

Sistem Monitoring Tegangan Baterai Berbasis LoRa dan Mikrokontroler untuk Rumah Walet

Budi Rahmani^{1*}, Ajib Alfarizi¹

Teknik Informatika, STMIK Banjarbaru, Banjarbaru, Indonesia
 budirahmani@gmail.com, 310120023494@stmik-banjarbaru.ac.id

*Email Corresponding Author: budirahmani@gmail.com

Abstract

The stability of the electrical power supply in swiftlet houses is crucial to ensure an optimal environment for the growth of swiftlets. Battery damage due to insufficient power is often a significant issue, especially for owners far from the swiftlet house. This study develops a microcontroller-based battery voltage monitoring system utilizing LoRa technology for remote monitoring. The system uses a voltage sensor connected to an Arduino, which transmits data via the LoRa SX1278 module. The received data is displayed on an LCD, and a buzzer indicates the voltage condition. Testing is conducted at various transmission distances to assess data transmission accuracy and system stability. The results indicate that the system can provide high-accuracy real-time battery voltage monitoring and overcome geographical challenges in managing swiftlet houses. This system is expected to enhance the efficiency and sustainability of swiftlet farming.

Keywords: Voltage monitoring; Microcontroller; LoRa; Swiftlet house; Remote monitoring

Abstrak

Stabilitas daya listrik pada rumah burung walet sangat penting untuk memastikan kondisi lingkungan yang optimal bagi pertumbuhan burung walet. Kerusakan aki akibat kekurangan daya sering kali menjadi kendala utama, terutama bagi pemilik yang tinggal jauh dari lokasi rumah walet. Penelitian ini mengembangkan sistem monitoring tegangan aki berbasis mikrokontroler dan teknologi LoRa untuk pemantauan jarak jauh. Sistem ini dirancang menggunakan sensor tegangan yang terhubung ke Arduino, yang kemudian mengirimkan data melalui LoRa SX1278. Data yang diterima ditampilkan pada LCD dan dilengkapi dengan buzzer sebagai indikator kondisi tegangan. Pengujian dilakukan pada berbagai jarak transmisi untuk mengukur akurasi pengiriman data dan stabilitas sistem. Hasil penelitian menunjukkan bahwa sistem mampu memberikan pemantauan tegangan aki secara real-time dengan tingkat akurasi tinggi, serta dapat mengatasi kendala geografis dalam pengelolaan rumah walet. Sistem ini diharapkan dapat meningkatkan efisiensi dan keberlanjutan usaha budidaya burung walet.

Kata kunci: Monitoring tegangan; Mikrokontroler; LoRa; Rumah walet; Pemantauan jarak jauhsekitar

1. Pendahuluan

Budidaya burung walet (*Collocalia Vestita*) merupakan salah satu industri bernilai tinggi di Indonesia karena tingginya permintaan terhadap sarang burung walet yang memiliki manfaat kesehatan dan ekonomi. Indonesia merupakan salah satu produsen utama sarang burung walet, dengan kontribusi lebih dari 75% untuk kebutuhan pasar global [1]. Habitat alami burung walet umumnya berada di gua-gua dengan lingkungan yang lembab dan gelap, sehingga dalam sistem budidaya, rumah walet perlu didesain agar dapat meniru kondisi tersebut. Salah satu faktor utama dalam keberhasilan budidaya burung walet adalah kestabilan suhu dan kelembaban di dalam rumah walet. Berdasarkan penelitian, suhu optimal untuk pertumbuhan burung walet berkisar antara 26°C hingga 29°C, dengan tingkat kelembaban ideal sekitar 70% hingga 95% [2], [3]. Jika kondisi ini tidak terpenuhi, produksi sarang burung walet dapat menurun, dan sarang yang dihasilkan bisa menjadi rapuh atau berkualitas rendah [4].

Selain faktor lingkungan, kestabilan suplai daya listrik juga menjadi tantangan utama dalam budidaya burung walet. Banyak rumah walet yang berlokasi di daerah terpencil dengan keterbatasan akses listrik, sehingga penggunaan aki sebagai sumber daya utama menjadi solusi umum yang digunakan. Namun, aki rentan mengalami penurunan tegangan yang dapat menyebabkan gangguan operasional pada sistem pemanggil burung, pencahayaan, dan ventilasi [5]. Jika tegangan aki tidak dipantau dengan baik, maka risiko kerusakan sistem meningkat dan dapat berdampak pada produktivitas rumah walet. Oleh karena itu, diperlukan sebuah sistem monitoring tegangan yang dapat memberikan informasi secara real-time mengenai kondisi daya aki, sehingga pemilik rumah walet dapat melakukan tindakan pencegahan sebelum terjadi gangguan [6].

Teknologi pemantauan daya berbasis *Internet of Things* (IoT) telah banyak diterapkan dalam berbagai industri, termasuk pertanian dan peternakan [7]. Namun, dalam budidaya burung walet, implementasi IoT masih terbatas, terutama dalam sistem monitoring tegangan aki. Beberapa penelitian telah mengembangkan sistem pemantauan suhu dan kelembaban berbasis mikrokontroler, seperti penggunaan Arduino dan sensor DHT11, yang memungkinkan pemantauan secara digital melalui aplikasi berbasis web [8]. Namun, sistem ini masih mengandalkan koneksi WiFi atau GSM, yang memiliki keterbatasan dalam hal jangkauan dan kestabilan sinyal, terutama di daerah yang memiliki infrastruktur jaringan terbatas [9]. Oleh karena itu, diperlukan solusi alternatif yang lebih efisien dalam hal komunikasi data jarak jauh, dengan konsumsi daya yang lebih rendah serta mampu beroperasi secara andal di wilayah terpencil.

Sebagai alternatif, teknologi *Long Range* (LoRa) menawarkan solusi yang lebih efisien untuk pemantauan jarak jauh dengan konsumsi daya rendah. LoRa memungkinkan komunikasi data hingga beberapa kilometer tanpa bergantung pada jaringan internet, menjadikannya pilihan ideal untuk sistem pemantauan di daerah yang memiliki keterbatasan infrastruktur komunikasi [10]. Keunggulan utama dari LoRa dibandingkan dengan teknologi komunikasi lain adalah kemampuannya dalam mengirimkan data dalam cakupan luas tanpa memerlukan daya tinggi, yang sangat sesuai untuk aplikasi monitoring di rumah burung walet [11].

Beberapa penelitian sebelumnya telah mengembangkan berbagai sistem pemantauan untuk rumah burung walet, di antaranya adalah sistem monitoring suhu dan kelembaban berbasis IoT menggunakan NodeMCU ESP8266 dan sensor DHT11, yang memungkinkan pemantauan melalui aplikasi berbasis web [12]. Selain itu, penelitian lain telah mengembangkan sistem keamanan rumah walet menggunakan sensor ultrasonik dan modul GSM, yang dapat mengirimkan notifikasi melalui SMS jika terjadi aktivitas mencurigakan di sekitar rumah burung walet [13]. Dalam aspek pemantauan daya listrik, terdapat penelitian yang menggunakan Arduino Mega 2560 dan sensor tegangan untuk memantau kondisi suplai daya pada rumah burung walet, guna mencegah gangguan operasional akibat tegangan rendah [14].

Namun, hingga saat ini belum banyak penelitian yang mengintegrasikan sistem pemantauan tegangan aki dengan teknologi LoRa untuk meningkatkan efisiensi dan keandalan pemantauan daya rumah walet di daerah terpencil. Penelitian ini mengusulkan pengembangan sistem monitoring tegangan aki berbasis mikrokontroler dan LoRa, yang mampu mengatasi kendala geografis serta keterbatasan jaringan listrik dalam budidaya burung walet. Sistem ini dirancang agar mampu mengirimkan data tegangan secara real-time dengan tingkat akurasi tinggi, serta memiliki jangkauan komunikasi yang luas tanpa ketergantungan terhadap jaringan internet. Pengujian dilakukan dengan mengukur akurasi data tegangan yang dikirim pada berbagai jarak komunikasi untuk mengevaluasi performa sistem [15], [16].

Dengan adanya penelitian ini, sistem yang dikembangkan dapat memberikan manfaat bagi industri budidaya burung walet, khususnya dalam meningkatkan efisiensi pengelolaan daya dan meminimalisir risiko kerusakan akibat tegangan aki yang tidak stabil. Selain itu, implementasi teknologi LoRa dapat menjadi solusi inovatif yang lebih hemat energi dibandingkan dengan sistem monitoring berbasis WiFi atau GSM.

2. Metodologi

Jenis penelitian ini adalah eksperimen yang mengujicoba sebuah prototipe pemantau tegangan suplai dari baterai pada rumah sarang burung walet dan sedianya banyak ditemukan di Desa Tumbang Gaei. Adapun prototipe yang digunakan berbasis mikrokontroler dan dengan sistem pengirim dan penerima data LoRa. Kemudian tentu saja dilengkapi juga dengan sensor tegangan yang kemudian akan mengukur kondisi tegangan dari aki yang digunakan di rumah

burung walet. Untuk merancang sistem ini, diperlukan komponen-komponen yang sesuai, desain prototipe, pembuatan sistem, pemrograman, serta tahap akhir yaitu pengujian alat dan mencari nilai ukur perbandingan sensor dengan alat ukur tegangan berupa multimeter digital [12].

2.1. Keperluan perangkat keras

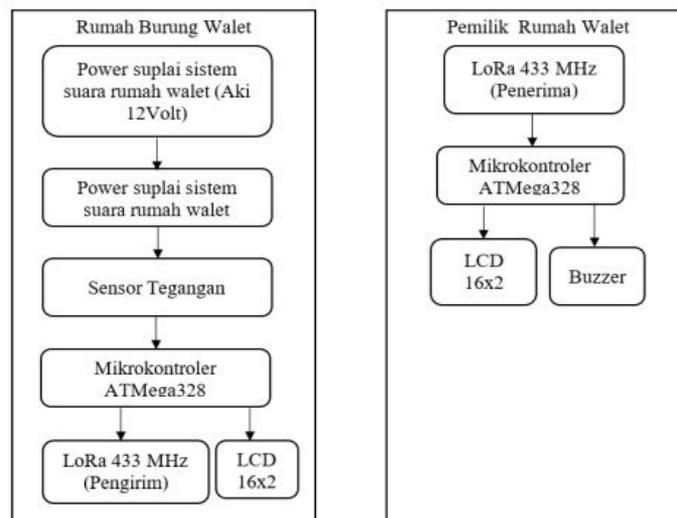
Penelitian yang telah dilakukan menggunakan beberapa perangkat keras diantaranya: Sensor tegangan, LoRa SX1278 RA-02, Arduino Uno R3 dengan ATmega328, LCD 16x2 dan 12C, *Jumper set*, *Buzzer*, *Stepdown* Tegangan, Aki 12V [16].

2.2. Rancangan sistem

Blok diagram sistem monitoring seperti ditunjukkan pada Gambar 1. Sistem pemantauan tegangan aki di rumah burung walet dikendalikan oleh mikrokontroler ATmega328 dan data dikirim melalui LoRa 433 MHz.

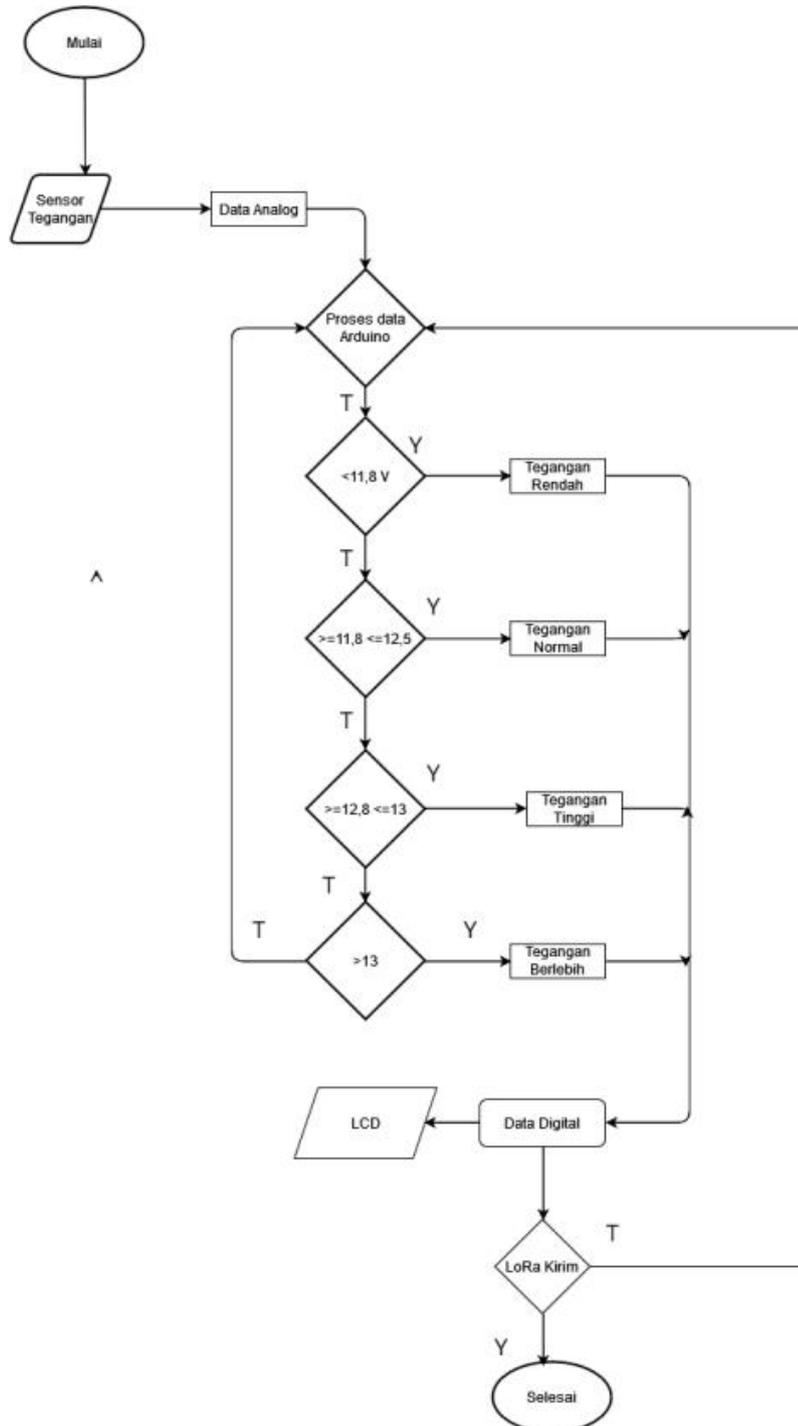
Berikut adalah komponen dalam diagram tersebut yang terbagi menjadi dua bagian. Bagian pertama adalah rumah burung walet tempat instalasi seluruh sistem yang akan memantau tegangan aki dan mengendalikan sistem suara rumah walet. Sistem suara rumah walet menggunakan aki 12 Volt sebagai sumber daya utama untuk mengoperasikan seluruh sistem. Daya dari aki ini didistribusikan ke sistem suara dan perangkat lainnya dalam rumah walet. Sensor tegangan digunakan untuk mengukur tegangan dari aki, dan kemudian diumpankan ke mikrokontroler melalui *port analog*.

Selanjutnya, mikrokontroler ATmega328 bertindak sebagai unit pemrosesan utama yang menerima dan mengolah data dari sensor tegangan serta mengendalikan sistem lainnya. Mikrokontroler ini juga mengambil keputusan berdasarkan data yang diterima dari sensor tegangan. Modul komunikasi LoRa 433 MHz digunakan untuk mengirimkan data hasil pemantauan tegangan ke sistem penerima di lokasi berbeda. Teknologi LoRa memungkinkan komunikasi jarak jauh dengan konsumsi daya rendah. Informasi tegangan aki ditampilkan secara langsung melalui layar LCD 16x2, memungkinkan pengguna untuk memantau status tegangan secara *real-time*.



Gambar 1. Blok diagram sistem pemantauan tegangan aki rumah burung walet

Kemudian Gambar 2 memberikan informasi terkait diagram alir pengirim dengan alur kerja sistem ini dimulai dengan aki 12 Volt yang menyediakan daya untuk seluruh sistem, termasuk sistem suara rumah walet. Sensor tegangan kemudian mengukur tegangan aki, dan data yang diperoleh dikirim ke mikrokontroler ATmega328 untuk diproses. Hasil pengolahan data ditampilkan pada LCD 16x2 agar bisa dipantau secara lokal, dan data tegangan yang sudah diproses juga dikirim melalui modul LoRa 433 MHz ke lokasi penerima untuk pemantauan jarak jauh. Sistem ini memastikan bahwa tegangan aki yang digunakan untuk sistem suara rumah walet selalu dalam kondisi optimal, dengan pemantauan yang akurat dan transmisi data yang andal ke lokasi yang lebih jauh.

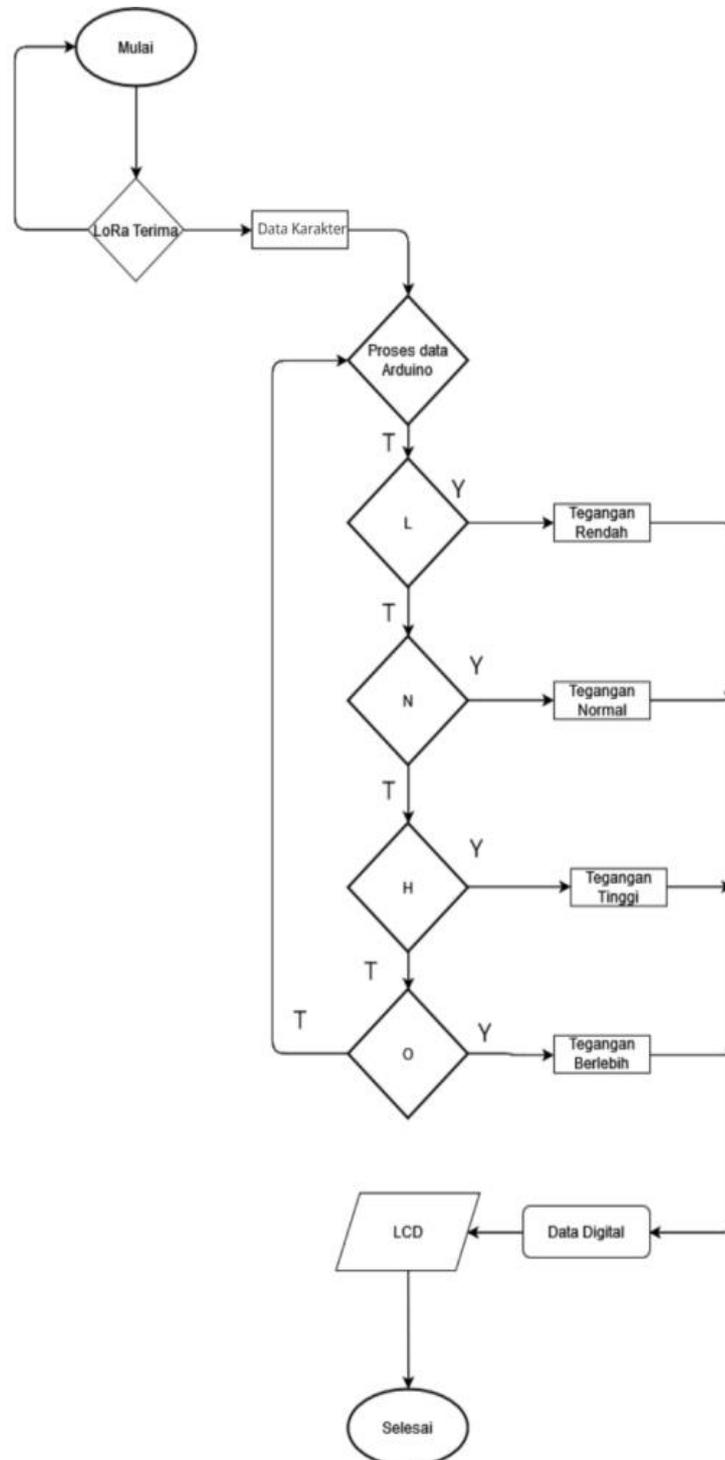


Gambar 2. Diagram Alir Rancangan Skema Pengirim

Berikutnya pada bagian penerima yang ditempatkan di rumah pemilik walet, data tegangan yang dikirim melalui LoRa 433 MHz dari rumah walet diterima oleh modul LoRa 433 MHz penerima. Di rumah walet, proses ini dimulai dengan sensor tegangan yang mengukur tegangan aki, kemudian data tersebut dikirim ke mikrokontroler ATmega328 untuk diproses. Mikrokontroler ini tidak hanya mengukur tegangan, tetapi juga mengkategorikan kondisi tegangan aki menjadi beberapa variasi: karakter 'L' untuk kondisi aki *Low Voltage*, 'N' untuk kondisi aki Normal, 'H' untuk kondisi tegangan aki tinggi, dan 'O' untuk kondisi aki Over Voltage.

Modul penerima kemudian mengirimkan data tersebut ke mikrokontroler ATmega328 yang terpasang pada Arduino Uno. Mikrokontroler ini bertanggung jawab untuk memproses

data yang diterima dan mengendalikan perangkat output lainnya. Informasi tegangan yang diterima ditampilkan pada layar LCD 16x2, memungkinkan pemilik walet untuk memantau status tegangan aki secara real-time. Selain itu, jika tegangan aki berada di luar batas yang diinginkan, mikrokontroler akan mengaktifkan *buzzer* sebagai peringatan langsung kepada pemilik walet. Seluruh sistem penerima ini mendapatkan daya dari sumber daya yang terpisah untuk memastikan operasi yang stabil dan andal. Alur kerja diagram sistem penerima ini dapat dilihat pada Gambar 3.



Gambar 3. Diagram Alir Rancangan Skema Penerima

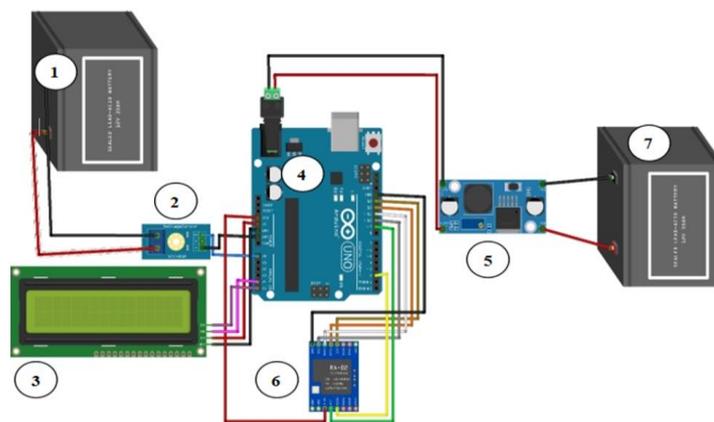
2.3. Kalibrasi sensor

Kalibrasi dilakukan untuk memastikan bahwa sensor yang digunakan memberikan masukan yang sesuai kepada mikrokontroler. Untuk keperluan tersebut penelitian ini telah melakukan serangkaian ujicoba sensor dan kemudian melakukan kalibrasi guna menentukan parameter yang tepat, agar proses penginderaan berbagai besaran nantinya dapat dilakukan dengan benar. Proses ini melibatkan alat ukur berupa multimeter yang dijual dipasaran untuk dibandingkan hasilnya dengan apa yang kemudian dibaca oleh sensor yang digunakan serta diprogram menggunakan mikrokontroler ATMEGA328.

Alat ukur yang digunakan adalah Multimeter Digital Taffware DT-266 dan Multimeter Digital DT-830b, yang berfungsi untuk membandingkan hasil pembacaan sensor tegangan. Multimeter Digital Taffware DT-266 adalah alat pengukur multifungsi berbahan plastik hitam yang mampu mengukur tegangan DC hingga 1000V, tegangan AC hingga 750V, arus AC hingga 1000A, resistansi hingga 20MΩ, dan suhu dari -20°C hingga 1000°C. Dilengkapi dengan layar LCD beresolusi 1999 count, clamp meter untuk pengukuran arus tanpa memutus sirkuit, serta fitur pengukuran kontinuitas, dioda, dan kapasitor. Alat ini memiliki fungsi hold untuk menahan hasil pengukuran di layar dan proteksi overload. Menggunakan baterai 9V, alat ini dirancang kompak dan portabel.

Sementara itu, Multimeter Digital DT-830b memiliki kemampuan mengukur tegangan DC (200mV - 600V), tegangan AC (200V - 600V), arus DC (200μA - 10A), dan resistansi (200Ω - 2000kΩ). Dilengkapi layar LCD 3½ digit, fitur pengujian dioda, transistor (hFE), dan kontinuitas dengan buzzer. Multimeter ini didesain dengan akurasi ±0.5% untuk tegangan DC, ±1.2% untuk tegangan AC, ±1.0% untuk arus DC, dan ±1.0% untuk resistansi. Selain itu, dilengkapi perlindungan overload dan sakelar putar untuk pemilihan fungsi dan jangkauan. Alat ini menggunakan baterai 9V dengan dimensi 126 x 70 x 24mm dan berat sekitar 150g (termasuk baterai).

2.4. Rancangan Modul Pengirim dan Penerima untuk pengujian



Gambar 4. Rangkain Modul Pengirim Data

Ket. Gambar

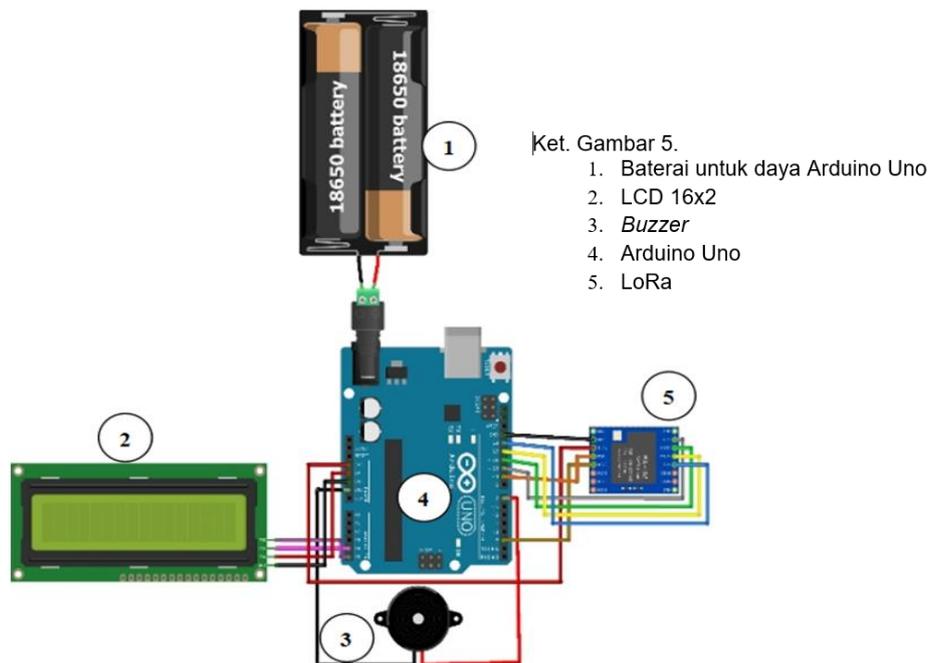
- | | |
|----------------------------------|---------------------------|
| 1. Aki Untuk Daya Arduino Uno | 5. Sensor tegangan |
| 2. Modul <i>voltage stepdown</i> | 6. LoRa |
| 3. LCD 16x2 | 7. Aki Rumah Burung Walet |
| 4. Arduino Uno | |

Gambar 4. menunjukkan rancangan modul pada sistem pengirim, sensor tegangan mengukur nilai tegangan aki, yang selanjutnya dikirimkan ke mikrokontroler ATMEGA328 untuk diproses. Mikrokontroler tidak hanya mengukur tegangan, tetapi juga mengklasifikasikan kondisi aki ke dalam beberapa kategori, seperti 'L' untuk *Low Voltage*, 'N' untuk Normal, 'H' untuk tinggi, dan 'O' untuk *Over Voltage*.

Hasil klasifikasi ini ditampilkan pada LCD di rumah walet dan dikirimkan melalui modul LoRa SX1278 RA-02 433MHz ke penerima di rumah pemilik. Modul LoRa memungkinkan transmisi data jarak jauh dengan konsumsi daya rendah. LCD 16x2 dengan modul I2C

digunakan untuk menampilkan informasi tegangan aki dan kondisi klasifikasinya ('L', 'N', 'H', 'O'), dengan modul I2C membantu menghubungkan LCD ke mikrokontroler dengan penggunaan pin yang efisien. Terakhir, modul *step down* LM2596 menurunkan tegangan dari aki 12 Volt untuk mengoperasikan mikrokontroler dan komponen lainnya secara efisien.

Berikutnya untuk pengembangan model perangkat penerima terlihat pada Gambar 5. Adapun perangkat kerasnya terdiri dari komponen utama seperti Mikrokontroler ATmega328 (modul Arduino Uno), LoRa SX1278 RA-02 433MHz, LCD 16x2, modul I2C untuk antarmuka serial LCD 16x2, sensor tegangan, *buzzer* 5V, serta opsi daya dari adaptor maksimal 12 Volt atau power bank 5 Volt.



Gambar 5. Rangkain Modul Penerima Data

Bagian penerima ini bisa ditempatkan di rumah pemilik walet. Sistem penerima menerima dan memproses data yang dikirim oleh sistem pengirim. Modul LoRa SX1278 RA-02 433MHz berperan sebagai penerima data karakter dari sistem pengirim di rumah walet, kemudian meneruskannya ke mikrokontroler ATmega328 yang terpasang pada Arduino Uno. Mikrokontroler ini mengolah data yang diterima untuk mengendalikan perangkat *output* lainnya. Informasi karakter tegangan ditampilkan pada LCD 16x2, memungkinkan pemilik walet memantau status tegangan aki secara real-time. Mikrokontroler juga mengontrol *buzzer* sebagai respons terhadap karakter yang diterima: bunyi dua kali untuk 'L', tidak ada bunyi untuk 'N', bunyi pendek empat kali per detik untuk 'H', dan bunyi delapan kali per detik untuk 'O'. Sistem penerima ini dijalankan dari sumber daya terpisah untuk memastikan operasi yang stabil.

2.5. Metode pengumpulan data pengujian

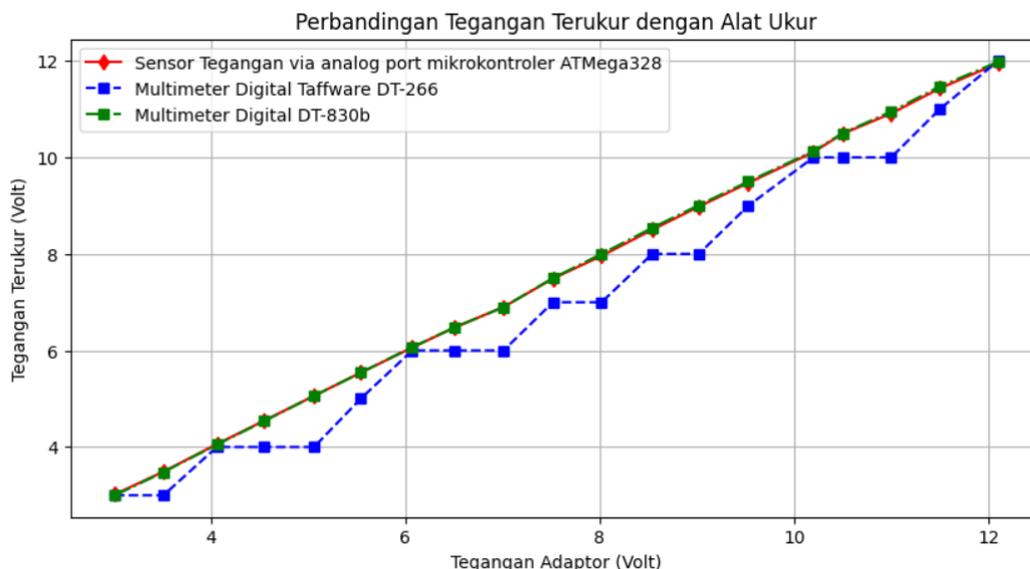
Data yang dikumpulkan diperoleh dengan melakukan berbagai simulasi terhadap sistem atau alat yang dibangun, terutama untuk kondisi-kondisi kritis semisal turun dan nainya tegangan pada aki. Kemudian sesuai dengan keterangan yang disampaikan sebelumnya bahwa, penelitian ini menyertakan juga proses kalibrasi sensor yang digunakan dalam pengumpulan data pengujian.

4. Hasil dan Pembahasan

4.1. Hasil kalibrasi dan pengujian sensor yang digunakan

Gambar 6. menunjukkan perbandingan pengukuran tegangan oleh sensor dengan dua multimeter digital, *Taffware* DT 266 dan DT-830B. Hasil pengujian menunjukkan bahwa sensor tegangan memiliki akurasi tinggi dan mendekati nilai tegangan yang sebenarnya. Sensor ini lebih konsisten dibandingkan dengan Multimeter Digital *Taffware* DT-266, yang cenderung

menghasilkan nilai lebih rendah, terutama pada tegangan tinggi. Selain itu, terdapat ketidakakuratan pada beberapa titik pengukuran antara sensor dan Taffware DT-266, seperti pada tegangan adaptor 11.00V, di mana *Taffware* DT-266 menunjukkan 10.00V, sementara sensor menunjukkan 10.91V. Hal ini mengindikasikan kemungkinan masalah kalibrasi pada *Taffware* DT-266. Secara keseluruhan, sensor tegangan terbukti akurat dan dapat diandalkan, dengan hasil yang lebih konsisten dibandingkan *Taffware* DT-266, yang mungkin memiliki masalah dalam kalibrasi atau akurasi.



Gambar 6. Perbandingan pengukuran tegangan oleh sensor dan alat ukur tegangan

4.2. Pengujian Modul LoRa

Pengujian Tabel 1 menampilkan hasil pengujian sistem komunikasi LoRa menggunakan mikrokontroler Arduino Uno untuk pengiriman dan penerimaan data karakter dalam jarak satu meter. Dalam tabel tersebut terlihat data karakter yang dikirim dan data karakter yang diterima, serta waktu yang diperlukan antara pengiriman dan penerimaan data.

Tabel 1. Pengujian pengiriman dan penerimaan data karakter oleh modul LoRa

No.	Data karakter dikirim LoRa Tx & Arduino Uno 1	Data karakter yang diterima LoRa Rx & Arduino Uno 2	Waktu antara data dikirim dan diterima (detik)
1.	A	A	1
2.	B	B	1
3.	C	C	1
4.	D	D	1
5.	1	1	1
6.	2	2	1
7.	3	3	1

Hasil pengujian menghasilkan beberapa temuan. Pertama, setiap karakter yang dikirimkan sesuai dengan karakter yang diterima tanpa ada perbedaan, menunjukkan keandalan tinggi dari sistem LoRa dalam mentransmisikan data tanpa kesalahan. Waktu yang konsisten, yaitu 1 detik untuk semua percobaan, menunjukkan bahwa sistem memiliki latensi yang rendah dan stabil. Ini penting untuk keandalan dalam aplikasi yang membutuhkan komunikasi real-time atau hampir *real-time*.

Selanjutnya, pengujian meliputi berbagai jenis karakter seperti huruf (A, B, C, D) dan angka (1, 2, 3), yang menunjukkan bahwa sistem mampu menangani beberapa jenis karakter, dengan konsistensi yang sama baik dalam pengiriman maupun penerimaan. Tingkat konsistensi yang tinggi ini menunjukkan keandalan sistem LoRa dalam pengiriman data

karakter tanpa kesalahan. Waktu pengiriman yang stabil pada 1 detik untuk setiap percobaan menunjukkan bahwa sistem mampu menjaga performa yang baik meskipun dalam kondisi yang berbeda selama setiap pengujian dilakukan.

Hasil pengujian ini menunjukkan bahwa sistem komunikasi LoRa yang digunakan bersama mikrokontroler ATmega328 (Arduino Uno) cukup andal dan efisien untuk pengiriman data karakter. Keandalan tinggi dalam pengiriman data tanpa kesalahan serta latensi yang rendah menegaskan bahwa sistem ini cocok digunakan dalam aplikasi yang memerlukan komunikasi data *real-time* yang stabil dan dapat diandalkan.

4.3. Pengujian Keseluruhan Sistem

Pengujian sistem pemantauan tegangan aki/adaptor menggunakan LoRa dilakukan pada berbagai jarak (0,5 m, 1 m, 5 m, 25 m, dan 50 m). Hasil pengujian menunjukkan bahwa sensor tegangan memberikan pengukuran yang akurat, dengan perbedaan kecil antara nilai yang diukur dan nilai sebenarnya. Selain itu, sistem LoRa menunjukkan keandalan yang tinggi dalam mengirim dan menerima data, serta pengkategorian tegangan yang konsisten, meskipun pada jarak yang lebih jauh ada beberapa penurunan kualitas transmisi data. Berikut adalah rangkuman hasil pengujian pada berbagai jarak:

- 1) Jarak 0,5 m (Tabel 2):
Sensor tegangan dan pengiriman data menunjukkan kecocokan yang sangat baik antara data yang dikirim (Tx) dan yang diterima (Rx) pada setiap tingkat tegangan (L, N, H, O). Semua data sesuai tanpa kesalahan, menunjukkan sistem LoRa bekerja dengan sangat efisien dan akurat.
- 2) Jarak 1 m (Tabel 3):
Hasilnya serupa dengan jarak 0,5 m, di mana sensor dan sistem komunikasi LoRa menunjukkan konsistensi yang sangat tinggi dalam pengukuran tegangan dan pengiriman data tanpa kesalahan.
- 3) Jarak 5 m (Tabel 4):
Hasil tetap sangat baik, menunjukkan bahwa LoRa dapat bekerja efektif pada jarak lebih jauh dengan akurasi dan konsistensi yang tetap tinggi. Kategori tegangan tetap sesuai, dan sistem pengkategorian tegangan berfungsi dengan baik.
- 4) Jarak 25 m (Tabel 5):
Meskipun pengiriman data tetap konsisten, akurasi pengukuran tegangan dan transmisi data tetap terjaga dengan baik. Pengkategorian tegangan tetap stabil, dan tidak ada ketidaksesuaian besar antara data yang dikirim dan diterima.
- 5) Jarak 50 m (Tabel 6):
Terdapat sedikit ketidaksesuaian pada tegangan 12,7V, di mana pengirim mengirimkan data sebagai 'H' (Tegangan Tinggi) namun diterima sebagai 'N' (Normal) oleh penerima. Ini kemungkinan akibat gangguan sinyal pada jarak lebih jauh. Namun, data lainnya tetap konsisten dan sesuai.

Tabel 2. Pengujian sistem jarak antar LoRa 0,5 meter

No	Tegangan Aki/Adaptor (Volt)	Tegangan Terukur Sensor (Volt)	Data yang dikirim (Tx)	Data yang diterima (Rx)	Kesesuaian data dikirim dan diterima
1.	10	10,05	L	L	Sesuai
2.	10,5	10,55	L	L	Sesuai
3.	11,75	11,76	L	L	Sesuai
4.	11,80	11,82	N	N	Sesuai
5.	11,85	11,86	N	N	Sesuai
6.	11,9	11,90	N	N	Sesuai
7.	11,95	11,96	N	N	Sesuai
8.	12	12,02	N	N	Sesuai
9.	12,5	12,51	N	N	Sesuai
10.	12,7	12,72	N	N	Sesuai
11.	12,8	12,81	H	H	Sesuai
12.	12,9	12,89	H	H	Sesuai
13.	13,0	13,01	O	O	Sesuai
14.	13,5	13,45	O	O	Sesuai

Tabel 3. Pengujian sistem jarak antar LoRa 1 meter

No	Tegangan Aki/Adaptor (Volt)	Tegangan Terukur Sensor (Volt)	Data yang dikirim (Tx)	Data yang diterima (Rx)	Kesesuaian data dikirim dan diterima
1.	10	10,05	L	L	Sesuai
2.	10,5	10,55	L	L	Sesuai
3.	11,75	11,76	L	L	Sesuai
4.	11,80	11,82	N	N	Sesuai
5.	11,85	11,86	N	N	Sesuai
6.	11,9	11,90	N	N	Sesuai
7.	11,95	11,96	N	N	Sesuai
8.	12	12,02	N	N	Sesuai
9.	12,5	12,51	N	N	Sesuai
10.	12,7	12,72	N	N	Sesuai
11.	12,8	12,81	H	H	Sesuai
12.	12,9	12,89	H	H	Sesuai
13.	13,0	13,01	O	O	Sesuai
14.	13,5	13,45	O	O	Sesuai

Tabel 4. Pengujian sistem jarak antar LoRa 5 meter

No	Tegangan Aki/Adaptor (Volt)	Tegangan Terukur Sensor (Volt)	Data yang dikirim (Tx)	Data yang diterima (Rx)	Kesesuaian data dikirim dan diterima
1.	10	10,08	L	L	Sesuai
2.	10,5	10,57	L	L	Sesuai
3.	11,75	11,75	L	L	Sesuai
4.	11,80	11,80	N	N	Sesuai
5.	11,85	11,83	N	N	Sesuai
6.	11,9	11,91	N	N	Sesuai
7.	11,95	11,94	N	N	Sesuai
8.	12	12,00	N	N	Sesuai
9.	12,5	12,51	N	N	Sesuai
10.	12,7	12,71	N	N	Sesuai
11.	12,8	12,80	H	H	Sesuai
12.	12,9	12,90	H	H	Sesuai
13.	13,0	13	O	O	Sesuai
14.	13,5	13,56	O	O	Sesuai

Tabel 5. Pengujian sistem jarak antar LoRa 25 meter

No	Tegangan Aki/Adaptor (Volt)	Tegangan Terukur Sensor (Volt)	Data yang dikirim (Tx)	Data yang diterima (Rx)	Kesesuaian data dikirim dan diterima
1.	10	10,07	L	L	Sesuai
2.	10,5	10,45	L	L	Sesuai
3.	11,75	11,70	L	L	Sesuai
4.	11,80	11,80	N	N	Sesuai
5.	11,85	11,85	N	N	Sesuai
6.	11,9	11,91	N	N	Sesuai
7.	11,95	11,96	N	N	Sesuai
8.	12	12,00	N	N	Sesuai
9.	12,5	12,50	N	N	Sesuai
10.	12,7	12,65	N	N	Sesuai
11.	12,8	12,80	H	H	Sesuai
12.	12,9	12,88	H	H	Sesuai
13.	13,0	13,10	O	O	Sesuai
14.	13,5	13,55	O	O	Sesuai

Tabel 6. Pengujian sistem jarak antar LoRa 50 meter

No	Tegangan Aki/Adaptor (Volt)	Tegangan Terukur Sensor (Volt)	Data yang dikirim (Tx)	Data yang diterima (Rx)	Kesesuaian data dikirim dan diterima
1.	10	10,0	L	L	Sesuai
2.	10,5	10,5	L	L	Sesuai
3.	11,75	11,73	L	L	Sesuai
4.	11,80	11,81	N	N	Sesuai
5.	11,85	11,84	N	N	Sesuai
6.	11,9	11,90	N	N	Sesuai
7.	11,95	11,96	N	N	Sesuai
8.	12	12,06	N	N	Sesuai
9.	12,5	12,47	N	N	Sesuai
10.	12,7	12,71	H	N	Tidak Sesuai
11.	12,8	12,82	H	H	Sesuai
12.	12,9	12,91	H	H	Sesuai
13.	13,0	13,05	O	O	Sesuai
14.	13,5	13,55	O	O	Sesuai

Secara teoritis, LoRa memungkinkan komunikasi data dalam jarak jauh, terutama pada frekuensi rendah seperti 868 MHz atau 900 MHz. Namun, dalam eksperimen yang dilakukan, pengujian dibatasi pada jarak 50 meter di lingkungan perumahan yang terpapar interferensi dari sinyal WiFi 2.4 GHz dan 5.8 GHz. Hasil pengujian menunjukkan bahwa pada jarak lebih dari 50 meter, sinyal LoRa pada frekuensi 433 MHz mengalami gangguan signifikan yang disebabkan oleh interferensi dari sinyal WiFi. Meskipun demikian, hasil ini hanya mencerminkan kondisi eksperimen yang spesifik dan tidak sepenuhnya menggambarkan potensi LoRa secara umum. Pengujian di lingkungan dengan lebih sedikit interferensi atau menggunakan frekuensi LoRa yang berbeda dapat menunjukkan jangkauan yang lebih jauh dan kinerja yang lebih optimal.

Penggunaan LoRa dalam sistem pemantauan tegangan menunjukkan kinerja yang sangat baik dengan akurasi dan konsistensi data yang tinggi pada jarak 25 meter dan 50 meter. Sistem ini juga terbukti lebih efisien dibandingkan dengan teknologi berbasis WiFi atau GSM, yang memiliki keterbatasan dalam hal jangkauan dan kestabilan sinyal, khususnya di lokasi-lokasi terpencil. Sebagai perbandingan, penelitian yang dilakukan oleh [6] menunjukkan bahwa meskipun sistem mikrokontroler dan IoT untuk pemantauan tegangan aki efektif, tantangan utama tetap terkait dengan jangkauan dan kestabilan sinyal, terutama di area dengan gangguan sinyal.

Temuan dari penelitian ini menegaskan bahwa teknologi LoRa dapat mengatasi kendala tersebut dengan memungkinkan transmisi data pada jarak jauh dengan konsumsi daya yang rendah. Perbandingan dengan penelitian [5] yang menggunakan teknologi WiFi dalam sistem pemantauan daya mengindikasikan bahwa LoRa menawarkan keunggulan yang signifikan dalam hal efisiensi dan kestabilan transmisi data, khususnya pada lokasi dengan infrastruktur komunikasi yang terbatas.

5. Simpulan

Penelitian ini menunjukkan bahwa prototipe yang dikembangkan berfungsi sesuai dengan spesifikasi yang telah diprogram, meskipun terdapat tantangan terkait gangguan fisik dan non-fisik yang mengindikasikan perlunya pengembangan lebih lanjut. Meskipun demikian, sensor tegangan yang digunakan dalam prototipe ini menunjukkan akurasi yang tinggi, dan sistem memiliki kemampuan otonom yang memungkinkan pengoperasian mandiri setelah terhubung dengan sumber daya listrik. Temuan ini menyediakan dasar yang kuat untuk penelitian lebih lanjut dan berpotensi untuk publikasi di tingkat internasional dalam bidang teknologi dan ilmu terkait.

Daftar Referensi

- [1] A. Ibrahim and A. Supardi, "Desain dan implementasi alat pengendali suhu secara otomatis pada rumah burung walet," Skripsi, Program Studi Informatika, Universitas Muhammadiyah Surakarta, Surakarta, 2020.
- [2] A. Akbar, A. T. B. Utami, and S. W. Sidehabi, "Prototype sistem pengendali suhu dan kelembaban pada budidaya burung walet berbasis mikrokontroler Atmega 2560," Tugas Akhir, POLITEKNIK ATI MAKASSAR, Makassar, 2019.
- [3] S. Baco, K. Kamal, F. El Fazza, and M. A. Alfaids, "Sistem kontrol pada budidaya sarang burung walet menggunakan Internet of Things (IoT)," *J. Teknol. dan Komput.*, vol. 3, no. 01, pp. 265–272, 2023, doi: 10.56923/jtek.v3i01.122.
- [4] A. Iskandar, Ishak, and S. Yakub, "Implementasi IoT pada sistem monitoring dan kendali otomatis suhu dan kelembaban ruangan sarang burung walet berbasis mikrokontroler," *J. Cyber Tech*, vol. 4, no. 8, pp. 1–8, 2022. [Online]. Available: <https://ojs.trigunadharma.ac.id/index.php/jct/article/view/2458>.
- [5] C. A. Siagian, A. D. N. Utomo, and I. Kresna A., "Sistem pemantauan suhu, kelembapan, cahaya, dan pH air pada rumah walet berbasis Internet of Things," *J. Telecommun. Electron. Control Eng.*, vol. 6, no. 1, pp. 1–12, 2024, doi: 10.20895/jtece.v6i1.988.
- [6] A. Zamahuri, "Sistem pengendalian otomatis pada budidaya sarang burung walet menggunakan Internet of Things," *J. Jartel J. Jar. Telekomun.*, vol. 9, no. 4, pp. 431–435, 2019, doi: 10.33795/jartel.v9i4.140.
- [7] R. Firanda and M. Yuhendri, "Monitoring state of charge accumulator berbasis graphical user interface menggunakan Arduino," *JTEIN J. Tek. Elektro Indones.*, vol. 2, no. 1, pp. 11–16, 2021, doi: 10.24036/jtein.v2i1.95.
- [8] H. Hamdi, I. Ruslianto, and S. Suhardi, "Sistem pemantauan dan pengontrolan pada rumah budi daya burung walet berbasis Internet of Things," *Coding J. Komput. dan Apl.*, vol. 10, no. 2, pp. 320–331, 2022.
- [9] J. Sampurna and D. Hirawan, "Pembangunan sistem pemantauan rumah walet berbasis IoT," Universitas Komputer Indonesia, Bandung, 2021.
- [10] D. Maulana, I. G. A. P. R. Agung, and I. P. E. D. Nugraha, "Sistem monitor budi daya sarang burung walet berbasis ESP32-CAM dilengkapi aplikasi Telegram," *J. SPEKTRUM*, vol. 9, no. 1, p. 143, 2022, doi: 10.24843/spektrum.2022.v09.i01.p17.
- [11] M. Ariandi and J. Alvinser, "Prototipe sistem monitoring rumah walet berbasis IoT," *J. Media Inform. Budidarma*, vol. 7, no. 2, pp. 920–927, 2023, doi: 10.30865/mib.v7i2.5897.
- [12] A. Alfarizi and B. Rahmani, "Rancang bangun prototipe pemonitor tegangan suplai dari baterai pada rumah sarang burung walet di desa Tumbang Gaei berbasis mikrokontroler dan LoRa," Skripsi, Program Studi Teknik Informatika, STMIK Banjarbaru, Banjarbaru, 2024.
- [13] I. P. G. A. Sudiarmika, R. L. Rahardian, K. A. Karismayana, and L. P. M. Anjani, "Rancang bangun monitoring charging accu menggunakan Arduino berbasis Android," *Naratif J. Nas. Riset, Apl. Dan Tek. Inform.*, vol. 4, no. 1, pp. 63–74, 2022, doi: 10.53580/naratif.v4i1.153.
- [14] M. Junaldy, S. R. U. A. Sompie, and L. S. Patras, "Rancang bangun alat pemantau arus dan tegangan di sistem panel surya berbasis Arduino Uno," *J. Tek. Elektro dan Komput.*, vol. 8, no. 1, pp. 9–14, 2019.
- [15] R. Hidayatulloh and B. Bahar, "Model alat monitoring baku mutu air berbasis web terkendali mikrokontroler," *Jutisi J. Ilmiah Teknik Informatika dan Sistem Informasi*, vol. 12, no. 3, pp. 1865–1872, 2023, doi: 10.35889/jutisi.v12i3.1815.
- [16] R. S. Poliama, F. E. P. Surusa, and R. K. Abdullah, "Rancang bangun alat sistem monitor lampu jalan umum tenaga surya berbasis teknologi LoRa," *Jambura J. Electr. Electron. Eng.*, vol. 3, no. 2, pp. 34–40, 2021, doi: 10.37905/jjee.v3i2.10202.