

TILIKEBON: INTEGRASI LORAWAN DENGAN NODE-RED UNTUK SISTEM MONITORING DAN KONTROL JARAK JAUH HEMAT DAYA DI PERKEBUNAN

Muhammad Roby Irfan^{*1}, Hamdani Arif, S.Pd., M.Sc^{*2}
Teknik Informatika^{*}, Politeknik Negeri Batam
m.robby213@gmail.com¹, hamdaniarif@polibatam.ac.id²

Info Artikel

Timeline:

Received 11-06-2024

Revised 19-06-2024

Accepted 08-07-2024

Kata kunci:

Internet of Things (IoT)

Long Range (LoRa)

LoRaWAN

Node-red

The Things Network(TTN)

ABSTRAK

Pemanfaatan teknologi *Long Range (LoRa)* mulai gencar-gencarnya pada *Internet of Things (IoT)* karena pemantauan bisa dilakukan secara jarak jauh dan hemat daya. *LoRa* dapat membantu pelaku agrikultur yang berada jauh dari akses internet seperti Pulau Galang. Pulau Galang dapat membantu menjaga ketersediaan pangan terutama cabai yang menjadi favorit banyak orang, salah satu cara untuk meningkatkan produktifitas tanaman cabai dengan pemanfaatan teknologi yang sekiranya membutuhkan *IoT* untuk memonitoring secara *real-time* dan kontrol perkebunan. Penelitian ini berfokus bagaimana pemanfaatan *LoRa* pada *IoT* dan membangun jaringan *LoRa Wide Area Network (LoRaWAN)* kemudian jaringan akan diintegrasikan dengan protokol *MQTT* pada platform *Node-red*. Pada *Node-red* akan membuat membuat *endpoint* yang akan dimanfaatkan untuk menampilkan data pada aplikasi dashboard sehingga nantinya mampu melakukan monitoring dan kontrol secara *real-time* serta akan dilakukan pengujian menggunakan metode *Black Box*.

1. PENDAHULUAN

Perkebunan merupakan sektor penting dalam menghasilkan bahan pangan nabati yang dikonsumsi banyak orang. Pemanfaatan teknologi di perkebunan harus selalu dikembangkan karena masih banyak perkebunan yang kurang dalam sumber daya seperti listrik dan akses pada internet. Di Batam, perkebunan memiliki potensi besar dalam memenuhi kebutuhan pangan pasar setempat, baik kebutuhan pokok maupun komoditas favorit seperti cabai, yang menjadi perasa utama dalam makanan khas Tanah Melayu. Oleh karena itu, menjaga ketersediaan pangan di Batam sangat penting dan memerlukan perhatian khusus, tidak hanya untuk mendukung ketahanan pangan, tetapi juga untuk kontribusi ekonomi lokal dan pemenuhan kebutuhan masyarakat setempat.

Perkebunan di Batam banyak berada di Pulau Galang, beberapa pelaku agrikultur di Pulau Galang menanam cabai untuk menjaga ketersediaan dan permintaan cabai di pasar, namun perlu diketahui juga Batam masih menjadi pengimpor cabai dari luar daerah yaitu daerah Pulau Jawa karena masih kurangnya ketersediaan cabai di Batam. Banyak faktor yang membuat Pulau Galang

masih melakukan impor cabai salah satunya kondisi iklim yang tidak menentu di daerah Pulau Galang dan Batam, dengan itu sulit untuk mengetahui beberapa parameter seperti suhu dan kelembapan yang digunakan untuk membuat keputusan dalam melakukan penanaman tanaman dan irigasi yang tepat. Beberapa metode tentunya sudah banyak diterapkan untuk menentukan kapan penanaman tanaman dan irigasi yang baik, namun tentunya teknologi juga dapat membantu dalam melakukan hal tersebut seperti *Internet of Things (IoT)* yang mampu melakukan monitoring dan kontrol yang efektif dan efisien [1]. Sementara itu di Pulau Galang untuk mendapat akses internet sangatlah sulit karena sangat jauh dari daerah kota dan perkembangan kota sehingga sulit dalam menerapkan *IoT* pada setiap perkebunan di Pulau Galang, oleh karena itu perlu adanya alat komunikasi jarak jauh yang hemat daya untuk membantu permasalahan tersebut.

Potensial teknologi yang memungkinkan komunikasi data pada jarak yang jauh guna memanfaatkan teknologi *IoT* untuk melakukan *smart farming* yaitu *Long Range (LoRa)* [2]. Komunikasi perangkat *IoT* jarak jauh tentunya akan memakan sumber daya yang cukup

banyak namun dengan bantuan *LoRa* komunikasi perangkat *IoT* untuk mentransmisikan data dengan jarak jauh hanya menggunakan sedikit daya [3]. Ada beberapa cara dalam melakukan komunikasi menggunakan *LoRa* salah satunya menggunakan *LoRa Wide Area Network (LoRaWAN)*. *LoRaWAN* merupakan sebuah protokol jaringan komunikasi jarak jauh dengan daya yang rendah dan menjadi konsep yang mudah untuk menerapkan *IoT* dalam mentransmisikan data jarak jauh [4]. Untuk mengintegrasikan *LoRaWAN* pada sebuah *software* aplikasi agar *endpoint* data dari perangkat *IoT* pada jaringan *LoRaWAN* yang terhubung ke broker *Message Queuing Telemetry Transport (MQTT)* pada *The things Network (TTN)* dapat ditampilkan pada *dashboard* dan dapat disimpan pada *database* tentunya perlu sebuah platform yang dapat mengumpulkan *endpoint* perangkat *IoT*. Banyak platform yang dapat membantu mengumpulkan *endpoint* perangkat *IoT* salah satunya yaitu *Node-red* [5].

Penelitian sebelumnya yang membahas komunikasi pada jaringan *LoRaWAN* [6] fokus pada pembangunan infrastruktur untuk manajemen komunikasi jaringan *LoRaWAN* perangkat *IoT* dan *software*. Dalam penelitian terdahulu, teknik manajemen proyek *LEAN* dan *Scrum* digunakan untuk mengembangkan pustaka *Arduino LMIC* yang mendukung spesifikasi *LoRaWAN v1.1*, yang memastikan kompatibilitas dan kinerja yang optimal untuk prototipe *IoT*. Pustaka tersebut dirancang untuk mempermudah seorang pengembang dalam mengimplementasi jaringan *LoRaWAN* pada proyek *IoT* mereka, dengan penekanan pada efisiensi dan ketepatan waktu melalui pendekatan manajemen proyek yang iteratif. Meski demikian, penelitian terdahulu tidak menggunakan *TTN* sebagai server jaringan *LoRaWAN*, melainkan *ChirpStack*, yang mungkin memiliki implikasi berbeda dalam hal kompatibilitas dan fitur yang didukung. *ChirpStack* yang merupakan alternatif *open-source* untuk *TTN*, menawarkan fleksibilitas yang tinggi namun memerlukan pemahaman yang mendalam untuk konfigurasi dan pemeliharannya.

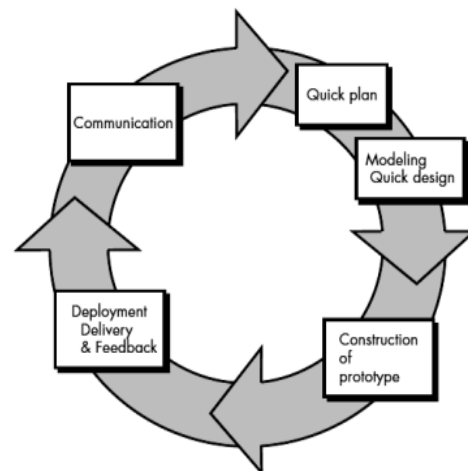
Penelitian sebelumnya yang membahas tentang mengintegrasikan perangkat *IoT* dalam server jaringan *LoRaWAN* ke *software* menggunakan platform *Node-red* [7] berfokus pada pembangunan sistem yang menerapkan *IoT* serta *Node-Red* dan *MQTT* sebagai broker. *Node-Red* digunakan untuk mempermudah proses pengembangan dan integrasi berbagai komponen *IoT* dalam membangun sistem *green house*, yang memungkinkan pengembang untuk dengan mudah membuat alur kerja dan otomatisasi melalui antarmuka pengguna yang intuitif. Protokol *MQTT* dipilih karena kemampuannya dalam menyediakan komunikasi yang andal dan efisien antara perangkat *IoT*, terutama dalam kondisi jaringan yang tidak stabil atau terbatas. Namun, penelitian terdahulu belum mengaplikasikan teknologi *LoRa* dalam sistemnya, yang dapat membuatasi jangkauan dan efisiensi komunikasi data dalam penerapan di area yang lebih luas atau remote. Integrasi *LoRa* dengan *Node-Red* dan *MQTT* bisa menjadi langkah selanjutnya yang potensial untuk meningkatkan kinerja dan skalabilitas sistem monitoring dan kontrol.

Dengan mempertimbangkan potensi dan tantangan yang dihadapi oleh para pelaku agrikultur di Batam,

terutama di Pulau Galang, penelitian ini akan bertujuan mengintegrasikan teknologi dalam pertanian guna meningkatkan keberlanjutan dan efisiensi perkebunan di Pulau Galang, Batam. Dengan memanfaatkan teknologi seperti *IoT* dan *LoRa*, diharapkan dapat mengatasi masalah komunikasi untuk monitoring jarak jauh, serta dapat melakukan pemantauan lebih dalam menjaga kelembapan tanah yang ideal (40%-60%) [8]. Fokus utama penelitian ini adalah penerapan teknologi *LoRaWAN* yang terintegrasi dengan platform *Node-Red* dan protokol *MQTT* untuk membangun sistem yang hemat daya dalam monitoring dan kontrol perkebunan jarak jauh. Selain itu, penelitian ini diharapkan dapat meningkatkan ketersediaan cabai di pasar lokal Pulau Galang dan mengurangi ketergantungan pada impor dari daerah lain, dengan menguji seberapa besar dampak dari penerapan teknologi ini terhadap peningkatan efisiensi dan produktivitas pertanian.

II. METODE PENELITIAN

Metode pengembangan sistem dalam SDLC (*Software Development Life Cycle*) menggunakan pendekatan prototyping. Pendekatan ini bertujuan untuk memberikan gambaran awal kepada pengguna tentang spesifikasi kebutuhan sistem yang akan dibangun, melalui evaluasi awal prototipe. Evaluasi prototipe ini kemudian dapat digunakan sebagai dasar dalam pembangunan sistem [9]. Gambar 1 menunjukkan alur dari metode prototyping.



Gambar 1. Urutan Metode *Prototype* [10]

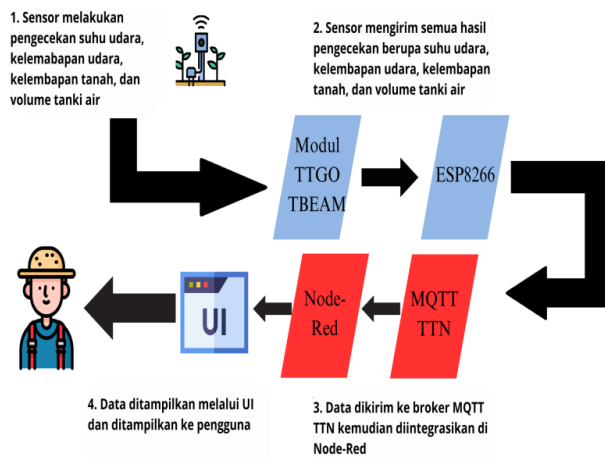
1) Tahap *Communication*

Menurut Syauki, A. (2020), Dimana pemaku kepentingan yaitu pelaku agrikultur tanaman cabai sekiranya membutuhkan teknologi *IoT* yang memungkinkan untuk menghubungkan sensor dan akuator dalam satu jaringan untuk memperoleh data dan mengelola kinerjanya sendiri. Berikut spesifikasi yang dapat dimanfaatkan pengguna aplikasi yang akan dirancang [11]:

- a) Pengguna dapat memonitor suhu serta kelembapan udara, kelembapan tanah, dan *volume* air di tanki.
- b) Pengguna dapat mengontrol irigasi dengan relay dan bantuan monitor untuk pemakaian air yang efektif dan efisien.

2) Tahap Quick Plan

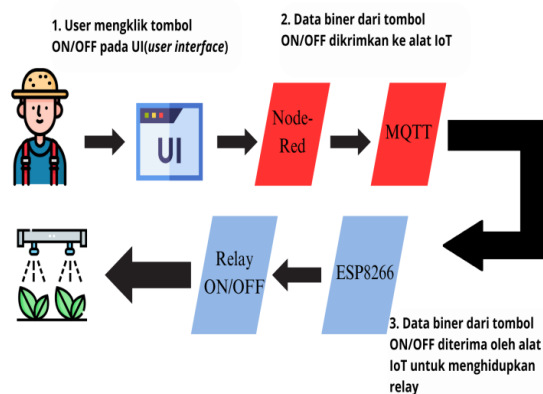
Tahap ini dilaksanakan dengan cepat, di mana dilakukan pemodelan berdasarkan kebutuhan yang telah diperoleh pada tahap komunikasi sebelumnya.



Gambar 2. Modelling Proses Monitoring Sistem

Proses monitoring sistem yang terdapat dalam gambar 2 pada alat *IoT* di atas ini yaitu sensor melakukan pengecekan terhadap area perkebunan dan area irigasi terutama pada tanki air untuk mengetahui *volume* air yang tersisa. Kemudian data dikirimkan oleh modul *TTGO T-Beam* dan *microcontroller ESP8266* melalui jaringan *LoRaWAN TTN* yang sekaligus menjadi broker *MQTT TTN* yang akan diintegrasikan menggunakan *Node-Red* untuk menampilkan data melalui *User Interface (UI)* yang tampil ke pengguna.

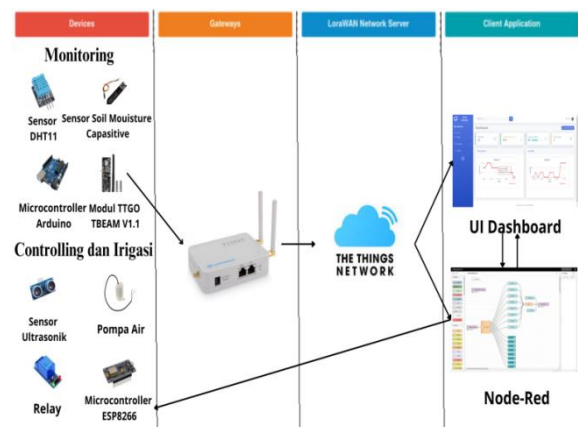
Selain monitoring area perkebunan dan area tanki air, pengguna juga dapat melakukan kontrol atau kendali pada pompa air untuk melakukan irigasi seperti gambar 3 di bawah yaitu user mengklik tombol *ON/OFF* pada *UI* kemudian data biner dikirim ke perangkat *IoT* melalui broker *MQTT hivemq*, dan kemudian data diterima *ESP8266* untuk mentrigger relay *ON/OFF* yang akan menghidupkan atau mematikan pompa air.



Gambar 3. Modelling Proses Kontrol Sistem

3) Tahap Quick Design

Tahap ini melibatkan perancangan representasi sistem yang dapat dipahami oleh pengguna, seperti yang ditunjukkan pada Gambar 4, dengan merancang antarmuka menggunakan diagram blok sistem. Perancangan perangkat keras memerlukan beberapa komponen elektronik, perlengkapan mekanik, dan perangkat penunjang agar sistem dapat berfungsi dengan baik sesuai dengan tujuannya. Untuk memudahkan pemahaman, dibuatlah perancangan diagram blok sistem. Diagram blok adalah representasi dari sebuah sistem, yang menunjukkan hubungan antar bagian fungsi dalam blok. *Blok flow* diagram terdiri dari beberapa kotak yang dihubungkan oleh aliran *input* dan *output*. Cara kerja keseluruhan sistem yang akan dibangun dapat dilihat dalam diagram blok, sehingga keseluruhan diagram ini akan menghasilkan suatu sistem yang dapat berfungsi atau bekerja dengan baik. Berikut adalah diagram blok sistem jaringan *LoRaWAN* yang akan diintegrasikan dengan *Node-RED*.



Gambar 4. Diagram Blok Sistem

Desain ini memerlukan alat dan bahan yang terdiri dari perangkat keras dan perangkat lunak, antara lain sebagai berikut.

a) Modul TTGO T-Beam:

Merupakan sebuah modul *IoT* yang terintegrasi dengan *GPS*, *LoRa* untuk komunikasi nirkabel jarak jauh, dan *WiFi*. *Support* sampai frekuensi 923MHz [12].

b) Microcontroller Arduino Uno:

Merupakan *microcontroller open-source* yang memiliki *input/output* digital dan analog yang dapat diprogram menggunakan bahasa pemrograman arduino [13]. Pada kesempatan kali ini akan menggunakan pin analog untuk menangkap data analog dari sensor *soil moisture capacitive*.

c) Microcontroller ESP8266:

Merupakan *microcontroller* yang dilengkapi dengan kemampuan *Wi-Fi* terintegrasi. Ini memungkinkan

penggunaan dalam berbagai aplikasi yang memerlukan konektivitas internet [14].

d) *Sensor DHT11:*

Merupakan sensor yang digunakan untuk mengukur suhu dan kelembaban udara dalam lingkungan. Sudah cukup banyak juga *library* yang dibuat untuk menggunakan sensor ini.

e) *Sensor Soil Moisture Capacitive:*

Merupakan sensor yang digunakan untuk mengukur kelembaban tanah. Menggunakan prinsip kapasitansi untuk menentukan tingkat kelembaban tanah. Data yang dikirimkan berupa data analog sehingga harus menggunakan pin analog untuk *input* datanya.

f) *Sensor Ultrasonik:*

Merupakan sensor yang menggunakan gelombang ultrasonik untuk mengukur jarak dari sensor ke objek terdekat. Sering digunakan dalam aplikasi deteksi jarak atau pengukuran jarak. Bisa dimanfaatkan untuk perhitungan *volume* tanki air.

g) *Relay:*

Merupakan komponen elektronik yang digunakan untuk mengontrol arus listrik besar dengan menggunakan sinyal kontrol yang lebih kecil. Digunakan untuk mengendalikan perangkat listrik seperti lampu, motor, atau pompa air.

h) *Pompa Air:*

Dimana dapat digunakan untuk memompa air di tempat penyimpanan air agar dapat di alirkan ke area perkebunan.

i) *LoRaWAN Gateway:*

Merupakan perangkat keras yang bertindak sebagai pintu gerbang atau titik akses untuk jaringan *LoRa*. Ini mengumpulkan dan mengirim data antara perangkat *LoRa* dan server jaringan [15].

j) *The Things Network (TTN):*

Merupakan jaringan komunikasi nirkabel *open-source* yang menggunakan teknologi *LoRaWAN* untuk menghubungkan perangkat *IoT* ke internet. Ini menyediakan infrastruktur dan layanan untuk mengirim dan menerima data dari perangkat *IoT*.

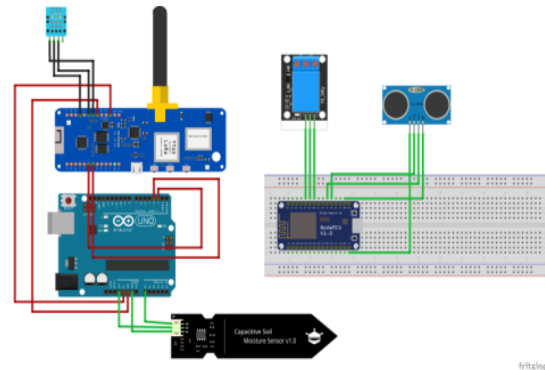
k) *Node-RED:*

Merupakan platform pengembangan visual *open-source* yang digunakan untuk mengintegrasikan perangkat dalam aplikasi *IoT* agar data dapat ditampilkan di *dashboard* dan disimpan di *database*.

3.1) Desain Skema Elektronik

Perancangan perangkat keras pada gambar 5 melibatkan beberapa komponen elektronik meliputi perancangan modul *TTGO T-Beam*, Mikrokontroler *Arduino Uno* dan *ESP8266* digunakan untuk mendukung operasi alat ini, membaca data *input* dari sensor yang digunakan, dan mengatur *output* sesuai dengan program yang ada di dalamnya, sehingga semuanya berfungsi sesuai dengan tujuannya.

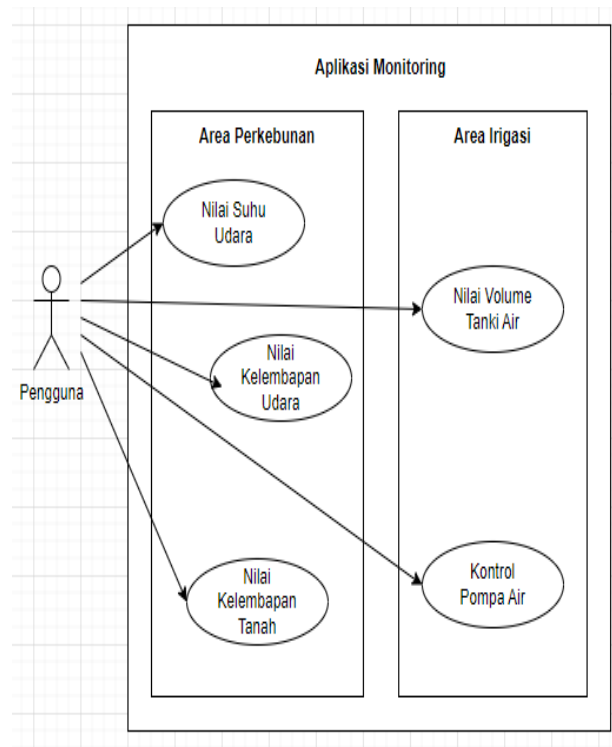
Perancangan ini dapat memudahkan pengembang dalam menggambarkan koneksi antar perangkat melalui pin yang sudah diset.



Gambar 5. Rangkaian Elektronik Sistem LoRa

3.2) Use Case Diagram

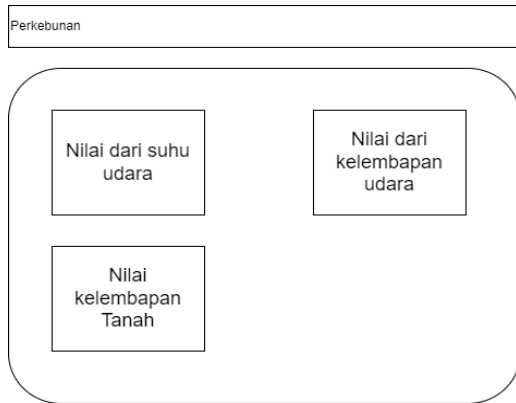
Perancangan Perangkat Lunak (Software) dilakukan dengan menggunakan Use Case Diagram, yang merupakan deskripsi tekstual dan grafis mengenai cara sistem atau perangkat lunak akan beroperasi dari sudut pandang pengguna (user), seperti yang ditunjukkan pada Gambar 6.



Gambar 6. Use Case Diagram

3.3) Desain Tampilan Dashboard (Mock-up)

Tampilan rancangan desain dashboard pada aplikasi untuk *User Interfac (UI)* untuk membantu user dalam monitoring dan kontrol. Terdapat dua desain yaitu area perkebunan pada gambar 7 dan area irigasi pada gambar 8 berikut tampilan *mock-up* pada dashboard aplikasi.



Gambar 7. Desain *Mock-up* Area Perkebunan



Gambar 8. Desain *Mock-up* Area Irigasi

4) Tahap *Construction of Prototype*

Pada tahap pembuatan prototipe, pekerjaan pembuatan prototipe mulai dilaksanakan. Proses ini dilakukan berdasarkan data yang diperoleh dari analisis kebutuhan pengguna, agar prototipe yang dihasilkan benar-benar sesuai dengan kebutuhan pengguna.

Perancangan pada penelitian ini dimulai dari perakitan alat-alat pada desain elektronis, kemudian membuat koneksi pada alat-alat elektronis dan *gateway* ke jaringan *LoRaWAN* untuk area perkebunan, kemudian data dari sensor alat-alat elektronis area perkebunan dikumpulkan pada sebuah database yang nantinya bisa dimanfaatkan untuk menganalisa area perkebunan. Pada area irigasi tidak perlu adanya analisis data karena cuman digunakan untuk mengontrol air buat irigasi.

Untuk protokol yang dipakai pada penelitian ini adalah *MQTT* kemudian *topic* dari protokol *MQTT* di integrasikan pada *Node-red*, karena *topic* berupa data (*JavaScript Object Notation*)*JSON* maka perlu bantuan *Node-red* untuk memudahkan dalam pembuatan *end-point*, *end-point* yang dibuat pada *Node-red* akan dimanfaatkan untuk menampilkan data pada dashboard.

5) Tahap *Deployment, Delivery and Feed Back*

Pada tahap terakhir ini, prototipe yang telah selesai dibuat dan siap di uji semua sistem yang dirancang apakah berhasil atau tidak agar aplikasi dapat di manfaatkan oleh user dengan baik.

III. HASIL DAN PEMBAHASAN

Metode pengujian yang digunakan adalah *Black Box*, yang fokus pada fungsionalitas perangkat lunak. Pengujian dilakukan dalam lingkungan *localhost*. Pengujian *Black Box* tidak mempertimbangkan struktur logika internal perangkat lunak. Metode ini digunakan untuk memastikan perangkat lunak berfungsi dengan benar [16].

Pada perancangan ini menggunakan dua aplikasi yaitu aplikasi pada area perkebunan dan area irigasi. Hasil dari pengujian aplikasi area perkebunan bisa dilihat pada tabel 1 dan hasil dari pengujian aplikasi pada area irigasi dapat dilihat pada tabel 2.

Tabel 1. Pengujian Aplikasi Area Pekebunan

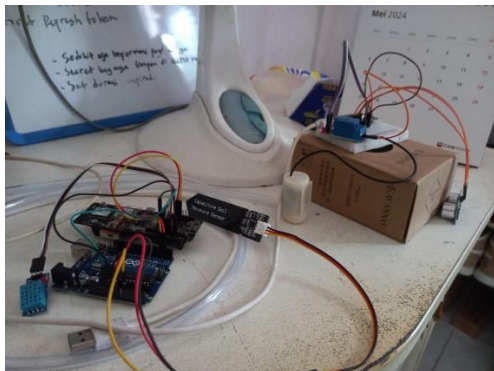
No	Pengujian	Hasil yang diharapkan	Kesimpulan
1.	Koneksi semua <i>device</i> ke jaringan <i>LoRaWAN</i>	Semua <i>device</i> yang terhubung dapat terkoneksi pada jaringan <i>LoRaWAN</i>	Berhasil
2.	<i>Gateway</i> pada <i>LoRaWAN</i> terkoneksi ke server TTN	<i>Gateway</i> pada <i>LoRaWAN</i> terkoneksi dengan baik ke TTN pada <i>region AS923</i>	Berhasil
3.	Integrasi ke broker <i>MQTT</i>	Data-data yang tertampung pada server TTN mendapatkan <i>topic</i>	Berhasil
4.	Integrasi pada <i>Node-red</i>	Mengumpulkan dan mengekstrak semua <i>topic</i> yang berupa data dalam bentuk <i>JSON</i> pada sebuah fungsi untuk mendapatkan data yang diperlukan	Berhasil
5.	Tampilkan data pada UI dashboard	Semua data dapat tampil pada dashboard	Berhasil
6.	Simpan data pada database	Semua data tersimpan pada database	Berhasil

Tabel 2. Pengujian Aplikasi Area Irigasi

No	Pengujian	Hasil yang diharapkan	Kesimpulan
1.	Koneksi semua <i>device</i> ke jaringan WiFi	Semua <i>device</i> yang terhubung dapat terkoneksi pada jaringan WiFi	Berhasil
2.	Terhubung ke broker	Semua <i>device</i> terhubung pada	Berhasil

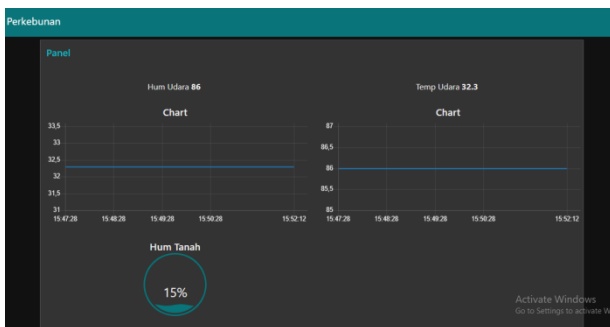
	<i>hivemq</i> MQTT	broker <i>hivemq</i> MQTT	
3.	Integrasi pada <i>Node-red</i>	Menampung semua topic yang berisikan data nilai sensor di <i>Node-red</i>	Berhasil
4.	Tampilkan data pada UI dashboard	Semua data dapat tampil pada dashboard	Berhasil

Hasil dari desain skema elektronis bisa dilihat dari gambar 9 berikut.

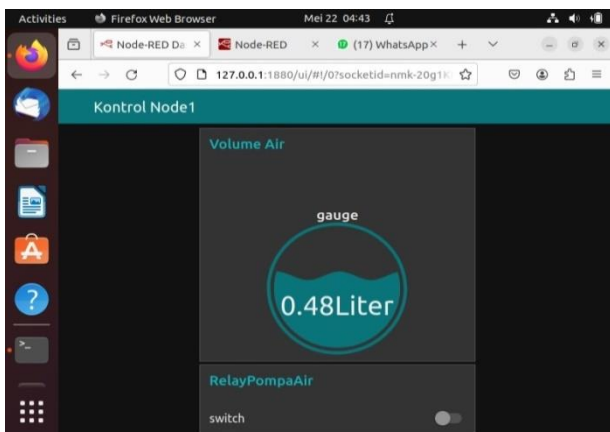


Gambar 9. Hasil Desain Elektronis

Untuk hasil dari implementasi pada aplikasi software yaitu mock-up bisa dilihat pada gambar 10 untuk area perkebunan dan gambar 11 untuk area irigasi.



Gambar 10. Hasil Implementasi *Mock-up* Area Perkebunan



Gambar 11. Hasil Implementasi *Mock-up* Area Irigasi

Pada penelitian kali ini berhasil dalam membuat rancangan *IoT* memanfaatkan *LoRaWAN* yang dapat menghemat sumber daya yaitu listrik karena monitoring area perkebunan dilakukan dengan *LoRaWAN* yang sangat hemat daya, sedangkan area irigasi bisa menggunakan genset atau *power suplay* sehingga bisa melakukan pengecasan di rumah atau isi ulang bensin dan tentunya penggunaan *power suplay* sangatlah hemat karena hanya digunakan saat menghidupkan pompa air saja.

Untuk lebih spesifiknya penelitian ini berhasil untuk terkoneksi pada jaringan *LoRaWAN* provider TTN melalui library *LMIC* yang berhasil disesuaikan frekuensinya dengan yang sudah diregulasikan pemerintah Indonesia yaitu frekuensi sekitar 920-923MHz [17].

IV. KESIMPULAN

Pada perancangan ini berhasil mengintegrasikan *LoRaWAN* dengan *Node-red* untuk membangun sebuah sistem monitoring dan kontrol hemat daya di perkebunan. *LoRaWAN* dan *Node-red* menjadi teknologi pendukung yang sangat baik pada perancangan ini. Perancangan ini juga berhasil menghubungkan device *IoT* seperti sensor, aktuator, *microcontroller*, dan gateway agar dapat mengirim dan menerima data secara real-time, kemudian data akan ditampilkan pada dashboard yang juga tersedia pada *Node-red*. Melalui pengujian dan evaluasi yang dilakukan, sistem ini dapat diandalkan pada pertanian yang jauh dari akses internet agar tetap dapat merasakan teknologi untuk memonitoring dan kontrol perkebunan.

V. DAFTAR PUSTAKA

- [1] Yaseen, M. T., Abdullah, F. Y., & Almallah, M. H. (2020, April). Smart green farm. In *2020 7th International Conference on Electrical and Electronics Engineering (ICEEE)* (pp. 299-302). IEEE.
- [2] Poursafar, N., Alahi, M. E. E., & Mukhopadhyay, S. (2017, December). Long-range wireless technologies for IoT applications: A review. In *2017 Eleventh International Conference on Sensing Technology (ICST)* (pp. 1-6). IEEE.
- [3] Zourmand, A., Hing, A. L. K., Hung, C. W., & AbdulRehman, M. (2019, June). Internet of things (IoT) using LoRa technology. In *2019 IEEE International Conference on Automatic Control and Intelligent Systems (I2CACIS)* (pp. 324-330). IEEE.
- [4] Lavric, A., & Petrariu, A. I. (2018, May). LoRaWAN communication protocol: The new era of IoT. In *2018 International Conference on Development and Application Systems (DAS)* (pp. 74-77). IEEE.
- [5] Rosli, A. N., Mohamad, R., Yusof, Y. W. M., Shahbudin, S., & Rahman, F. Y. A. (2020, April). Implementation of MQTT and LoRaWAN system for real-time environmental monitoring application. In *2020 IEEE*.

- [6] Sulca, J. M., Barriga, J. J., & Yoo, S. G. Customizing Arduino LMIC Library T Through LEAN and Scrum to Support mKs LoRaWAN v1. 1 Specification for Developing IoT Prototypes.
- [7] Mulyono, S., Qomaruddin, M., & Anwar, M. S. (2018). Penggunaan Node-RED pada sistem monitoring dan kontrol green house berbasis protokol MQTT. *TRANSISTOR Elektro Dan Informatika*, 3(1), 31-44.
- [8] Merbawani, L. A. Y., Rivai, M., & Pirngadi, H. (2021). Sistem Monitoring Profil Kedalaman Tingkat Kelembapan Tanah Berbasis IoT dan LoRa. *Jurnal Teknik ITS*, 10(2), A285-A291.
- [9] Aditya, R., Pranatawijaya, V. H., & Putra, P. B. A. A. (2021). Rancang Bangun Aplikasi Monitoring Kegiatan Menggunakan Metode Prototype. *Journal of Information Technology and Computer Science*, 1(1), 47-57.
- [10] Ramsari, N., & Hidayat, T. (2023). Teknologi Internet of Things (IoT) pada Tanaman Selada dan Pakcoy Hidroponik dengan Menggunakan Perhitungan MAPE. *Journal of Applied Informatics and Computing*, 7(1), 1-09.
- [11] Syaiki, A. (2020). Rancang Bangun Purwarupa Smart Plant Protection Tanaman Cabai Berbasis Internet Of Things (IoT) (Doctoral dissertation, Universitas Komputer Indonesia).
- [12] Sugiarto, E., Suhendi, A., Abdussalam, M. Y., Husniah, Z. A., Lestari, A. P., & Hana, R. Z. (2023). Prototype Design of a Fishing Boat Safety Monitoring System Using LoRa and Microsensor Devices. *JMECS (Journal of Measurements, Electronics, Communications, and Systems)*, 10(2), 77-85.
- [13] Vostrukhin, A., & Vakhtina, E. (2016, May). Studying digital signal processing on Arduino based platform. In *Proceedings of the 15th International Scientific Conference on Engineering for Rural Development*, Jelgava, Latvia (pp. 25-27).
- [14] Subashini, M. M., Das, S., Heble, S., Raj, U., & Karthik, R. (2018). Internet of things based wireless plant sensor for smart farming. *Indonesian Journal of Electrical Engineering and Computer Science*, 10(2), 456-468.
- [15] Devalal, S., & Karthikeyan, A. (2018, March). LoRa technology-an overview. In *2018 Second International Conference on Electronics, Communication and Aerospace Technology (ICECA)* (pp. 284-290). IEEE.
- [16] Febiharsa, D., Sudana, I. M., & Hudallah, N. (2018). Uji fungsionalitas (blackbox testing) sistem informasi lembaga sertifikasi profesi (silsp) batik dengan AppPerfect Web Test dan uji pengguna. *Joined Journal (Journal of Informatics Education)*, 1(2), 117-126.
- [17] Waranggani, A. S. (2021). Kenali Telkom LoRaWAN, Konektivitas Khusus untuk IoT. *Cloud Computing Indonesia*. Retrieved from <https://www.cloudcomputing.id/layanan/kenali-lorawan-jaringan-khusus-untuk-iot#:~:text=Secara%20lebih%20khusus%2C%20LoRaWAN%20merupakan,di%20frekuensi%20920%2D923%20MHz.>