

SISTEM PEMANTAUAN CERDAS UNTUK PERTANIAN BERBASIS TEKNOLOGI INTERNET OF THINGS

INTELLIGENT MONITORING SYSTEM FOR AGRICULTURE BASED ON INTERNET OF THINGS TECHNOLOGY

Lintang Patria^{1*}, Puput Dani Prasetyo Adi²

¹Program Studi Sistem Informasi, Fakultas Sains dan Teknologi,
Universitas Terbuka

²Badan Riset dan Inovasi Nasional

*lintang@ecampus.ut.ac.id

ABSTRAK

Riset ini membahas, menganalisis, dan memberikan solusi terhadap produktivitas pertanian di Indonesia menggunakan teknologi Internet of Things (IoT). Penggunaan teknologi IoT dapat dijumpai pada sistem perairan atau irigasi pada area pertanian seperti cabe, tomat, bawang merah, bawang putih, bahkan padi. Teknologi IoT yang dibangun menggunakan pendekatan teknologi Radio Frekuensi Long-Range (LoRa) atau disebut dengan LoRaWAN. Pada riset ini dilakukan juga pengembangan dan integrasi dengan devices lain seperti RaspBerry Pi 4 dan ESP-WROOM 32 untuk kebutuhan upload data sensor ke server. Adapun sensor yang digunakan pada riset ini antara lain adalah pH tanah, pH air, turbidity, suhu dan kelembaban, dan soil moisture sensor. Dari data-data multi-sensor ini akan dikembangkan suatu metode yang membuat pengiriman data menjadi teratur dan tidak terjadi tabrakan data dengan berbagai metode seperti Adaptive Data Rate (ADR) dan Listen Before Talk (LBT) LoRaWAN. Tujuan riset ini adalah menghasilkan suatu teknologi yang dapat membantu peningkatan

produktivitas petani dan menghasilkan suatu prototype yang dapat diuji dan dikembangkan, serta mampu memberikan early warning jika terjadi ketidaksesuaian dari sisi environment.

Kata Kunci: *data sensor realtime, Internet of Things, LoRaWAN, peningkatan produktivitas tanaman*

ABSTRACT

This research discusses, analyzes, and provides solutions to agricultural productivity in Indonesia using Internet of Things (IoT) technology. The use of this technology can be found in the irrigation system in agricultural areas such as chillies, tomatoes, shallots, garlic, and even rice. The IoT technology built uses an approach to Long-Range Radio Frequency (LoRa) technology or called LoRaWAN. In this research, development and integration with other devices such as RaspBerry Pi 4 and ESP-WROOM 32 are also carried out for the need to upload sensor data to the server. The sensors used in this research include soil pH, water pH, turbidity, temperature and humidity, and soil moisture sensor. From this multi-sensor data, a method will be developed that makes data transmission organized and no collision with various methods such as Adaptive Data Rate (ADR) and Listen Before Talk (LBT) LoRaWAN. The purpose of this research is to produce a technology that can help increase the productivity of farmers and produce a prototype that can be tested and developed, and be able to provide early warning if there is a discrepancy in terms of the environment.

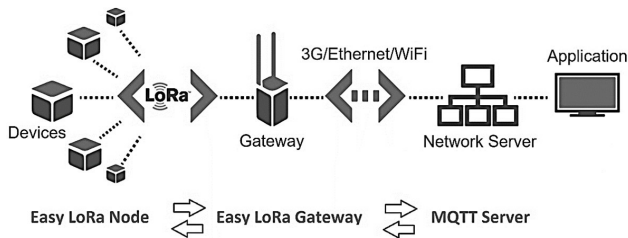
Keywords: *realtime sensor data, Internet of Things, LoRaWAN, crop productivity improvement*

PENDAHULUAN

Salah satu tema besar dalam the 3rd International Seminar of Science and Technology (ISST) 2023 Universitas Terbuka adalah “*Trends in Science and Technology for Sustainable Living*”, dan sub tema yang berkaitan dengan artikel ini adalah “*Sustainable Living Through Functional and Eco-friendly Agricultural Trends*” yang lebih pada sistem digitalisasi *agriculture* dan *Internet of Things* (IoT) bagi *agriculture* untuk dapat membantu bidang pertanian dan meningkatkan produksi pertanian atau *agriculture* di Indonesia.

Aspek pertanian adalah salah satu pokok bahasan yang esensial untuk dibahas dan diselesaikan, karena pertanian adalah nafas hidup bagi bangsa Indonesia. Pertanian, perkebunan, dan kehutanan adalah keunggulan dan kekayaan bangsa Indonesia yang merupakan peninggalan nenek moyang, selain bidang kelautan. Pada artikel ini penulis akan membahas secara detail tentang pemanfaatan teknologi *Internet of Things* (IoT) (Takekar, 2017), khusus untuk mendukung sektor pertanian. Indonesia termasuk negara agraris, di mana sebagian besar lahan digunakan untuk bercocok tanam, termasuk padi. Namun dari tahun ke tahun lahan pertanian itu semakin menyempit, karena pembangunan perumahan dan industri dibangun di area pertanian. Teknologi IoT dapat digunakan untuk memantau banyak aspek, antara lain pengairan atau irigasi (Irianto, 2022) untuk tanaman, pemanenan otomatis pada tanaman tomat berdasarkan warna tomat, kualitas tanah, kualitas air, dan suhu yang dibutuhkan untuk tanaman tertentu, bahkan untuk membuat pencahayaan buatan. Tren pertanian saat ini telah beralih ke pemanfaatan lahan sempit, seperti pemanfaatan lahan sempit di perumahan yang disebut dengan *greenhouse*, atau *smart agriculture* (Kassim, 2020), seperti hidropnik dengan menggunakan berbagai bahan yang bisa menempatkan media tanam dan *supply* air yang mengalir dengan bantuan pompa mini.

Langkah selanjutnya adalah menerapkan dan membangun sistem IoT secara lengkap (Anand, A., Trivedi, N. K., Gautam, V., Tiwari, R. G., Witorsyah, D., & Misra, A., 2022) atau utuh mulai dari sistem *renewable energy* menggunakan sel surya yang dikonversi dayanya agar dapat digunakan di range 5-9 volt DC untuk *microcontroller* atau adapter DC untuk Arduino atau 3.3 Volt DC untuk *Long-Range* (LoRa), sehingga faktor penting yang perlu diselesaikan adalah *end-node* LoRaWAN.



Sumber: *Adi et al., 2021*

Gambar 1. Konektivitas LoRaWAN

Berikutnya adalah tentang konektivitas LoRaWAN, dapat dilihat pada Gambar 1. Konektivitas LoRaWAN adalah bagaimana membangun koneksi LoRa mulai dari *End-Devices*, sampai pada *Application Server*, data multi-sensor dikirim menggunakan Radio Frekuensi LoRa kemudian diproses di *server* menggunakan enkripsi 128bit *Advanced Encryption Standard* 128 bit. Proses security LoRa digunakan untuk mencegah pencurian atau pengambilan data di *server*. Berikutnya tentang protokol, LoRa menggunakan beberapa protokol seperti MQTT (*Message Queuing Telemetry Transport*), MQTT adalah standar pengiriman pesan menggunakan teknologi *Internet of Things* (IoT), dan TCP/IP pada level *Network Server* dalam hal konektivitas di dalam LoRaWAN.

PEMBAHASAN

1. Tanaman Pangan

Tanaman pangan adalah tanaman yang ditanam untuk diambil bagian yang dapat dimakan. Tanaman pangan terdiri dari buah-buahan: apel, pisang, jeruk, anggur, stroberi; sayuran: wortel, kentang, tomat, selada, bayam; biji-bijian: gandum, beras, jagung, kedelai, gandum; kacang-kacangan: almond, kenari, kemiri, kacang tanah, dan kacang mede.



Gambar 2. Proses Memetik Tomat Berdasarkan Tingkat Kematangan Berbasis AI

Gambar 2 adalah contoh pengaplikasian *Artificial Intelligence* (AI) pada tanaman pangan sayuran, yaitu tomat. Berdasarkan gambar 2, proses memetik tomat menggunakan AI dapat dibagi menjadi beberapa langkah berikut: Kamera AI digunakan untuk mengidentifikasi tomat yang sudah matang. Kamera menggunakan berbagai teknik, seperti deteksi warna dan pengenalan bentuk, untuk mengidentifikasi tomat yang siap dipetik. Kamera AI juga menentukan lokasi setiap tomat matang. Hal ini dilakukan dengan melacak pergerakan tomat saat tumbuh dan matang. Kamera AI kemudian merencanakan jalur yang harus diikuti oleh robot untuk memetik semua tomat yang matang. Algoritma perencanaan jalur memperhitungkan lokasi tomat, rintangan di lingkungan, dan kemampuan robot. Robot

kemudian menggunakan pencengkeramnya untuk memetik tomat yang sudah matang. *Gripper* dirancang untuk menggenggam tomat dengan lembut tanpa merusaknya. Robot kemudian mengangkat tomat yang sudah dipetik ke tempat pengumpulan. Proses pemetikan tomat menggunakan AI masih dalam tahap pengembangan, tetapi memiliki potensi untuk merevolusi industri pemanenan tomat.

Robot AI dapat memetik tomat dengan lebih efisien dan akurat daripada pekerja manusia, dan mereka juga dapat bekerja di lingkungan yang keras yang terlalu berbahaya bagi manusia. beberapa manfaat menggunakan AI untuk memetik tomat antara lain 1) peningkatan efisiensi: robot bertenaga AI dapat memetik tomat dengan lebih efisien daripada manusia, karena dia dapat bekerja 24/7 dan tidak mudah lelah; 2) peningkatan akurasi: robot bertenaga AI dapat memetik tomat dengan lebih akurat daripada manusia, karena dia dapat menggunakan pengenalan gambar untuk mengidentifikasi tomat yang sudah matang meskipun tomat tersebut tersembunyi dibalik dedaunan atau benda lain; 3) mengurangi biaya: robot bertenaga AI dapat mengurangi biaya panen tomat, karena dia tidak memerlukan upah atau tunjangan, dan dia dapat bekerja di lingkungan yang keras yang akan terlalu mahal untuk manusia. Namun, ada juga beberapa tantangan dalam menggunakan AI untuk memetik tomat adalah 1) biaya: biaya di muka untuk mengembangkan dan menggunakan robot bertenaga AI cukup tinggi; 2) kompleksitas: robot bertenaga AI adalah mesin kompleks yang membutuhkan perawatan rutin; dan 3) penerimaan: beberapa petani mungkin ragu untuk mengadopsi robot bertenaga AI karena mereka tidak terbiasa dengan teknologi ini.

2. LoRa sebagai Alat Pengembang Pertanian Berbasis IoT

LoRa (*Long Range*) adalah teknologi yang menjanjikan untuk pengembangan pertanian berbasis IoT. LoRa adalah teknologi nirkabel jarak jauh berdaya rendah yang ideal untuk aplikasi pemantauan di daerah terpencil atau sulit dijangkau. Teknologi

ini juga relatif murah, sehingga menjadi solusi yang hemat biaya untuk banyak aplikasi pertanian. Ada beberapa cara agar LoRa dapat digunakan di bidang pertanian. Misalnya, sensor LoRa dapat digunakan untuk mengukur kelembaban tanah, suhu, dan tingkat cahaya. Data ini dapat digunakan untuk mengoptimalkan irigasi (Adi et al., 2021), pemupukan, dan praktik manajemen tanaman. Sensor LoRa (Istas Manalu, 2023) juga dapat digunakan untuk memantau hama dan penyakit, yang dapat membantu mencegah kehilangan hasil panen.

Selain memantau tanaman individu, LoRa juga dapat digunakan untuk memantau seluruh ladang atau pertanian. Data ini dapat digunakan untuk melacak hasil panen, mengidentifikasi area dengan kesehatan tanaman yang buruk, dan mengoptimalkan praktik manajemen pertanian secara keseluruhan. LoRa adalah teknologi serbaguna yang dapat digunakan untuk memantau berbagai macam tanaman pertanian. Ini adalah solusi hemat biaya dan berdaya rendah yang dapat membantu petani meningkatkan hasil panen dan profitabilitas.

Berikut adalah beberapa contoh spesifik tentang bagaimana LoRa digunakan di bidang pertanian:

- a. Irigasi presisi: Sensor LoRa dapat digunakan untuk mengukur tingkat kelembaban tanah secara *real time*. Data ini dapat digunakan untuk mengotomatisasi sistem irigasi, memastikan bahwa tanaman hanya menerima air yang mereka butuhkan.
- b. Pemantauan kesehatan tanaman: Sensor LoRa dapat digunakan untuk memantau hama dan penyakit. Data ini dapat digunakan untuk mengidentifikasi area dengan kesehatan tanaman yang buruk dan mengambil tindakan korektif sebelum masalah menyebar.
- c. Pemantauan hasil panen: Sensor LoRa dapat digunakan untuk melacak hasil panen dari waktu ke waktu. Data ini dapat digunakan untuk mengidentifikasi area dengan hasil panen tinggi dan rendah, dan untuk mengoptimalkan praktik manajemen tanaman.

3. Parameter LoRa

LoRa memiliki banyak parameter. Parameter-parameter LoRa yang digunakan antara lain adalah *Time on Air* (ToA), *spreading factor*, *bandwidth*, *RSSI* (*Receive Signal Strength Indicator*), *SNR* (*Signal Noise Ratio*), *CR* (*Code Rate*), dan lain-lain. Setiap parameter tersebut berpengaruh terhadap *Quality of Service* (QoS) dari LoRa. Formula-formula berikut digunakan oleh LoRa untuk merepresentasikan perhitungan detail dari LoRa *module* dalam proses transmisi data (Adi et al., 2021).

$$ToA = T_{Preamble} + T_{Payload} \quad (1)$$

$$T_{preamble} = NbPreamble(8) + symbols\ added\ by\ radio(4.25) \times Tsymbol \quad (2)$$

$$T_{payload} = NbPayloadSymbol \times Tsymbol \quad (3)$$

$$n_{payload} = 8 + \max \left(\left\lceil \frac{(8PL - 4SF + 28 + 16CRC - 20IH)}{4(SF - 2DE)} \right\rceil (CR + 4), 0 \right) \quad (4)$$

$$SNR(dB) = \frac{E_b}{N_o} + 10 \cdot \log_{10}(R_S) + 10 \cdot \log_{10}(k) + 10 \cdot \log_{10}(R) - 10 \cdot \log_{10}(BW_n) \quad (5)$$

$$CR = 4 / (4 + n) \quad (6)$$

$$SF = \text{Log}_2 \left(\frac{Rc}{Rs} \right) \quad (7)$$

$$Rs = \frac{1}{Ts} \quad (8)$$

$$Rs = \frac{BW}{2^{SF}} = \frac{Rc}{2^{SF}} \text{ symbols / s} \quad (9)$$

$$Rc = 2^{SF} Rb \quad (10)$$

$$Rc = 2^{SF} Rs \quad (11)$$

$$Rc = BW \text{ chips / s} \quad (12)$$

$$RSSI (dBm) = 10 \log (Pr) \quad (13)$$

$$RSSI (-dBm) = -(10N \log 10d + A) \quad (14)$$

Tabel 1. Kecepatan Data LoRa dan Faktor Penyebaran

| <i>Index</i> | <i>Spreading Factor (SF)</i> | <i>Bandwidth (BW)</i> | <i>Bit Rate (bps)</i> |
|--------------|------------------------------|-----------------------|-----------------------|
| 0 | 12 | 125 kHz | 250 bps |
| 1 | 11 | 125 kHz | 440 bps |
| 2 | 10 | 125 kHz | 980 bps |
| 3 | 9 | 125 kHz | 1760 bps |
| 4 | 8 | 125 kHz | 3125 bps |
| 5 | 7 | 125 kHz | 5470 bps |
| 6 | 7 | 250 kHz | 11000 bps |

Pada Tabel 1, data *bit rate* dan SF sangat berpengaruh terhadap proses transmisi data. Pada sistem pemantauan multi-sensor pada tanah dan air yang digunakan di pertanian membutuhkan suatu sistem telekomunikasi yang mampu menhandel proses transmisi data. Semakin besar nilai SF, maka akan berpengaruh kepada *bit rate* yang dihasilkan. Artinya, lahan pertanian yang cukup jauh akan dapat dikendalikan oleh LoRa Modul, misalnya jarak 5 sampai 10 km mampu mengirimkan data dengan daya yang rendah, sehingga LoRa dan modul LoRaWAN dapat menjadi teknologi yang tepat untuk transmisi data sensor yang digunakan untuk *agriculture* (Heble et al., 2018).

4. Frekuensi Modul LoRa

LoRa *module* adalah salah satu jenis dari LPWAN, karena menggunakan *low power consumption*. Sebelum membahas lebih jauh tentang LoRaWAN, dan berbagai kegunaannya pada jaringan LoRaWAN, penulis akan menjelaskan tentang LoRa terlebih dahulu. LoRa dikenal dengan *Free Licence ISM Band*, di mana LoRa adalah *devices* menggunakan radio frekuensi yang gratis, namun di setiap negara memiliki frekuensi yang berbeda-beda, hal ini dilakukan

untuk mencegah gangguan yang bisa terjadi dengan frekuensi yang berbeda. Berdasarkan Peraturan Kominfo 2019 tentang LPWAN, Frekuensi LoRa yang bisa digunakan di Indonesia adalah *Uplink*: 921,2 MHz, 921,4 MHz, 921,6 MHz, 921,8 MHz, 922,0 MHz, 922,2 MHz, 922,4 MHz, dan 922,6 MHz. *Downlink*: Saluran *uplink* 1-8 (RX1) dan 921,4 MHz (RX2). Frekuensi ini sesuai dengan Parameter Regional LoRaWAN AS923-2, yang diterbitkan oleh Aliansi LoRa pada tahun 2020. Secara lengkap Frekuensi LoRa yang digunakan di berbagai negara, dapat dilihat pada Tabel 2.

Tabel 2 adalah pengaturan Frekuensi LPWA atau LoRaWAN yang digunakan di berbagai negara, ini menjadi esensial saat kita menggunakan LoRa pada negara tertentu, misalnya Indonesia menggunakan Frekuensi di 920-923 MHz atau secara spesifik di 921.2-922.6 MHz pada *Uplink* dan *Downlink*nya. Tabel ini penulis tampilkan sebagai referensi penting saat menggunakan Modul LoRa untuk percobaan, dan khususnya untuk penerapan di lapangan, dalam hal ini untuk pertanian (*agriculture*).

Tabel 2. Frekuensi LoRa yang Digunakan di Berbagai Negara

| Negara | <i>Uplink</i> | <i>Downlink</i> |
|-----------|-------------------|-------------------|
| Australia | 915.2-928.3 MHz | 921.2-923.7 MHz |
| Austria | 868.0-868.6 MHz | 869.45-869.65 MHz |
| Belgium | 868.0-868.6 MHz | 869.45-869.65 MHz |
| Brazil | 923.2-927.5 MHz | 921.4-923.7 MHz |
| Canada | 902.0-928.0 MHz | 903.0-924.0 MHz |
| China | 433.05-434.79 MHz | 433.05-434.79 MHz |
| Denmark | 868.0-868.6 MHz | 869.45-869.65 MHz |
| Finland | 868.0-868.6 MHz | 869.45-869.65 MHz |
| France | 868.0-868.6 MHz | 869.45-869.65 MHz |
| Germany | 868.0-868.6 MHz | 869.45-869.65 MHz |

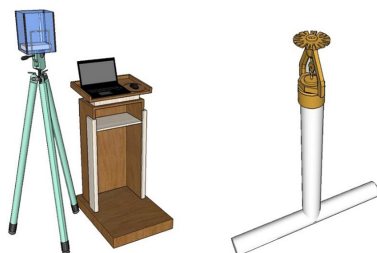
| Negara | Uplink | Downlink |
|--------------------|------------------------|------------------------|
| India | 865.0–867.0 MHz | 865.0–867.0 MHz |
| Indonesia | 921.2–922.6 MHz | 921.2–922.6 MHz |
| Ireland | 868.0–868.6 MHz | 869.45–869.65 MHz |
| Italy | 868.0–868.6 MHz | 869.45–869.65 MHz |
| Japan | 920.0–923.0 MHz | 921.4–922.8 MHz |
| Korea, Republic of | 921.4–923.0 MHz | 921.4–923.0 MHz |
| Malaysia | 920.0–923.0 MHz | 921.4–922.8 MHz |
| Mexico | 915.0–928.0 MHz | 916.0–927.0 MHz |
| Netherlands | 868.0–868.6 MHz | 869.45–869.65 MHz |
| New Zealand | 915.2–928.3 MHz | 921.2–923.7 MHz |
| Norway | 868.0–868.6 MHz | 869.45–869.65 MHz |
| Philippines | 920.0–923.0 MHz | 921.4–922.8 MHz |
| Portugal | 868.0–868.6 MHz | 869.45–869.65 MHz |
| Singapore | 920.0–923.0 MHz | 921.4–922.8 MHz |
| Spain | 868.0–868.6 MHz | 869.45–869.65 MHz |
| Sweden | 868.0–868.6 MHz | 869.45–869.65 MHz |
| Switzerland | 868.0–868.6 MHz | 869.45–869.65 MHz |
| United Kingdom | 868.0–868.6 MHz | 869.45–869.65 MHz |

5. **End-Node LoRa**

End-node LoRa adalah perangkat yang menggunakan protokol LoRaWAN untuk mengirimkan data ke *gateway* LoRaWAN. *End-node* biasanya bertenaga baterai dan dapat digunakan untuk mengumpulkan data dari sensor atau aktuator. Mereka sering digunakan di lingkungan yang terpencil yang teknologi nirkabel lainnya tidak memungkinkan. LoRaWAN adalah teknologi nirkabel jarak jauh berdaya rendah yang cocok untuk aplikasi IoT. Teknologi ini menggunakan modulasi spektrum tersebar untuk mencapai

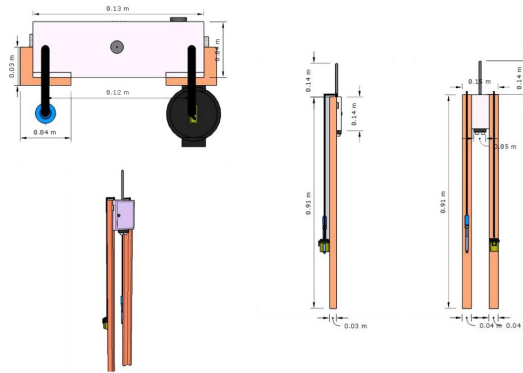
komunikasi jarak jauh dengan konsumsi daya yang rendah. LoRaWAN juga merupakan protokol yang aman, yang membuatnya ideal untuk aplikasi yang mengutamakan keamanan data. *End-node* LoRa dapat digunakan dalam berbagai aplikasi IoT, termasuk: pengukuran cerdas dan pemantauan secara *realtime*.

End-node (Gambar 3 dan 4) dapat digunakan untuk mengumpulkan data dari pengukur pintar, seperti pengukur listrik, gas, dan air. Data ini dapat digunakan untuk memantau penggunaan energi dan menagih pelanggan yang sesuai. *End-node* dapat digunakan untuk melacak lokasi aset, seperti kendaraan, kontainer, dan ternak. Informasi ini dapat digunakan untuk meningkatkan efisiensi dan keamanan. *End-node* dapat digunakan untuk mengumpulkan data dari sensor lingkungan, seperti sensor suhu, kelembaban, dan kualitas udara. Data ini dapat digunakan untuk memantau lingkungan dan melacak perubahan dari waktu ke waktu. *End-node* LoRa adalah bagian penting dari ekosistem LoRaWAN. Mereka menyediakan cara untuk mengumpulkan data dari lingkungan yang jauh atau keras dan mengirimkannya ke gateway LoRaWAN. LoRaWAN dapat mencapai jangkauan komunikasi hingga 15 kilometer di daerah pedesaan dan hingga 1 kilometer di daerah perkotaan. *End-node* LoRa dapat beroperasi dengan baterai selama beberapa tahun. LoRaWAN adalah protokol aman yang menggunakan enkripsi untuk melindungi data dari akses yang tidak sah. *End-node* LoRa relatif murah untuk dibeli dan digunakan.



Sumber: *Adi et al, 2021*

Gambar 3. *Sensor End-Node LoRa RF dan Desain Nozzle Spray*



Sumber: Adi et al., 2021

Gambar 4. Desain Sensor Node IoT-LoRa yang akan Ditempatkan di Lahan Pertanian

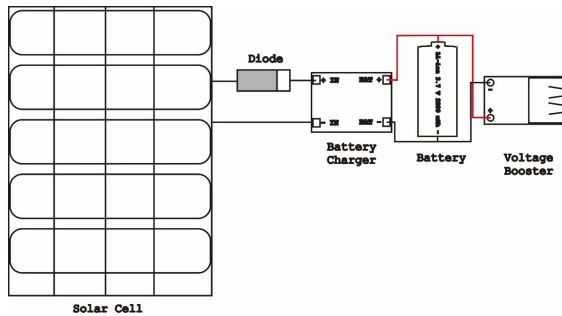
Tabel 3. End-Node LoRa dengan Performa Terbaik

| End-Node | Produsen | Jarak | Data Rate | Daya Tahan Baterai | Harga (Rupiah) |
|--------------------------|--------------|-------------|-----------------|--------------------|----------------|
| Heltec LoRa 32u4 | Heltec | Up to 15 km | Up to 50 kbps | Up to 2 years | 224175 |
| RAK831 | RAK Wireless | Up to 15 km | Up to 300 bps | Up to 10 years | 298900 |
| Dragino LoRa Shield | Dragino | Up to 10 km | Up to 250 bps | Up to 2 years | 149482 |
| TTGO LoRa32 | TTGO | Up to 15 km | Up to 100 kbps | Up to 2 years | 224223 |
| Adafruit Feather M0 LoRa | Adafruit | Up to 10 km | Up to 19.2 kbps | Up to 2 years | 373706 |

6. Konsumsi Daya LoRa

Selanjutnya adalah membuat perancangan pada sisi *end devices performance*, dengan menambahkan *solar cell* (Gambar 5). *Solar cell* ini sangat penting untuk *recharge battery end-node*,

sehingga tidak perlu selalu mengisi atau *recharge battery*, untuk *battery* tipenya bisa menggunakan *battery* lithium Polimer (LiPo) dengan kapasitas 4200 mAH sebagai contoh sesuai dengan kebutuhan *end-node*. Namun pengisian yang selalu dilakukan manual juga tidak begitu tepat, sehingga alangkah tepatnya jika *recharge* sistem dibuat otomatis.



Sumber. *Adi et al., 2021*

Gambar 5. Sistem Konversi Daya dari Solar Cell ke End-Node LoRa



Sumber. *Tokopedia, 2023*

Gambar 6. Contoh Baterai LiPo 3S 11.1 Volt DC, 4200 mAh

Baterai LiPo (Gambar 6) yang digunakan pada sistem IoT untuk pemantauan tanaman adalah baterai LiPo 3S 11.1V dengan kapasitas 4200 mAh. Ini adalah pilihan populer untuk mobil RC, drone, dan aplikasi berdaya tinggi lainnya. Baterai ini memiliki

casing hitam dengan konektor merah dan hitam. Panjangnya sekitar 139mm, lebar 45mm, dan tebal 26mm. Baterai LiPo adalah jenis baterai isi ulang yang dikenal dengan kepadatan energinya yang tinggi. Artinya, baterai ini dapat menyimpan banyak energi dalam kemasan yang kecil. Baterai LiPo juga sangat ringan, sehingga ideal untuk digunakan dalam perangkat portabel. Namun, baterai LiPo bisa berbahaya jika tidak ditangani dengan benar. Mereka tidak boleh diisi terlalu banyak atau terlalu sedikit, dan harus disimpan di tempat yang sejuk dan kering.

Dengan melihat spesifikasi dan melihat *weakness* baterai jenis LiPo ini, maka perlu untuk melihat dari sisi *casing*, *casing* yang tahan air, dan antena LoRa yang bersifat *omni-directional* yang memastikan bahwa air saat hujan turun tidak akan masuk ke dalam *casing*.

Performa baterai LiPo 4200 mAh akan bervariasi, tergantung pada aplikasinya. Namun demikian, secara umum, baterai jenis ini dapat memberikan jumlah daya yang baik untuk berbagai perangkat. Contohnya, baterai LiPo 4200 mAh dapat digunakan untuk memberi daya pada mobil RC selama sekitar 20 menit untuk penggunaan terus menerus. Baterai ini juga dapat digunakan untuk memberi daya pada *drone* selama sekitar 15 menit waktu penerbangan. Performa baterai LiPo juga dipengaruhi oleh tingkat pengosongan. Tingkat pengosongan adalah ukuran seberapa cepat baterai dapat menyalurkan dayanya. Tingkat pengosongan yang lebih tinggi berarti baterai dapat memberikan lebih banyak daya dalam waktu yang lebih singkat. Sebagai contoh, baterai LiPo 4200 mAh dengan tingkat pengosongan 50C dapat mengalirkan arus hingga 210 ampere. Ini berarti bahwa baterai dapat digunakan untuk menyalakan perangkat berdaya tinggi yang memerlukan banyak arus.

Secara keseluruhan, baterai LiPo 4200 mAh adalah pilihan yang baik untuk aplikasi yang membutuhkan banyak daya. Ini adalah baterai yang ringan dan ringkas yang dapat memberikan waktu kerja yang baik.

Beberapa faktor yang dapat memengaruhi kinerja baterai LiPo 4200 mAh:

- Tingkat pengosongan: Tingkat pengosongan adalah ukuran seberapa cepat baterai dapat menyalurkan dayanya. Tingkat pengosongan yang lebih tinggi berarti baterai dapat memberikan lebih banyak daya dalam waktu yang lebih singkat.
- Suhu: Performa baterai LiPo akan menurun seiring dengan penurunan suhu. Penting untuk menjaga baterai di lingkungan yang sejuk saat tidak digunakan.
- Usia baterai: Performa baterai LiPo akan menurun seiring berjalannya waktu. Penting untuk mengganti baterai setelah beberapa tahun digunakan. Berikutnya, untuk menghitung atau mengukur daya atau *power consumption of baterai* untuk LoRa, dapat dihitung dari *power consumption* LoRa pada saat *transmitting* data, *idle position*, atau melihat dari sisi *transmitter* atau *receiver* LoRa, dan beda lagi jika dilihat dari sisi Server atau LoRaWAN. Misalnya dengan kapasitas baterai 4200 mAh.

$$\text{Konsumsi daya} = \frac{\text{Penarikan arus (mA)} * \text{Waktu}}{\text{Kapasitas baterai}}$$

Misalnya arus yang ditarik dari baterai untuk *end-node* LoRa *transmitter* adalah 119.5 mA, maka selama 1 jam, konsumsi daya yang dibutuhkan adalah seperti formula berikut, dengan perkalian faktor *external battery* 0.7. Faktor eksternal baterai adalah faktor-faktor yang mempengaruhi kinerja baterai, misalnya suhu, tingkat pengosongan, dan usia baterai.

$$\text{Konsumsi daya} = \frac{119.5 \text{ mA} * 1 \text{ jam}}{4200 \text{ mAh}} = 0,0199 \text{ W}$$

Ini berarti bahwa *node* akhir LoRa akan mengkonsumsi daya 0,0199 watt selama 1 jam atau 19.9 mW. Penting untuk dicatat bahwa ini hanyalah rumus umum. Konsumsi daya aktual dari *node* akhir LoRa dapat bervariasi tergantung pada model spesifik *node* akhir LoRa dan pengaturan yang digunakan.

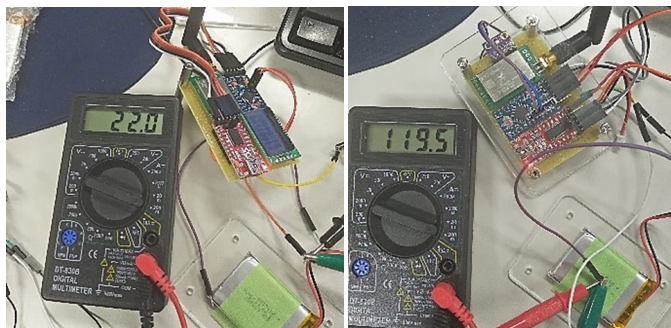
Beberapa tips untuk mengurangi konsumsi daya *node* akhir LoRa, antara lain kurangi penarikan arus dari *node* akhir LoRa dengan menggunakan pengaturan yang lebih rendah, kurangi waktu pengoperasian *node* akhir LoRa dengan hanya mentransmisikan data saat diperlukan, dan menggunakan baterai dengan kapasitas yang lebih tinggi. Berdasarkan pengalaman yang penulis lakukan di laboratorium saat mentransmisikan LoRa dan saat sedang *idle*, memiliki perbedaan *current* (mA). *Battery life (hours)*, dapat dirumuskan sebagai berikut, misalnya menggunakan 4200 mAh dengan 119.5 mA *load current*, maka sekitar 24.6 *hours* jika tanpa henti mengirimkan data dengan *delay* 1000 ms.

$$\text{Battery Life Sensor Node [Hours]} = \frac{\text{Battery Capacity (mAh)}}{\text{Load Current (mA)}} \times 0.7$$

Tabel 4 menjelaskan tentang pemakaian arus pada jenis-jenis *transmitter* yang digunakan oleh LoRaWAN. *Transmitter* ini dapat ditemukan dengan mudah di online-shop dan bisa juga langsung pada industri pembuatnya, sedangkan *Library* untuk *chipset*nya dapat *download* dengan mudah melalui Web resminya.

Tabel 4. LoRa *Transmitter* dan Arus yang Dibutuhkan saat *Transmit Data*

| <i>Transmitter</i> | <i>Load Current (mA)</i> |
|-------------------------|--------------------------|
| Semtech SX1276 | 10-150 mA |
| HopeRF RFM95W | 10-250 mA |
| Dragino LoRa Shield | 100-300 mA |
| Arduino LoRaWAN Gateway | 100-500 mA |



Sumber: Adi et al., 2021

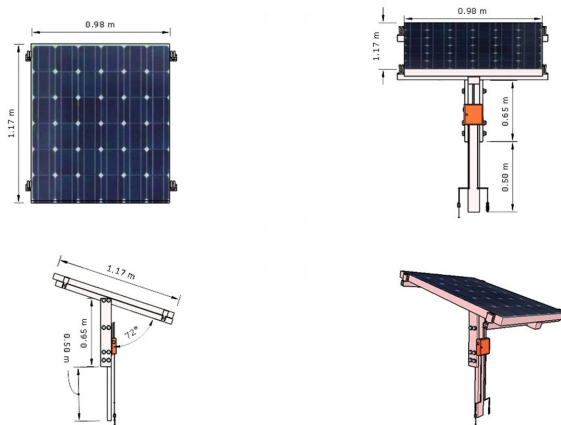
Gambar 7. Pengukuran Total Beban Arus (mA) pada *Node Sensor Rx dan Tx LoRa E32*

Pada contoh pengukuran LoRa *ebyte* (Gambar 7), saat mengirimkan data adalah berkisar 119.5 mA, sedangkan untuk *idle* adalah 22.0 mA. Langkah selanjutnya adalah *mounting solar cell* yang akan menjadi faktor penting untuk menyediakan daya dari matahari.

Selanjutnya adalah desain untuk *end-node*, gambar berikut adalah spesifik dari *end-node* LoRa RF yang digunakan secara langsung sebagai *transmitter*. Dari *end-node* LoRa akan muncul analisis baru di mana jumlah *end-node* nya lebih besar. Masalah terjadi saat *transmitter* LoRa mengirimkan data secara bersamaan. Sehingga memunculkan beberapa metode LoRa *transmitter* untuk menghindari tabrakan data. Pemasangan sel surya adalah proses mengamankan panel surya ke permukaan sehingga dapat menghasilkan listrik. Ada berbagai sistem pemasangan yang tersedia, masing-masing dengan kelebihan dan kekurangannya.

Beberapa jenis sistem pemasangan yang paling umum meliputi: Sistem yang dipasang di atap adalah jenis sistem pemasangan surya yang paling umum. Sistem ini dipasang pada atap bangunan dengan menggunakan braket atau rel. Sistem yang dipasang di atap relatif mudah dipasang dan dapat digunakan

pada sebagian besar jenis atap. Namun, harganya bisa lebih mahal daripada jenis sistem pemasangan lainnya. Sistem yang dipasang di tanah. Sistem ini biasanya terbuat dari tiang logam atau fondasi beton. Sistem yang dipasang di tanah lebih mahal daripada sistem yang dipasang di atap, tetapi menawarkan lebih banyak fleksibilitas dalam hal penempatan, secara lengkap dapat dilihat pada gambar 8. Sistem yang dipasang di tiang. Mereka biasanya digunakan untuk susunan surya yang terletak di daerah terpencil atau di properti besar. Sistem yang dipasang di tiang adalah jenis sistem pemasangan yang paling mahal, tetapi menawarkan fleksibilitas paling tinggi dalam hal penempatan. Jenis sistem pemasangan terbaik untuk aplikasi tertentu akan tergantung pada sejumlah faktor, termasuk jenis atap, jumlah ruang yang tersedia, dan anggaran.

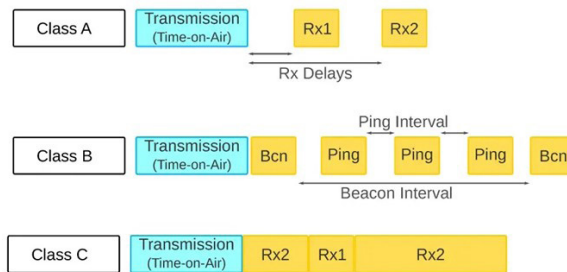


Sumber: *Adi et al., 2021*

Gambar 8. Desain Sel Surya atau *Mounting Solar Cell* yang akan Ditempatkan di Lahan Pertanian

7. Metode yang Digunakan untuk LoRaWAN

Jaringan LoRaWAN terdiri dari tiga komponen utama yaitu *end-node*, *Gateway*, dan *server* atau jaringan LoRaWAN. *end-node* adalah perangkat IoT yang terhubung ke jaringan LoRaWAN. *end-node* biasanya bertenaga baterai dan memiliki kebutuhan daya yang sangat rendah. Gateway adalah perangkat radio yang menerima dan mengirimkan pesan LoRaWAN antara *end-node* dan *server* jaringan. Gateway biasanya terhubung ke internet, sehingga dapat meneruskan pesan LoRaWAN ke *server* jaringan. Server jaringan bertanggung jawab untuk mengelola jaringan LoRaWAN. Server jaringan mengautentikasi *end-node*, merutekan pesan LoRaWAN, dan menyediakan penyimpanan data dan layanan manajemen.



Gambar 9. Kelas pada LoRaWAN

Tiga metode utama yang digunakan untuk LoRaWAN pada gambar 9, dapat dijabarkan sebagai berikut:

- Kelas A: Perangkat Kelas A adalah perangkat yang paling hemat daya di LoRaWAN. Perangkat Kelas A hanya melakukan transmisi ketika mereka memiliki data untuk dikirim. Ini berarti bahwa perangkat Kelas A dapat tidur hampir sepanjang waktu, yang sangat memperpanjang masa pakai baterainya.
- Kelas B: Perangkat Kelas B lebih haus daya daripada perangkat Kelas A, tetapi menawarkan kinerja yang lebih

baik. Perangkat Kelas B dapat bangun secara berkala untuk mendengarkan pesan, meskipun tidak ada data yang dikirim. Hal ini memungkinkan perangkat Kelas B untuk menerima pesan dengan lebih andal daripada perangkat Kelas A.

- c. Selain Kelas A dan Kelas B, ada juga kelas ketiga perangkat LoRaWAN yang disebut Kelas C. Perangkat Kelas C dirancang untuk aplikasi yang membutuhkan latensi serendah mungkin. Perangkat Kelas C dapat bangun kapan saja untuk menerima pesan, yang berarti mereka dapat menerima pesan dengan sangat cepat. Namun, perangkat Kelas C juga merupakan perangkat yang paling haus daya di LoRaWAN.

Pilihan metode LoRaWAN mana yang akan digunakan tergantung pada aplikasi tertentu. Untuk aplikasi yang membutuhkan daya tahan baterai yang lama, Kelas A adalah pilihan terbaik. Untuk aplikasi yang membutuhkan kinerja yang lebih baik, Kelas B adalah pilihan terbaik. Untuk aplikasi yang membutuhkan latensi serendah mungkin, Kelas C adalah pilihan terbaik. Sedangkan metode untuk menghindari tabrakan data disebut dengan *Adaptive Data Rate* (ADR) LoRa adalah mekanisme yang mengoptimalkan kecepatan data, *airtime*, dan konsumsi energi dalam jaringan LoRaWAN. Mekanisme ADR mengontrol parameter transmisi berikut dari *end-node* yaitu faktor penyebaran, *bandwidth*, dan daya transmisi. Mekanisme ADR didasarkan pada Indikator Kekuatan Sinyal yang diterima (RSSI) dari pesan yang diterima dari *end-node*. Server jaringan menggunakan RSSI untuk menentukan seberapa dekat *end-node* dengan *gateway* terdekat. Hal ini memungkinkan server jaringan untuk memilih pengaturan yang paling sesuai untuk setiap *end-node*. ADR dapat mengoptimalkan konsumsi daya perangkat sambil memastikan bahwa pesan masih diterima di *gateway*. Ketika ADR sedang digunakan, server jaringan akan menunjukkan kepada *end-node* bahwa ia harus mengurangi daya transmisi atau meningkatkan kecepatan data. Hal ini dapat membantu memperpanjang masa pakai baterai *end-node* dan meningkatkan kinerja jaringan secara keseluruhan.

Beberapa manfaat menggunakan ADR LoRa adalah peningkatan daya tahan baterai untuk *end-node*, peningkatan kinerja jaringan, mengurangi kemacetan jaringan, dan peningkatan skalabilitas.

8. Sistem Keamanan Data LoRaWAN

Mengenai mekanisme keamanan, LoRaWAN menggunakan berbagai teknik lain untuk meningkatkan keamanan, seperti frekuensi *hopping* yaitu Perangkat LoRaWAN berpindah-pindah frekuensi secara acak. Hal ini membuat penyerang lebih sulit untuk menguping komunikasi, dan adaptasi kecepatan data di mana Perangkat LoRaWAN dapat menyesuaikan kecepatan datanya tergantung pada kekuatan sinyal. Hal ini membantu meningkatkan keamanan dengan membuatnya lebih sulit bagi penyerang untuk menyadap komunikasi. Secara keseluruhan, LoRaWAN adalah protokol komunikasi nirkabel yang aman dan cocok untuk berbagai aplikasi IoT (Kjellby et al., 2019).

Berikut adalah beberapa detail tambahan tentang sistem keamanan LoRaWAN, yaitu otentikasi perangkat adalah proses autentikasi perangkat menggunakan mekanisme tantangan-tanggapan. Server jaringan mengirimkan tantangan ke perangkat, dan perangkat merespons dengan respons yang dihitung menggunakan kunci uniknya. Jika responsnya benar, perangkat diautentikasi. Enkripsi data adalah metode pengamanan data LoRaWAN dengan menggunakan algoritma enkripsi AES-128 untuk mengenkripsi semua lalu lintas data. Kunci enkripsi dibagi antara perangkat dan *server* jaringan. Integritas pesan yaitu Kode integritas pesan (MIC) adalah nilai 32-bit yang dihitung untuk setiap pesan LoRaWAN. MIC digunakan untuk memverifikasi bahwa pesan tersebut belum dirusak dalam perjalanan. Beberapa keuntungan menggunakan keamanan LoRaWAN antara lain enkripsi yang kuat untuk melindungi data dari akses yang tidak sah. Keamanan ujung ke ujung: LoRaWAN menyediakan keamanan *end-to-end*, yang berarti data dienkripsi dari perangkat ke *server* jaringan. Dapat diskalakan: Keamanan LoRaWAN dapat diskalakan, yang berarti

dapat digunakan untuk melindungi jaringan perangkat yang besar, dan *robust*, artinya keamanan LoRaWAN kuat, yang berarti tahan terhadap serangan *hacker* atau gangguan *server* lainnya. Berikut adalah contoh enkripsi data LoRaWAN.

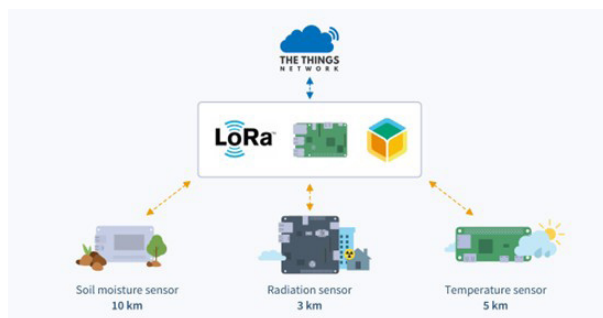
```
import random
import hashlib
def encrypt(data, key):
    nonce = random.randint(0, 2**32 - 1)
    key_material = nonce ^ key
    ciphertext = hashlib.sha256(key_material).digest()
    return ciphertext
def decrypt(ciphertext, key):
    nonce = random.randint(0, 2**32 - 1)
    key_material = nonce ^ key
    plaintext = hashlib.sha256(key_material).digest()
    return plaintext
if __name__ == "__main__":
    data = "This is some data to encrypt."
    key = "This is the encryption key."
    ciphertext = encrypt(data, key)
    plaintext = decrypt(ciphertext, key)
    print("Original data:", data)
    print("Encrypted data:", ciphertext)
    print("Decrypted data:", plaintext)
```

9. Server Aplikasi LoRaWAN

Server Aplikasi LoRaWAN (AS) adalah komponen penting dari jaringan LoRaWAN. Ini bertanggung jawab untuk memproses pesan data khusus aplikasi yang diterima dari *end-node*, serta menghasilkan semua muatan *downlink* lapisan aplikasi dan mengirimkannya ke *end-node* yang terhubung melalui Server Jaringan. Dengan kata lain, *server* aplikasi bertanggung jawab untuk mengelola lapisan aplikasi jaringan LoRaWAN. Ini dilakukan dengan menyediakan berbagai layanan, seperti penyimpanan dan manajemen data di mana *server* aplikasi menyimpan semua data aplikasi yang diterima dari *end-node*. Ini juga menyediakan alat untuk mengelola data ini, seperti kueri, pemfilteran, dan ekspor. Kemudian Logika aplikasi, di mana *server* aplikasi dapat mengimplementasikan logika aplikasi khusus. Logika ini dapat digunakan untuk memproses data aplikasi dan untuk menghasilkan

muatan *downlink* lapisan aplikasi. Kemudian Integrasi dengan sistem eksternal, di mana *server* aplikasi dapat diintegrasikan dengan sistem eksternal, seperti *database*, platform *cloud*, dan jaringan LoRaWAN lainnya. Hal ini memungkinkan *server* aplikasi untuk berbagi data dengan sistem lain dan untuk memberikan pandangan yang lebih komprehensif tentang jaringan LoRaWAN.

Beberapa manfaat menggunakan *server* aplikasi dalam jaringan LoRaWAN, antara lain adalah manajemen data terpusat, di mana *server* aplikasi menyediakan manajemen data terpusat untuk jaringan LoRaWAN. Hal ini memudahkan untuk menyimpan, mengelola, dan mengakses data dari *end-node*. Dan Logika aplikasi khusus, di mana *server* aplikasi dapat mengimplementasikan logika aplikasi khusus. Hal ini memungkinkan *server* aplikasi disesuaikan dengan kebutuhan spesifik aplikasi. Serta Integrasi dengan sistem eksternal, yaitu dimana *server* aplikasi dapat diintegrasikan dengan sistem eksternal yang memungkinkan *server* aplikasi untuk berbagi data dengan sistem lain dan untuk memberikan pandangan yang lebih komprehensif tentang jaringan LoRaWAN. Contoh Aplikasi *server* yang dapat digunakan secara bebas atau *free* antara lain adalah *The Things Network* (TTN), *Thingspeak*, *Tago*, dan lain sebagainya. Arsitektur dari sistem aplikasi LoRaWAN dapat dilihat pada Gambar 10.



Gambar 10. Server Aplikasi LoRaWAN

10. Penerapan LoRaWAN pada Lahan Pertanian

Penerapan LoRaWAN di lahan pertanian ditunjukkan pada gambar 11, 12, 13 dan 14. Misalnya bawang merah, dapat dilihat pada gambar, bahwa *solar cell* berada di setiap sudut, hal ini menunjukkan bahwa LoRa sebagai IoT devices mengirimkan data langsung ke *server* dengan terus menerus secara *realtime*, namun juga melihat dari sisi kesediaan baterai yang digunakan, LoRa end-devices dapat menggunakan baterai LiPO 4200 mAH untuk dapat beroperasi, sedangkan pemakaian arus dipantau terus melalui ampere meter dan apabila baterai berkurang sampai pada level tertentu, kemudian dilakukan *recharge* secara otomatis dari energi matahari atau *solar cell*. Beberapa *tools* atau *sensors* dan *actuator* yang ditempatkan antara lain sensor pH tanah, pH air, kelembaban tanah, Noozle, dan temperatur sensor. Gambar-gambarnya dapat dilihat sebagai berikut.



Sumber: Adi et al., 2021

Gambar 11. Penempatan *Automatic Sprayer* dan Sensor pH Tanah Berbasis Energi Matahari di Lahan Pertanian



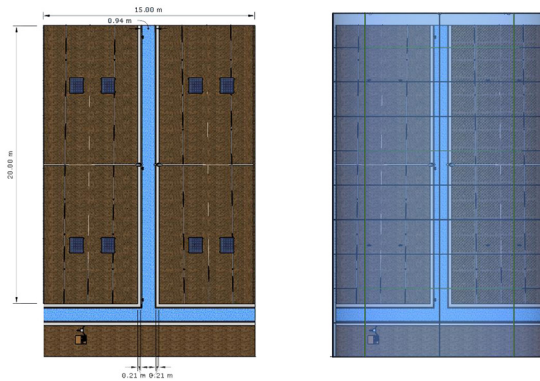
Sumber: Adi et al., 2021

Gambar 12. Penempatan *Automatic Sprayer* dan Sensor pH Tanah, Moisture Soil Sensor Berbasis LoRa dengan Bantuan Energi Matahari (Solar Cell) Dilahan Pertanian



Sumber: Adi et al., 2021

Gambar 13. Penempatan Sensor pH Air Menggunakan LoRa RF sebagai Media Telekomunikasi



Sumber: Adi et al., 2021

Gambar 14. Tampilan Solar Cell dan Sensor di Area Persawahan

$$\text{Rentang LoRa} = (\text{Faktor Penyebaran})^4 * (\text{Bandwidth})^{-\frac{1}{2}}$$

Jangkauan adalah jarak antara *node* akhir LoRa dan *gateway* LoRaWAN. Faktor penyebaran adalah parameter yang menentukan bandwidth dan sensitivitas LoRa. Bandwidth adalah lebar pita frekuensi yang digunakan untuk komunikasi. Persamaan menunjukkan bahwa jangkauan LoRaWAN sebanding dengan pangkat empat dari faktor penyebaran dan berbanding terbalik dengan akar kuadrat dari bandwidth. Ini berarti bahwa meningkatkan faktor penyebaran akan meningkatkan jangkauan LoRaWAN, tetapi juga akan menurunkan kecepatan data. Sebagai contoh, jika faktor penyebaran adalah 7 dan bandwidth 125 kHz, maka jangkauan LoRaWAN akan menjadi sekitar 15 kilometer. Jika faktor penyebaran ditingkatkan menjadi 12, maka jangkauannya akan meningkat menjadi sekitar 45 kilometer, tetapi kecepatan datanya akan menurun menjadi sekitar setengahnya. Persamaan untuk LoRaWAN dapat digunakan untuk menghitung jangkauan LoRaWAN untuk satu set parameter tertentu. Hal ini juga dapat digunakan untuk membandingkan jangkauan LoRaWAN dengan teknologi nirkabel lainnya.

Beberapa faktor tambahan yang dapat mempengaruhi jangkauan LoRaWAN, antara lain lingkungan. Jangkauan LoRaWAN akan lebih rendah di daerah perkotaan daripada di daerah pedesaan, karena ada lebih banyak rintangan di daerah perkotaan yang dapat menghalangi sinyal. Jangkauan LoRaWAN akan lebih rendah di daerah pegunungan daripada di daerah datar, karena sinyal akan dipantulkan oleh pegunungan, yang dapat menyebabkan gangguan. Jangkauan LoRaWAN akan lebih rendah dalam cuaca hujan atau bersalju, karena tetesan air di udara dapat menyerap sinyal.

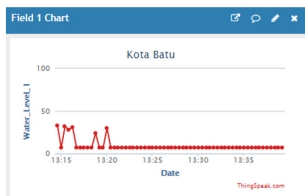
Berikut adalah beberapa manfaat menggunakan LoRaWAN untuk pertanian, antara lain adalah LoRaWAN dapat mencapai jangkauan komunikasi hingga 15 kilometer di daerah pedesaan tanpa ada halangan, atau lepas pantai (LOS) dan hingga 1 kilometer di daerah perkotaan (NLOS). Hal ini membuatnya ideal untuk memantau tanaman dan ternak di area yang luas. Kemudian faktor konsumsi daya yang rendah. Sensor yang menggunakan LoRaWAN dapat beroperasi dengan baterai selama beberapa tahun. Hal ini menjadikannya cara yang hemat biaya untuk memantau tanaman dan ternak di daerah terpencil. Kemudian adalah Keamanan. LoRaWAN adalah protokol aman yang menggunakan enkripsi untuk melindungi data dari akses yang tidak sah. Hal ini penting untuk aplikasi pertanian di mana data sensitif, seperti hasil panen, dikumpulkan. Dan Efektivitas biaya. LoRaWAN adalah teknologi yang relatif murah untuk digunakan. Hal ini menjadikannya pilihan yang baik untuk pertanian dan bisnis kecil.

Beberapa cara LoRaWAN digunakan di bidang pertanian antara lain pemantauan tanaman. Sensor LoRaWAN dapat digunakan untuk memantau kesehatan tanaman dengan mengumpulkan data tentang faktor-faktor seperti kelembaban tanah, suhu, dan kelembaban. Data ini kemudian dapat digunakan untuk mengoptimalkan irigasi dan mencegah kerusakan tanaman. LoRaWAN dapat digunakan untuk mengontrol sistem irigasi dari jarak jauh (Fajril, 2023). Hal ini dapat membantu menghemat air dan meningkatkan hasil panen. Sensor LoRaWAN dapat digunakan

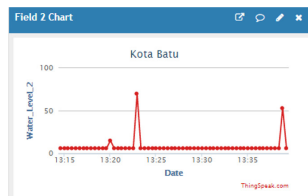
untuk melacak lokasi ternak dan memantau kesehatan mereka. Data ini dapat digunakan untuk meningkatkan kesejahteraan hewan dan mencegah kerugian ternak. LoRaWAN dapat digunakan untuk mengumpulkan data dari berbagai sensor di lapangan. Data ini kemudian dapat digunakan untuk membuat model yang dapat membantu petani membuat keputusan yang lebih baik tentang pengelolaan tanaman.

11. Output LoRaWAN

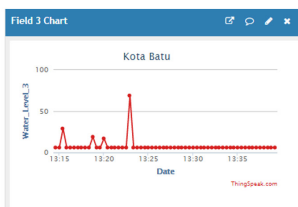
Output LoRaWAN dapat dilihat pada gambar 15, yang ditampilkan pada *application server* LoRaWAN Thingspeak, ini adalah contoh *output* dari beberapa sensor yaitu pH air, kekeruhan air, dan ketinggian level air yang digunakan pada sistem irigasi pertanian.



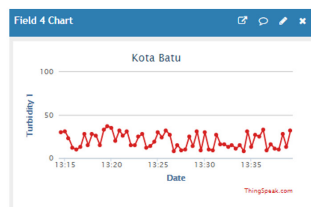
Ketinggian Air area pertanian 1



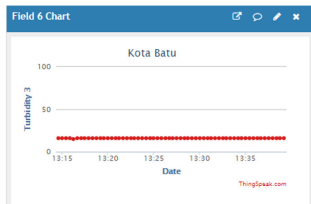
Ketinggian Air area pertanian 2



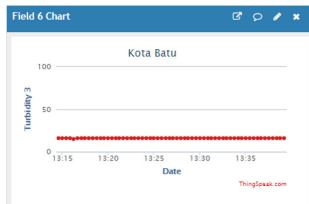
Ketinggian Air area pertanian 3



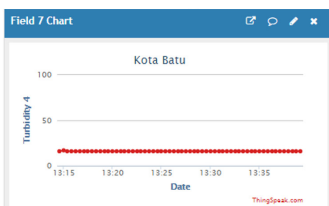
Kekeruhan area pertanian 1



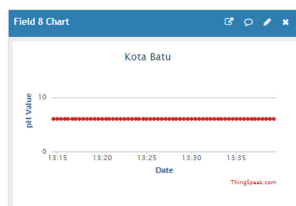
Kekeruhan area pertanian 2



Kekeruhan area pertanian 3



Kekeruhan area pertanian 4



pH air area pertanian 1

Sumber: Adi et al., 2021

Gambar 15. Contoh Keluaran sensor pada Server Aplikasi Thingspeak

KESIMPULAN

Sistem pemantauan tanaman pangan dan hortikultura berbasis *Artificial Intelligence* dan juga *Internet of Things* menggunakan LoRaWAN adalah salah satu cara jitu untuk melakukan otomatisasi yang berpengaruh pada fleksibilitas dan membangun *early warning system*. Dengan bantuan *actuator* dan *devices* canggih lainnya seperti AI-Camera, dan juga aktuator dan integrasi dengan Robot Mobil untuk dapat memetik Tomat misalnya, adalah suatu terobosan baru masa depan, sehingga akan mudah dalam melakukan pekerjaan, meminimalisir atau justru menghilangkan pengeluaran dalam membayar petugas pemanen. Namun tetap memiliki kekurangan dalam hal *maintenance* atau pemeliharaan sistem dan penggunaan sistem. Dalam masyarakat umum atau

petani Indonesia perlu adanya tambahan pengetahuan tentang AI dan pelatihan dalam menjalankan program-program baru seperti robot pemetik buah tomat, *drone* penyiram pestisida, dan teknologi *realtime* data LoRaWAN. Artikel ini memberikan gambaran tentang sistem pertanian masa depan, sehingga setelah penggambaran ini, dapat dilanjutkan dengan pembuatan sistem canggih dengan mengkalibrasikan seluruh sumber daya yang diperlukan antara lain sumber daya berupa devices secara lengkap dan sumber daya manusia yang mengerjakannya. Untuk selanjutnya sistem pertanian cerdas ini dapat dikembangkan dengan berbagai metode, karena banyaknya *end-node* LoRaWAN yang berada di lahan pertanian, misalnya adalah Adaptive Data Rate (ADR) yang digunakan untuk menghindari tabrakan data.

DAFTAR PUSTAKA

- Adi, P. D. P., Prasetya, D. A., Arifuddin, R., Sari, A. P., Mukti, F. S., Sihombing, V., ... & Yanris, G. J. (2021, October). Application of IoT-LoRa Technology and Design in irrigation canals to improve the quality of agricultural products in Batu Indonesia. In *2021 2nd International Conference On Smart Cities, Automation & Intelligent Computing Systems (ICON-SONICS)* (pp. 88-94). IEEE. DOI: 10.1109/ICON-SONICS53103.2021.9617175.
- Adi, P. D. P., Kitagawa, A., Prasetya, D. A., Arifuddin, R., & Yoseph, S. (2021). LoRAWAN Technology in Irrigation Channels in Batu Indonesia. *Jurnal Ilmiah Teknik Elektro Komputer dan Informatika (JITEKI)*, 7(3), 522-538. DOI: 10.26555/jiteki.v7i3.22258
- Anand, A., Trivedi, N. K., Gautam, V., Tiwari, R. G., Witasryah, D., & Misra, A. (2022, November). Applications of Internet of Things (IoT) in Agriculture: The Need and Implementation. In *2022 International Conference Advancement in Data Science, E-learning and Information Systems (ICADEIS)* (pp. 01-05). IEEE. DOI: 10.1109/ICADEIS56544.2022.10037505.
- Fajril, M. (2023). Sistem Monitoring Saluran Irigasi Pertanian Berbasis Lora (Long Range), *Jurnal Sains dan Sistem Teknologi Informasi*, DOI: 10.59811/jper.vii.23
- Heble, S., Kumar, A., Prasad, K. V. D., Samirana, S., Rajalakshmi, P., & Desai, U. B. (2018, February). A low power IoT network for smart agriculture. In *2018 IEEE 4th World Forum on Internet of Things (WF-IoT)* (pp. 609-614). IEEE. DOI: 10.1109/WF-IoT.2018.8355152.
- Irianto, K.D. (2022). Evaluasi dan Analisis Kinerja LoRa Pada Sistem Irigasi Pertanian Berbasis IoT, DOI: 10.31219/osf.io/kba9h

- Istas Manalu, I. (2023). Analisa Kinerja LoRa di Bidang Pertanian di Desa Sitoluama, Toba, *PISTON Journal of Technical Engineering* 6(2):29, DOI: 10.32493/pjte.v6i2.28473
- Kassim, M.R.M. (2020). IoT Applications in Smart Agriculture: Issues and Challenges, *2020 IEEE Conference on Open Systems (ICOS)*, Kota Kinabalu, Malaysia, pp. 19–24, DOI: 10.1109/ICOS50156.2020.9293672.
- Kjellby, R. A., Cenkeramaddi, L. R., Frøytlog, A., Lozano, B. B., Soumya, J., & Bhange, M. (2019, April). Long-range & self-powered IoT devices for agriculture & aquaponics based on multi-hop topology. In *2019 IEEE 5th World Forum on Internet of Things (WF-IoT)* (pp. 545–549). IEEE. DOI: 10.1109/WF-IoT.2019.8767196.
- Takekar, S.P. (2017). Plant and taste to reap with Internet of Things implementation of IoT in agriculture to make it a parallel industry, *2017 International Conference on I-SMAC (IoT in Social, Mobile, Analytics and Cloud) (I-SMAC)*, Palladam, India, pp. 101–106, DOI: 10.1109/I-SMAC.2017.8058317.