PERANCANGAN SISTEM MONITORING BATERAI NIRKABEL BERBASIS LORA DAN XBEE

M Adamu Islam Mashuri

Abstrak: Pertumbuhan teknologi *Internet of Things* (IoT) dalam sektor pertanian mendorong perlunya sistem pemantauan daya yang efisien dan andal pada perangkat node sensor. Artikel ini bertujuan untuk merancang dan mengimplementasikan sistem monitoring daya baterai secara nirkabel berbasis kombinasi LoRa dan XBee yang dapat digunakan pada area pertanian terpencil. Sistem ini dirancang untuk memantau level tegangan baterai pada masing-masing node sensor secara jarak jauh dan real-time. Modul XBee digunakan sebagai komunikasi lokal antar node ke head cluster, sedangkan LoRa digunakan sebagai media komunikasi dari head cluster menuju server pusat. Data daya baterai dikirimkan ke antarmuka aplikasi Android melalui gateway berbasis protokol MQTT, sehingga pengguna dapat mengetahui kondisi baterai tanpa harus datang ke lokasi. Pengujian dilakukan dalam lingkungan simulasi dan lapangan di area pertanian, menunjukkan sistem dapat bekerja stabil hingga radius tertentu. Hasil evaluasi menunjukkan bahwa sistem ini dapat membantu pengguna untuk melakukan perawatan perangkat sensor secara tepat waktu dan efisien.

Kata kunci: *Internet of Things*, LoRa, XBee.

Dalam beberapa tahun terakhir, perkembangan teknologi informasi dan komunikasi telah mendorong penerapan sistem berbasis Internet of Things (IoT) di berbagai bidang, termasuk sektor pertanian. IoT menjadi pendorong utama dalam transformasi digital karena kemampuannya dalam menghubungkan berbagai perangkat fisik ke dalam jaringan yang saling terintegrasi dan dapat dikendalikan secara otomatis dan real-time (Raza et al., 2020). Teknologi ini menawarkan solusi cerdas untuk memantau kondisi lahan, tanaman, hingga perangkat pendukung yang tersebar di area luas secara otomatis dan real-time (Zhang et al., 2021). Salah satu tantangan dalam penerapan sistem ini adalah pemantauan terhadap daya atau energi pada perangkat sensor (node) yang sebagian besar menggunakan baterai sebagai sumber energinya. Ketika daya baterai habis tanpa diketahui, fungsi node menjadi terganggu dan berdampak pada hilangnya data atau bahkan berhentinya operasi sistem secara keseluruhan.

Teknologi *Wireless Sensor Network* (WSN) menjadi infrastruktur penting dalam mendukung sistem monitoring pertanian. WSN terdiri dari sejumlah node yang saling terhubung dan bertugas melakukan pengukuran serta pengiriman data ke pusat pengendali. Setiap node biasanya memiliki keterbatasan dalam hal sumber daya, terutama daya listrik. Oleh karena itu, sistem monitoring terhadap kondisi baterai sangat dibutuhkan untuk menjaga keberlangsungan sistem. Pemantauan ini perlu dilakukan secara jarak jauh dan efisien, terutama jika node ditempatkan di lokasi terpencil yang sulit dijangkau.

Untuk memenuhi kebutuhan komunikasi pada sistem WSN di area pertanian yang luas dan minim infrastruktur jaringan, digunakan teknologi komunikasi nirkabel seperti LoRa (Long Range) dan XBee. LoRa merupakan teknologi komunikasi jarak jauh dengan konsumsi daya rendah yang cocok untuk aplikasi IoT di area terbuka (Augustin et al., 2016). Sementara itu, XBee digunakan sebagai penghubung antar node dalam satu cluster karena kemampuannya dalam komunikasi data lokal yang handal dan mudah

M Adamu Islam Mashuri adalah dosen Universitas Negeri Surabaya.
Email: mmashuri@unesa.ac.id

dikonfigurasi (Digi International, 2014). Kombinasi keduanya memungkinkan sistem WSN dapat bekerja secara efisien baik dalam komunikasi lokal maupun pengiriman data ke server pusat.

Penelitian ini merancang sebuah sistem monitoring baterai nirkabel berbasis LoRa dan XBee, yang dapat diterapkan pada area pertanian. Sistem ini terdiri dari node-node sensor yang terhubung ke sebuah *head cluster* menggunakan XBee, sementara data dari head cluster dikirim ke server menggunakan modul LoRa. Informasi status daya baterai setiap node akan dikirimkan secara periodik dan ditampilkan pada aplikasi Android melalui koneksi internet dengan protokol MQTT. Oleh karena itu, pendekatan IoT berbasis arsitektur berlapis dianggap strategis untuk mengatasi keterbatasan infrastruktur di area pertanian terpencil (Islam & Kwak, 2020).

Penelitian Terdahulu

Penelitian oleh (Krishna et al., 2024) mengembangkan sistem pemantauan baterai secara real-time menggunakan komunikasi LoRa. Sistem tersebut mampu mengukur parameter seperti tegangan, arus, serta status baterai (*state of charge* dan *state of health*), dan telah diimplementasikan langsung ke dalam perangkat keras. Namun, penelitian tersebut tidak menerapkan sistem klasterisasi antar node maupun metode penghematan energi seperti *sleep scheduling*.

Sementara itu, (Ambrosia, 2021) memperkenalkan metode pengurangan data dari node ke server dengan menggunakan prediksi deret waktu (*time-series forecasting*), yang bertujuan mengurangi frekuensi pengiriman data dan menghemat daya baterai. Meskipun pendekatan ini terbukti efektif dalam menghemat energi dan memperpanjang umur node sensor, penelitian tersebut belum mencakup implementasi sistem secara penuh dalam perangkat keras, dan tidak menggunakan struktur komunikasi berbasis cluster.

Penelitian oleh (Shahzad et al., 2021) mengusulkan pendekatan komunikasi efisien dalam jaringan sensor nirkabel dengan menerapkan metode *clustering* dan agregasi data. Konsumsi daya pada node dapat ditekan dengan meminimalkan jumlah transmisi langsung ke pusat data, sekaligus memperpanjang masa pakai jaringan. Meskipun penelitian ini lebih menekankan pada model simulasi, hasil yang diperoleh menunjukkan bahwa struktur *head clustering* efektif dalam mengelola energi dan meningkatkan efisiensi komunikasi dalam sistem WSN.

Penelitian lain oleh Yin et al. (2022) merancang sistem monitoring baterai berbasis WSN untuk aplikasi lapangan terpencil, namun hanya berfokus pada komunikasi pendek dan belum mengintegrasikan LoRa maupun sistem berbasis aplikasi Android.

Perbandingan antara penelitian sebelumnya dan sistem yang diusulkan dalam penelitian ini ditampilkan pada tabel berikut:

Tabel 1. Perbandingan dengan Penelitian Sebelumnya

Penelitian	Head Cluster	Simulasi	Implementasi Perangkat Keras
Krishna et al., 2024	Tidak	Ya	Ya
Ambrosia, 2021	Tidak	Ya	Tidak
Shahzad et al., 2021	Ya	Ya	Tidak
Sistem yang diusulkan	Ya	Ya	Ya

Penelitian terdahulu menunjukkan bahwa penggunaan komunikasi LoRa dalam sistem manajemen baterai mampu menyediakan pemantauan daya secara real-time dan efisien. Selain itu, metode pengurangan data dari node ke server terbukti efektif dalam menghemat energi dan memperpanjang umur baterai perangkat sensor. Berdasarkan hasil tersebut dan kebutuhan di lapangan, sistem yang dikembangkan dalam penelitian ini diharapkan dapat menjadi solusi praktis dalam mendukung pertanian cerdas (*smart*

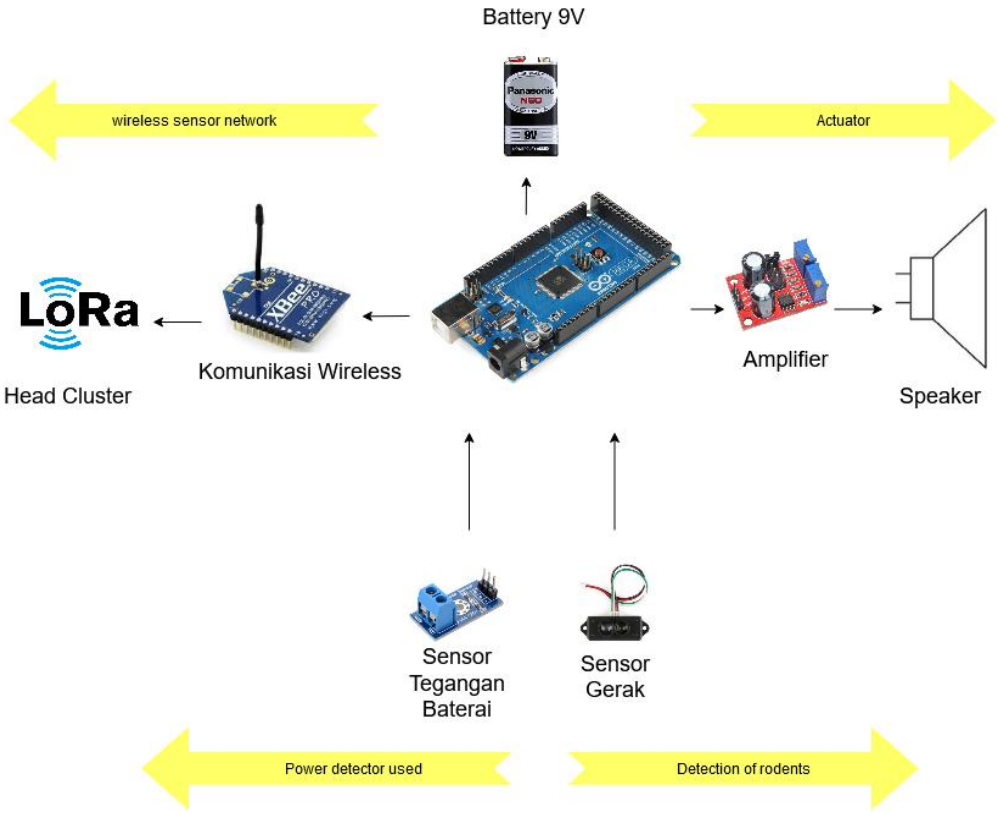
farming), khususnya dalam aspek pemantauan daya node secara nirkabel dan hemat energi.

METODE

Penelitian ini dilaksanakan selama tiga bulan, dimulai pada bulan April hingga Juni 2024. Kegiatan penelitian dilakukan dalam dua tahap utama, yaitu tahap pengembangan sistem dan tahap implementasi serta pengujian. Sistem yang dikembangkan berfungsi untuk memantau status tegangan baterai pada node-node sensor secara nirkabel menggunakan kombinasi komunikasi XBee dan LoRa.

Pada tahap awal, dilakukan pengumpulan literatur dari berbagai sumber ilmiah terkait sistem monitoring daya, teknologi *Wireless Sensor Network* (WSN), dan komunikasi nirkabel LoRa serta XBee. Studi literatur ini menjadi dasar dalam penyusunan desain sistem dan pemilihan komponen yang sesuai.

Selanjutnya dilakukan pengembangan sistem perangkat keras, yang terdiri atas node sensor dengan mikrokontroler Arduino Uno, sensor tegangan sebagai input utama, modul XBee S2C Pro untuk komunikasi jarak dekat antar node, dan modul LoRa EK-S76SXB untuk pengiriman data dari head cluster ke gateway. Setiap node sensor dipasang dengan baterai sebagai sumber daya dan diatur untuk mengirimkan data tegangan ke node pusat (head cluster). Desain sistem bisa dilihat pada Gambar 1.



Gambar 1. Desain Rangkaian Node Sensor

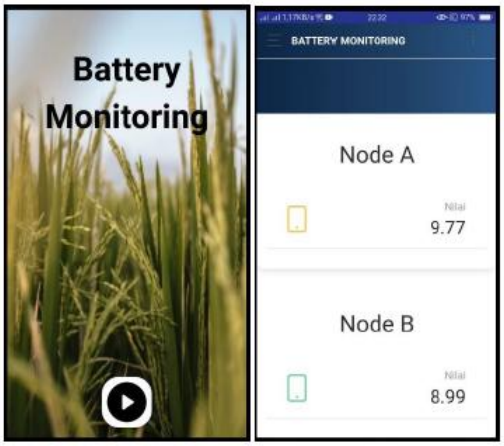
Dari setiap node tersebut akan mengambil data tegangan baterai dan akan mengirimkan ke Head Cluster. Head cluster bertugas mengumpulkan data dari seluruh node yang berada dalam satu kelompok, lalu meneruskan data ke server pusat menggunakan modul LoRa. Rangkaian pada Head Cluster dapat dilihat pada Gmabar 2.

Gambar 2. Komponen pada Head Cluster

Sistem perangkat lunak dikembangkan menggunakan Arduino IDE untuk pemrograman mikrokontroler, Python 3.9 untuk menangani *subscriber* dari protokol MQTT, dan Android Studio untuk membangun aplikasi pemantauan berbasis Android. Data tegangan dari masing-masing node dikirim secara berkala melalui gateway dan ditampilkan secara real-time pada aplikasi Android. Data yang diterima juga dicatat ke dalam basis data MySQL untuk kebutuhan dokumentasi dan analisis.

Pengambilan data dilakukan secara langsung di lapangan setelah sistem diaktifkan. Data yang dikumpulkan berupa nilai tegangan baterai dari setiap node yang dikirimkan secara periodik melalui jaringan nirkabel. Pengambilan dilakukan dalam berbagai kondisi, seperti siang dan malam hari, serta cuaca berbeda, untuk menguji kestabilan dan keandalan pengiriman data dalam kondisi nyata.

Pengolahan data dilakukan dengan mengelompokkan nilai tegangan berdasarkan identitas node dan waktu pengambilan. Selanjutnya, dilakukan analisis terhadap beberapa aspek, yaitu akurasi pengukuran, keterlambatan pengiriman (*delay*), kestabilan komunikasi data, serta keberhasilan sistem dalam menampilkan data secara real-time pada aplikasi Android. Pengujian tambahan dilakukan terhadap jangkauan komunikasi LoRa dari head cluster ke gateway, dengan jarak maksimal hingga 140 meter di area terbuka. Berikut adalah gambar hasil dari aplikasi Android.



Gambar 3. Aplikasi Monitoring Baterai pada Android

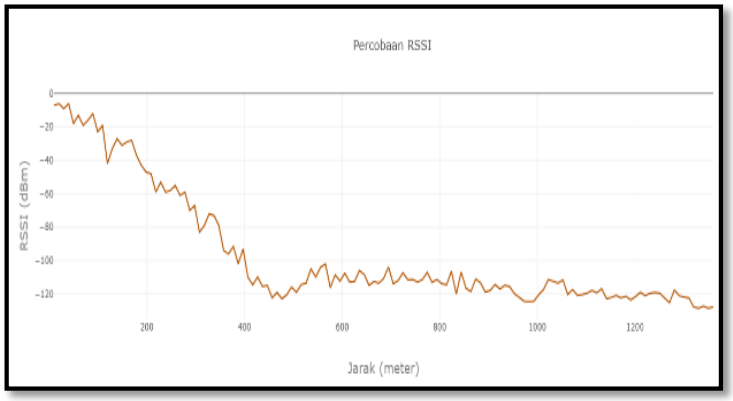
Hasil pengujian menunjukkan bahwa sistem yang dikembangkan mampu mengirimkan data dengan *delay* rendah dan keakuratan tinggi. Sistem juga menunjukkan kinerja yang stabil dalam berbagai kondisi lingkungan. Dengan demikian, sistem

monitoring baterai nirkabel ini dapat diandalkan untuk diterapkan dalam sistem pertanian berbasis IoT dan direkomendasikan untuk pengembangan lebih lanjut.

HASIL DAN PEMBAHASAN

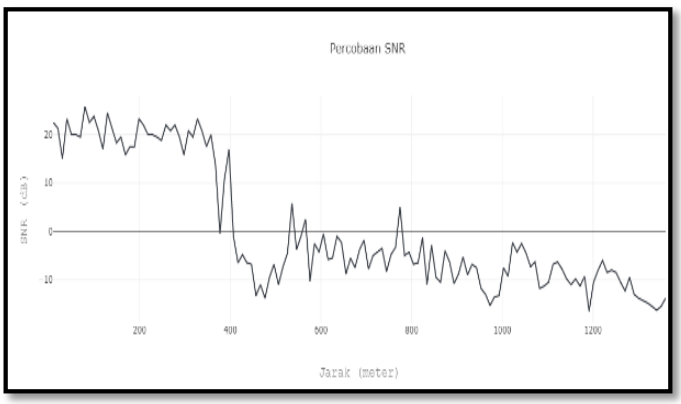
Salah satu aspek utama yang diuji dalam sistem adalah performa komunikasi LoRa dalam mengirimkan data dari head cluster ke gateway. Komunikasi ini menjadi krusial karena menjadi jalur utama pengiriman data dari node-node sensor ke server pusat secara nirkabel dan jarak jauh. Hasil pengujian menunjukkan bahwa sistem mampu melakukan transmisi data hingga jarak maksimal 140 meter pada area terbuka dengan tingkat keberhasilan pengiriman mencapai lebih dari 95%.

Kualitas sinyal LoRa dianalisis melalui dua parameter utama, yaitu RSSI (Received Signal Strength Indicator) dan SNR (Signal-to-Noise Ratio).



Gambar 4. Grafik RSSI

Berdasarkan grafik pengujian pada jarak 200meter menghasilkan nilai RSSI yang luamayan baik karena nilai rata-rata yang dihasilkan adalah -60 dBm. Besaran nilai pada jarak 10meter masih sangat minim terjadinya fading atau redaman akibat bangunan rumah atau yang lainnya. Pada grafik yang dihasilkan, terlihat bahwa grafik selalu menurun yang menandakan kecepatan dan kekuatan pengiriman data semakin buruk. Pada jarak 400 meter, nilai RSSI menunjukkan kualitas sinyal yang paling lemah, mencerminkan berkurangnya kecepatan dan kekuatan pengiriman data akibat redaman jarak jauh. nilai RSSI menunjukkan penurunan yang konsisten seiring bertambahnya jarak, namun masih dalam batas toleransi penerimaan sinyal yang memadai oleh gateway. Hal ini menunjukkan bahwa LoRa efektif untuk digunakan dalam aplikasi monitoring di area pertanian terbuka dengan jangkauan yang cukup luas.



Gambar 5. Grafik SNR

Berdasarkan grafik SNR, pada jarak 300 meter sampai 400 meter nilai SNR yang didapatkan mulai menurun karena pengaruh jarak pengiriman data dari node LoRa ke gateway LoRa. Nilai SNR sebesar -25 dB pada jarak 400 meter menunjukkan adanya penurunan kualitas sinyal akibat peningkatan noise, namun sistem masih dapat mempertahankan komunikasi data. Grafik SNR ini juga menandakan bahwa sistem memiliki kemampuan komunikasi yang andal meskipun pada jarak yang cukup jauh dari node ke gateway.

Capaian tersebut sejalan dengan teori yang dikemukakan oleh Augustin et al. (2016), bahwa LoRa merupakan teknologi komunikasi dengan jangkauan luas dan konsumsi daya rendah, ideal untuk aplikasi IoT di area terpencil. Selain itu, performa yang ditunjukkan mendukung temuan Krishna et al. (2024), yang menyatakan bahwa LoRa mampu menyediakan pemantauan daya secara real-time dan efisien dalam sistem manajemen baterai.

KESIMPULAN

Berdasarkan hasil penelitian yang telah dilakukan, baik melalui proses perancangan, implementasi, maupun pengujian sistem monitoring baterai nirkabel berbasis LoRa dan XBee, maka dapat disimpulkan beberapa hal sebagai berikut:

1. Sistem monitoring baterai nirkabel yang dikembangkan berhasil memantau tegangan baterai node sensor secara real-time dan jarak jauh dengan mengintegrasikan komunikasi XBee dan LoRa.
2. Komunikasi LoRa dari head cluster ke gateway terbukti mampu mentransmisikan data hingga jarak 140 meter pada area terbuka dengan tingkat keberhasilan pengiriman lebih dari 95%.
3. Nilai parameter kualitas sinyal berupa RSSI dan SNR menunjukkan bahwa sistem masih mampu menjaga kestabilan komunikasi dalam batas toleransi, meskipun terjadi penurunan performa seiring bertambahnya jarak.
4. Sistem yang dirancang telah menjawab kebutuhan monitoring daya node sensor pada area pertanian dengan karakteristik lapangan yang luas dan sulit dijangkau secara manual.

DAFTAR PUSTAKA

Raza S, Wallgren L, Voigt T. 2020. *Security and privacy in emerging wireless sensor networks.* Journal of Sensor and Actuator Networks. 9(2):15.

Zhang Y, Wang S, Liu M, Chen X. 2021. *Research on intelligent agriculture monitoring system based on IoT and edge computing.* Journal of Sensors. 2021:1–10.

Augustin A, Yi J, Clausen T, Townsley WM. 2016. *A study of LoRa: Long range & low power networks for the internet of things*. Sensors. 16:1466.

Digi International. 2014. *XBee RF Module User Guide*. Digi International Inc. [diakses dari: https://www.digi.com/resources/documentation/digidocs/pdfs/90000976.pdf].

Islam MM, Kwak D. 2020. *Smart farming using multi-layer IoT architecture: A comprehensive review.* Journal of Communications and Networks. 22(5):398–409.

Krishna G, Singh R, Gehlot A, Shaik VA, Twala B, Priyadarshi N. 2024. *IoT-based real-time analysis of battery management system with long range communication and FLoRa*. Engineering. (in press). doi:10.1016/j.eng.2024.04.009.

Ambrosia. 2021. *Reduction in data transfer from sensor to server for increased lifetime of IoT sensor nodes*. arXiv. [preprint] arXiv:2107.05090.

Shahzad M, Hameed S, Abbas H. 2021. *Energy-efficient communication in wireless sensor networks using clustering and data aggregation.* Sustainable Comput Inform Syst. 30:100512.

Yin Z, Wang X, Zhang Q. 2022. *Design and implementation of WSN-based battery monitoring system for remote field applications.* Measurement. 192:110891.