasi NB-IoT memiliki keterbatasan dari sisi biaya karena memerlukan dukungan layanan operator seluler dan infrastruktur jaringan berlisensi. Selain itu, konsumsi daya NB-IoT umumnya lebih tinggi dibandingkan LoRaWAN sehingga kurang optimal untuk perangkat sensor dengan kebutuhan operasi jangka panjang menggunakan baterai (Rafi et al., 2025).

Secara umum, implementasi teknologi LPWAN pada smart agriculture masih menghadapi beberapa tantangan. Salah satu tantangan utama adalah keterbatasan infrastruktur komunikasi pada wilayah pertanian terpencil yang dapat mempengaruhi kualitas konektivitas jaringan. Tantangan lainnya meliputi efisiensi energi perangkat sensor, skalabilitas jaringan, keamanan data, interferensi sinyal, serta biaya implementasi dan pemeliharaan sistem IoT. Selain itu, perbedaan kebutuhan aplikasi pertanian menyebabkan tidak ada satu teknologi komunikasi yang sepenuhnya unggul untuk seluruh skenario implementasi.

Oleh karena itu, pemilihan teknologi komunikasi pada smart agriculture perlu mempertimbangkan kebutuhan sistem, kondisi lingkungan, ketersediaan infrastruktur, serta efisiensi biaya implementasi. LoRaWAN lebih sesuai untuk aplikasi monitoring berbasis sensor dengan kebutuhan daya rendah dan biaya murah, sedangkan NB-IoT lebih tepat digunakan pada aplikasi yang membutuhkan stabilitas komunikasi dan kualitas layanan yang lebih tinggi.

Sintesis Hasil Kajian

Berdasarkan hasil kajian literatur yang telah dilakukan, dapat diketahui bahwa teknologi LoRaWAN dan NB-IoT memiliki karakteristik yang berbeda dalam mendukung implementasi smart agriculture berbasis Internet of Things (IoT). Kedua teknologi tersebut sama-sama termasuk dalam kategori Low Power Wide Area Network (LPWAN) yang dirancang untuk mendukung komunikasi data jarak jauh dengan konsumsi daya rendah. Namun, perbedaan pada arsitektur jaringan, infrastruktur komunikasi, kualitas layanan, dan biaya implementasi menyebabkan masing-masing teknologi memiliki keunggulan pada kondisi implementasi tertentu.

Hasil analisis menunjukkan bahwa LoRaWAN memiliki keunggulan utama pada aspek konsumsi daya rendah, fleksibilitas implementasi, dan biaya operasional yang relatif murah. Teknologi ini sangat sesuai diterapkan pada sistem monitoring pertanian berbasis sensor dengan kebutuhan pengiriman data berkala dalam ukuran kecil, seperti monitoring kelembaban tanah, suhu, dan sistem irigasi otomatis. Selain itu, LoRaWAN lebih efektif digunakan pada wilayah pertanian yang luas dan memiliki keterbatasan infrastruktur jaringan seluler karena teknologi ini dapat dikembangkan menggunakan gateway mandiri tanpa ketergantungan terhadap operator telekomunikasi.

Di sisi lain, NB-IoT menunjukkan keunggulan pada aspek stabilitas komunikasi, kualitas layanan (Quality of Service/QoS), reliabilitas jaringan, dan keamanan komunikasi data. Teknologi ini lebih efektif digunakan pada implementasi smart agriculture yang membutuhkan komunikasi data secara kontinu dan real-time, seperti pelacakan kendaraan pertanian, monitoring sistem kritis, dan aplikasi yang memerlukan konektivitas stabil dengan jumlah perangkat yang besar. Dukungan infrastruktur jaringan seluler juga memungkinkan NB-IoT memberikan cakupan jaringan yang lebih terstruktur dan andal.

Hasil kajian juga menunjukkan bahwa tidak terdapat satu teknologi yang sepenuhnya unggul untuk seluruh kebutuhan smart agriculture. Pemilihan teknologi komunikasi sangat dipengaruhi oleh karakteristik lingkungan pertanian, kebutuhan aplikasi, efisiensi energi, biaya implementasi, dan ketersediaan infrastruktur jaringan. Pada implementasi dengan prioritas efisiensi daya dan biaya rendah, LoRaWAN menjadi pilihan yang lebih sesuai. Sebaliknya, pada implementasi yang membutuhkan stabilitas komunikasi tinggi dan kualitas layanan yang lebih baik, NB-IoT menjadi solusi yang lebih efektif.

Selain itu, perkembangan smart agriculture modern menunjukkan bahwa integrasi berbagai teknologi komunikasi dan sistem IoT akan semakin dibutuhkan untuk mendukung pertanian presisi (precision agriculture). Integrasi sensor, komunikasi data, cloud computing, dan analisis data berbasis Artificial Intelligence (AI) berpotensi meningkatkan efisiensi dan keberlanjutan sistem pertanian modern. Oleh karena itu, teknologi komunikasi seperti LoRaWAN dan NB-IoT memiliki peran penting dalam mendukung transformasi digital pada sektor pertanian.

Secara keseluruhan, hasil literature review ini menunjukkan bahwa LoRaWAN dan NB-IoT merupakan teknologi komunikasi yang sama-sama potensial untuk diterapkan pada smart agriculture berbasis IoT. Pemilihan teknologi yang tepat perlu mempertimbangkan kebutuhan sistem dan kondisi implementasi agar efisiensi, stabilitas komunikasi, dan efektivitas pengelolaan pertanian dapat dicapai secara optimal.

KESIMPULAN

Berdasarkan hasil kajian literatur yang telah dilakukan, dapat disimpulkan bahwa teknologi LoRaWAN dan NB-IoT memiliki peran penting dalam mendukung implementasi smart agriculture berbasis Internet of Things (IoT). Kedua teknologi tersebut termasuk dalam kategori Low Power Wide Area Network (LPWAN) yang dirancang untuk mendukung komunikasi data jarak jauh dengan konsumsi daya rendah, sehingga sesuai digunakan pada sistem monitoring dan otomasi pertanian modern.

Hasil analisis menunjukkan bahwa LoRaWAN memiliki keunggulan pada aspek konsumsi daya rendah, fleksibilitas implementasi, serta biaya operasional yang relatif murah. Teknologi ini lebih sesuai digunakan pada sistem monitoring pertanian berbasis sensor dengan kebutuhan pengiriman data berkala dan area implementasi yang luas, seperti monitoring kelembaban tanah dan sistem irigasi pintar. Selain itu, LoRaWAN cocok diterapkan pada wilayah pertanian yang memiliki keterbatasan infrastruktur jaringan seluler.

Di sisi lain, NB-IoT memiliki keunggulan pada stabilitas komunikasi, kualitas layanan (Quality of Service/QoS), reliabilitas jaringan, dan keamanan data karena memanfaatkan infrastruktur jaringan seluler. Teknologi ini lebih cocok digunakan pada aplikasi smart agriculture yang membutuhkan komunikasi data secara kontinu dan real-time, seperti sistem pelacakan kendaraan pertanian dan monitoring sistem kritis.

Berdasarkan kebutuhan implementasi, LoRaWAN lebih efektif digunakan pada sistem smart agriculture yang memprioritaskan efisiensi daya dan biaya implementasi rendah, sedangkan NB-IoT lebih sesuai diterapkan pada sistem yang membutuhkan stabilitas komunikasi dan kualitas layanan yang tinggi. Oleh karena itu, pemilihan teknologi komunikasi perlu disesuaikan dengan karakteristik lingkungan pertanian, kebutuhan aplikasi, serta ketersediaan infrastruktur jaringan.

Penelitian selanjutnya disarankan untuk melakukan analisis performa LoRaWAN dan NB-IoT secara langsung melalui pengujian eksperimental pada lingkungan pertanian nyata. Selain itu, penelitian berikutnya juga dapat mengkaji integrasi teknologi LPWAN dengan Artificial Intelligence (AI), cloud computing, maupun teknologi komunikasi generasi terbaru untuk mendukung pengembangan smart agriculture yang lebih efisien dan berkelanjutan.

REFERENSI

- Gatkal, N. R., et al. (2024). *Review of IoT and electronics enabled smart agriculture. International Journal of Agricultural and Biological Engineering*, 17(5). <https://doi.org/10.25165/j.ijabe.20241705.8496>
- Khairullah, E. F., et al. (2025). *LoRaWAN-based smart water management IoT applications: A review. Journal of Sustainable Development of Energy, Water and Environment Systems*. <https://doi.org/10.1080/24751839.2025.2458889>
- Leenders, G., Callebaut, G., Ottoy, G., Van der Perre, L., & De Strycker, L. (2021). *Multi-RAT for IoT: The potential in combining LoRaWAN and NB-IoT*. arXiv. <https://arxiv.org/abs/2104.10536>
- Lestari, N. R. (2026). *Analisis penerapan Internet of Things (IoT) dalam smart agriculture. Jurnal Informatika dan Teknologi Informasi (JIT)*, 9(1). <https://doi.org/10.29408/jit.v9i1.33209>



- Lopez, G. Q., Coaquira, A. R. C., Luque, J. E. O., & Quispe, E. G. (2025). *LoRaWAN-based system for multivariate data acquisition in high Andean agriculture*. *Smart Agricultural Technology*, 11, 101569. <https://doi.org/10.1016/j.atech.2025.101569>
- Nawaz, M., & Babar, M. I. K. (2025). *IoT and AI for smart agriculture in resource-constrained environments: Challenges, opportunities and solutions*. *Discover Internet of Things*, 5(24). <https://doi.org/10.1007/s43926-025-00119-3>
- Rafi, M. S. M., Behjati, M., & Rafsanjani, A. S. (2025). *Reliable and cost-efficient IoT connectivity for smart agriculture: A comparative study of LPWAN, 5G, and hybrid connectivity models*. arXiv. <https://arxiv.org/abs/2503.11162>
- Smart Sensors and Smart Data for Precision Agriculture: A Review. (2024). *Sensors*, 24(8), 2647. <https://doi.org/10.3390/s24082647>
- Soy, H., et al. (2023). *Coverage analysis of LoRa and NB-IoT technologies on agricultural vehicle tracking systems*. *Sensors*, 23(21), 8859. <https://doi.org/10.3390/s23218859>
- Tao, W., Zhao, L., Wang, G., & Liang, R. (2021). *Review of the Internet of Things communication technologies in smart agriculture and challenges*. *Computers and Electronics in Agriculture*, 189, 106352. <https://doi.org/10.1016/j.compag.2021.106352>