

Rancang Bangun Penakar Hujan Dengan Peringatan Dini Hujan Lebat Menggunakan Tipping Bucket dan Mikrokontroler ESP32

Verga Philipus Bangun*, Kanton Lumban Toruan

Prodi D-IV Instrumentasi MKG, Sekolah Tinggi Meteorologi Klimatologi dan Geofisika
Tangerang Selatan, Indonesia

*verga.philipus.bangun@stmkg.ac.id

Abstract – Indonesia is a country that has two seasons, namely the dry and rainy seasons. One of the parameters that is one of the causes of natural disasters is rain. Rainfall observations in Indonesia are carried out by the Meteorology, Climatology and Geophysics Agency (BMKG). Automatic Rain Gauge (ARG) is one of the automatic rain gauges used by BMKG to obtain rainfall data in Indonesia. The need for rain gauge equipment in Indonesia is increasing to support the lack of rain station density. This research was conducted to design a rain gauge using a tipping bucket, with the working principle of collecting rainfall through a funnel and flowing it into a seesaw so that it produces tips and is converted into rainfall. This rain gauge is integrated with ThingSpeak and website to disseminate rainfall data and telegram to provide early warning of heavy intensity rain. The rain gauge is designed by combining several components such as a reed switch sensor, ESP32 Microcontroller, DS1302 RTC, MicroSD, LiFePO4 battery and solar panel as a power supply and has a cross-sectional area of 10,000 mm² with a height of 1.2 m. The experiment was carried out with a comparison system, namely comparing the amount of water in the measuring cup which was converted to test rainfall with the rainfall measured in the rain gauge. The results of testing the rain gauge provide good value and provide good results in sending data to the website and ThingSpeak and sending early warnings to telegram.

Abstrak – Indonesia merupakan negara yang memiliki dua musim, yaitu musim kemarau dan hujan. Salah satu parameter yang menjadi salah satu penyebab bencana alam ialah hujan. Pengamatan curah hujan di Indonesia dilakukan oleh Badan Meteorologi Klimatologi dan Geofisika (BMKG). Automatic Rain Gauge (ARG) merupakan salah satu alat pengukur hujan otomatis yang digunakan oleh BMKG untuk memperoleh data curah hujan di Indonesia. Kebutuhan peralatan penakar hujan di Indonesia semakin banyak untuk menunjang kurangnya kerapatan pos hujan. Penelitian ini dilakukan untuk merancang sebuah penakar hujan menggunakan tipping bucket, dengan prinsip kerja menampung curah hujan melalui corong dan mengalirkannya ke jungkat-jungkit sehingga menghasilkan tip dan dikonversi menjadi curah hujan. Penakar hujan ini diintegrasikan dengan ThingSpeak dan website untuk mendiseminasikan data curah hujan serta telegram untuk memberikan peringatan dini hujan intensitas lebat. Penakar hujan dirancang dengan menggabungkan beberapa komponen seperti sensor reed switch, Mikrokontroler ESP32, RTC DS1302, MicroSD, baterai LiFePO4 dan panel surya sebagai catu daya serta memiliki luas penampang 10.000 mm² dengan tinggi 1,2 m. Percobaan dilakukan dengan sistem komparasi yaitu membandingkan jumlah air pada gelas ukur yang dikonversi menjadi curah hujan uji dengan curah hujan yang terukur pada penakar hujan. Hasil pengujian penakar hujan memberikan nilai yang baik serta memberikan hasil yang baik pada pengiriman data ke website dan ThingSpeak serta mengirimkan peringatan dini ke telegram.

Kata Kunci – penakar hujan otomatis; ESP32; tipping bucket; curah hujan; bmkg.

I. PENDAHULUAN

Salah satu parameter yang mempengaruhi cuaca dan menjadi salah satu penyebab bencana alam ialah hujan. Hujan merupakan salah satu jenis presipitasi yang berwujud cairan. Presipitasi dapat didefinisikan sebagai produk cair maupun solid yang terjadi akibat kondensasi dari uap air yang membentuk awan kemudian jatuh dalam bentuk hujan (*rain*),

butiran salju (*snow grains*), *snow pellets*, hail dan *ice pellets*, atau jatuh dari udara (*clear air*) dalam bentuk *diamond dust* [1]. Hujan dengan intensitas yang sangat tinggi dapat menyebabkan bencana alam seperti tanah longsor dan banjir. Oleh karena itu informasi terkait curah hujan merupakan hal yang sangat penting untuk mitigasi bencana, seperti banjir di perkotaan yang disebabkan oleh drainase atau sungai yang tidak mampu menampung debit air hujan.

Informasi ini juga diperlukan untuk bangunan seperti bendungan, irigasi, dan lain-lain. Pengukuran curah hujan harian harus dilakukan pada waktu yang

Naskah diterima 02-05-2023, revisi 10-07-2023, terbit online 05-04-2024. Emitor merupakan Jurnal Teknik Elektro – Universitas Muhammadiyah Surakarta yang terakreditasi dengan Sinta 3 beralamat di <https://journals2.ums.ac.id/index.php/emitor/index>.

tetap yang umum untuk seluruh jaringan, jaringan yang penting atau jaringan yang menjadi perhatian [1]. Pengamatan curah hujan di Indonesia dilakukan oleh Badan Meteorologi Klimatologi dan Geofisika (BMKG). *Automatic Rain Gauge* (ARG) merupakan salah satu alat pengukur hujan otomatis yang digunakan oleh BMKG untuk memperoleh data curah hujan di Indonesia. BMKG juga menggunakan penakar hujan konvensional tipe observatorium [2]. Pengukuran curah hujan masih sering dilakukan dengan cara tradisional menggunakan alat penakar hujan observatorium (obs). Pada saat melakukan pengukuran dengan alat tipe observatorium, curah hujan yang terkumpul diukur dengan menggunakan gelas ukur dengan cara mengangkat corong pengukur, kemudian mengambil tabung penampung curah hujan dan menuangkannya ke dalam gelas ukur. Jika jumlah curah hujan yang terkumpul melebihi kapasitas gelas ukur, maka pengukuran harus dilakukan beberapa kali agar semua curah hujan yang terkumpul dapat diukur dengan tepat. Ini akan memakan waktu yang cukup lama dan sering kali saat memindahkan curah hujan dari tabung ke gelas ukur, air hujan sering tumpah, yang menyebabkan hasil pengukuran kurang valid dan efektif. Namun, saat ini kita belum dapat memantau fenomena curah hujan secara otomatis pada suatu tempat [3, 4]. Penakar hujan otomatis tidak hanya diletakkan atau digunakan pada stasiun pengamatan BMKG, namun penakar hujan otomatis juga diletakkan di daerah terpencil yang jauh dari jaringan listrik. Kondisi tersebut menjadi permasalahan karena alat pengukur hujan otomatis memerlukan sumber energi listrik untuk dapat berfungsi [5].

Tabel 1: Intensitas Curah Hujan per Hari (sumber : BMKG)

Curah Hujan (mm) per hari	Kondisi Curah Hujan
0.5 – 20	Hujan ringan
20 – 50	Hujan sedang
50 – 100	Hujan lebat
100 – 150	Hujan sangat lebat
>150	Hujan ekstrem

Tabel 2: Intensitas Curah Hujan per Jam (sumber : BMKG)

Curah Hujan (mm) per Jam	Kondisi Curah Hujan
<1	Hujan sangat ringan
1 - 5	Hujan ringan
5 - 10	Hujan normal
10 - 20	Hujan lebat
>20	Hujan sangat lebat

Data curah hujan yang ada di Indonesia masih

belum tersedia secara real-time untuk publik dan pengukuran data curah hujan masih belum mencapai ruang lingkup yang kecil seperti desa/kelurahan. Hal ini mengakibatkan mitigasi bencana akibat hujan belum dapat dilakukan secara maksimal. Berbagai penelitian untuk memperapat jaringan penakar hujan dan memperkuat daya tahan baterai telah dilakukan oleh beberapa peneliti. Penelitian berjudul “Rancang Bangun Pendeteksi Curah Hujan Menggunakan Tipping Bucket Rain Sensor dan Arduino Uno” telah merancang penakar hujan model tipping bucket dengan menggunakan sensor reed switch dan Arduino uno sebagai mikrokontrolernya [6]. Penelitian berjudul “Rancang Bangun Prototype Jaringan Automatic Rain Gauge (ARG) Berbasis Website” telah merancang jaringan ARG dengan menampilkan data pengukuran dan jaringan ARG pada website [3]. Penelitian berjudul “Rancang Bangun Stand-Along Automatic Rain Gauge (ARG) Berbasis Panel Surya” telah merancang ARG berbasis panel surya 20 wp untuk memenuhi kebutuhan daya ARG secara mandiri [5]. Penelitian berjudul “Perancangan Alat Ukur Ketinggian Curah Hujan Otomatis Berbasis Mikrokontroler” yang menggunakan sensor ketinggian air dan Arduino untuk menghitung curah hujan [7]. Penelitian berjudul “Pembuatan Penakar Hujan Berbiaya Rendah Menggunakan Sensor Beban Berbasis Arduino Uno” telah merancang penakar hujan menggunakan sensor beban dan mikrokontroler Arduino [8]. Berdasarkan kajian pustaka di atas, maka sistem peringatan dini hujan lebat menggunakan *tipping bucket* dengan mikrokontroler ESP32, sehingga dampak akibat bencana alam seperti banjir dan longsor dapat dimimalisir.

Untuk membuat penakar hujan yang akurat dan dapat memberikan peringatan dini maka dibutuhkan beberapa komponen seperti mikrokontroler ESP32, sensor reed switch, RTC DS1302, Modul MicroSD, baterai LiFePO4 dan panel surya. Mikrokontroler ESP32 merupakan sebuah pengendali terprogram dengan System on Chip (SoC) yang mengintegrasikan WiFi 802.11 b/g/n, Bluetooth versi 4.2, dan berbagai komponen perifer. Dengan kelengkapan yang signifikan, ESP32 mencakup tidak hanya prosesor tetapi juga penyimpanan serta akses ke pin General Purpose Input Output (GPIO). Chip ESP32 dapat digunakan sebagai pengganti dalam rangkaian yang umumnya menggunakan Arduino. Selain itu, ESP32 memiliki kemampuan untuk terhubung langsung ke jaringan WiFi [9–11].

Sensor reed switch merupakan sebuah sensor yang berperan sebagai saklar yang teraktivasi atau terhubung saat medan magnet berada dalam jangkauannya. Ketika medan magnet yang cukup kuat melewati daerah di sekitar reed switch, dua lempengan yang berdekatan dalam sensor akan terhubung, menghasilkan sebuah

sirkuit tertutup bagi rangkaian yang terhubung [12, 13]. RTC (*Real Time Clock*) merupakan sebuah alat yang digunakan untuk mendapatkan waktu yang akurat atau waktu sekarang, mampu menyimpan informasi waktu seperti jam, menit, tanggal, bulan, dan tahun [14, 15]. Modul microSD merupakan sebuah komponen elektronik yang digunakan untuk mengakses kartu microSD dengan tujuan membaca dan menulis data, menggunakan antarmuka SPI (*Serial Parallel Interface*) [16]. Baterai LiFePO₄ adalah sejenis baterai lithium yang memiliki elemen aktif C-LiFePO₄ pada katoda dan grafit atau karbon interkalasi dengan lithium pada anoda. Keunggulan-keunggulannya termasuk kapasitas teoritis yang tinggi, sebesar 170 mAh g⁻¹ dan juga siklus hidup yang berlangsung lama, aman, ramah lingkungan serta memiliki biaya hidup yang relatif murah [17]. Panel surya merupakan sumber listrik yang menggunakan sel surya solar photovoltaic untuk mengubah energi cahaya matahari menjadi energi listrik. Sel surya adalah bagian yang dapat mengubah cahaya matahari menjadi listrik secara langsung [18]. LiFePO₄ adalah salah satu tipe elektroda positif yang dimanfaatkan dalam baterai ion litium. Proses pembuatan LiFePO₄ dapat dijalankan melalui beberapa metode seperti sol-gel, presipitasi, dan solid state [19, 20],

II. METODE PENELITIAN

Pada penelitian ini, penulis menggunakan beberapa tahapan yang meliputi perancangan sistem, perancangan perangkat keras dan perancangan perangkat lunak.

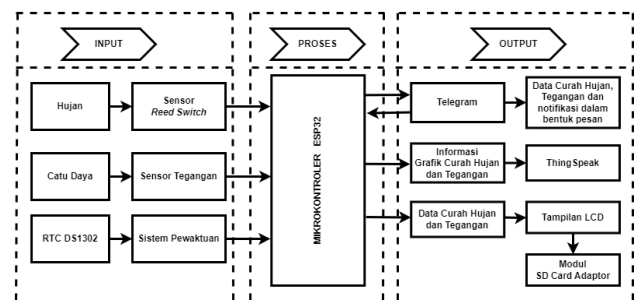
i. Perancangan Sistem

Hasil pengolahan data curah hujan dari alat yang dibuat dapat dilihat melalui ThingSpeak dan dikendalikan melalui Telegram. Pengguna dapat memantau dan me-reset perangkat jarak jauh melalui ThingSpeak dan Telegram. Konsep sistem akan dijelaskan lebih lanjut pada blok diagram dan diagram alir. Perancangan sistem berupa blok diagram dari alat ini terdapat pada Gambar 1. Blok diagram tersebut terbagi atas 3 bagian utama yang saling berhubungan yakni input, proses dan output.

Setiap bagian dalam blok diagram sistem pada gambar 1 memiliki fungsi tertentu. Fungsi kerja dari setiap blok diagram di atas adalah sebagai berikut:

Input: Input merupakan bagian dari blok diagram yang terdiri dari sensor reed switch, sensor tegangan dan sistem pewaktu yang berfungsi untuk:

1. Sensor reed switch Terdapat sensor reed switch yang digunakan untuk mendeteksi magnet pada jungkat-jungkit tipping bucket, setiap tip akan dihidupkan dan di konversi menjadi curah hujan.



Gambar 1: Blok Diagram Sistem

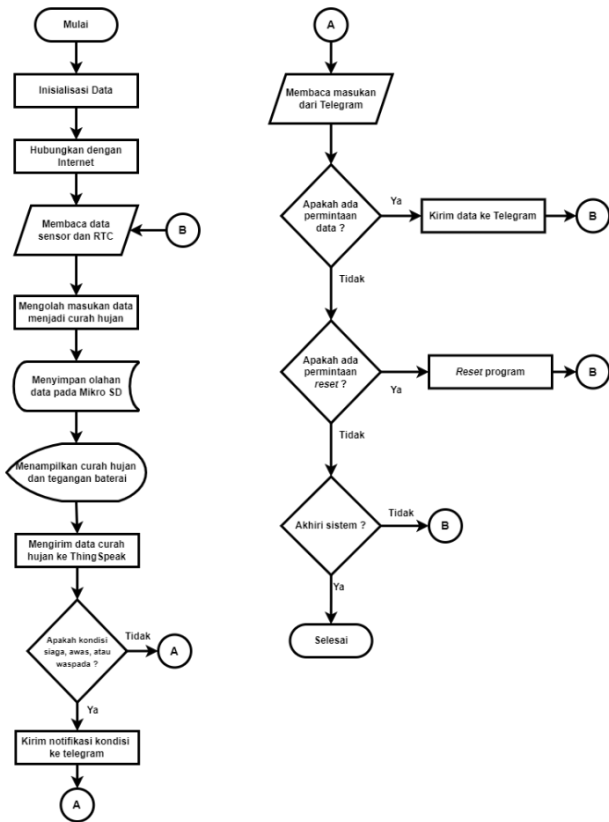
2. Sensor tegangan Sensor tegangan digunakan untuk memantau sumber tegangan baterai 12 V yang digunakan pada alat.
3. Sistem pewaktu (RTC DS1302) Real Time Clock (RTC) merupakan komponen input yang berfungsi sebagai tanda waktu secara real-time ketika alat beroperasi. Waktu pada RTC nantinya akan menunjukkan waktu pengukuran alat yang terdiri dari tanggal, bulan, tahun, jam dan menit yang akan disesuaikan dengan jam BMKG.

Proses: Proses dalam sistem ini berfungsi mengolah setiap data yang berasal dari input sehingga akan menghasilkan data dalam bentuk output. Komponen yang terdapat dalam bagian blok diagram proses ini adalah Mikrokontroler ESP32. Mikrokontroler ESP32 yang digunakan dalam pemrosesan beserta fungsinya dijelaskan dalam fungsi Mikrokontroler ESP32. Mikrokontroler ESP32 berfungsi untuk mengolah data (jumlah hitungan tip) yang dihasilkan pembacaan sensor reed switch, kemudian di konversi menjadi data curah hujan serta mengolah data dari sensor tegangan menjadi nilai tegangan. Data curah hujan akan disimpan dalam MicroSD setiap 10 menit dan di perbarui secara real-time ke ThingSpeak serta ditampilkan pada LCD.

Output: Output merupakan bagian blok diagram yang terdiri dari komponen MicroSD, LCD, ThingSpeak, dan Telegram. Fungsi dari komponen-komponen tersebut antara lain :

1. MicroSD Micro SD berfungsi sebagai penyimpanan lokal (cadangan data), digunakan untuk menyimpan data curah hujan yang telah diolah ESP32 setiap 10 menit.
2. LCD 1602 LCD berfungsi untuk menampilkan output berupa data hasil pengukuran curah hujan secara real-time. LCD juga digunakan untuk memudahkan pengamat untuk mengamati curah hujan ketika melakukan pengamatan di lapangan.
3. ThingSpeak ThingSpeak berfungsi untuk menampilkan data curah hujan dan tegangan dalam bentuk grafik pada website secara real-time.
4. Telegram Telegram berfungsi untuk menampilkan

data curah hujan dan tegangan dalam bentuk pesan serta berfungsi untuk me-reset sistem. Perancangan berupa diagram alir sistem terdapat pada Gambar 2.



Gambar 2: Diagram alir sistem

Penjelasan diagram alir sistem pada Gambar 2 adalah sebagai berikut:

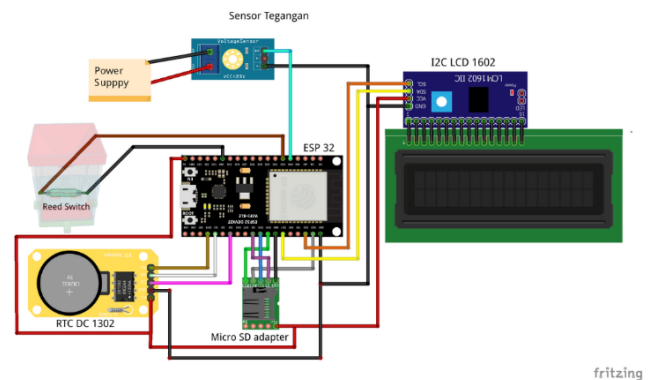
1. Catu daya dinyalakan, mulai program.
2. Melakukan inisialisasi pin dan data hardware dengan software pada mikrokontroler ESP32.
3. Melakukan pembacaan sensor reed switch, tegangan dan sistem pewaktuan RTC DS1302.
4. Data yang terbaca dari sensor diolah menjadi data curah hujan dan tegangan baterai.
5. Data yang telah diolah disimpan pada MicroSD.
6. Data curah hujan dan tegangan ditampilkan pada LCD.
7. Data curah hujan dikirim ke ThingSpeak.
8. Apabila kondisi intensitas hujan tinggi dalam 1 (satu) jam maka kirim notifikasi peringatan melalui telegram.
9. Membaca permintaan data atau reset dari Telegram.
10. Apabila ada permintaan data, kirim data ke Telegram. Kemudian kembali melakukan pembacaan data sensor dan RTC.
11. Jika tidak ada permintaan data, apabila ada permintaan reset, reset sistem. Kemudian kembali melakukan pembacaan sensor dan RTC.
12. Jika tidak ada permintaan data dan reset, apabila

la catu daya masih terhubung maka program akan mengulang ke pembacaan data sensor dan RTC.

13. Jika catu daya tidak maka sistem akan berhenti.
14. Selesai.

ii. Perancangan Perangkat Keras

Perancangan perangkat keras merupakan perancangan bentuk fisik sistem secara keseluruhan. Rangkaian sistem dibuat menggunakan software fritzing ditunjukkan pada Gambar 3.



Gambar 3: Skema rangkaian sistem

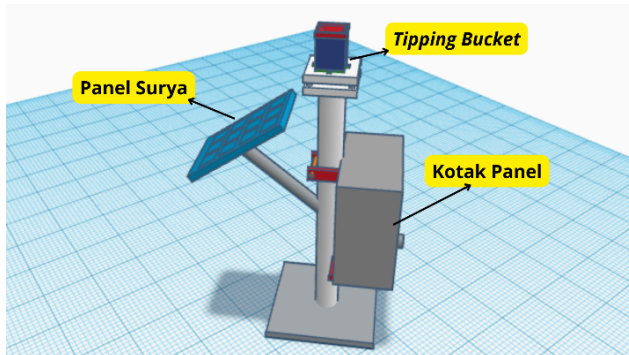
Gambar 3 merupakan gambar rangkaian skematik dari penghitungan jumlah tip yang kemudian akan dikonversi menjadi curah hujan. Sistem pewaktuan menggunakan RTC DS1302 yang dihubungkan dengan mikrokontroler ESP32. mikrokontroler ESP32 berfungsi untuk mengolah data sensor dan pewaktuan kemudian data akan ditampilkan pada LCD 1602 dan disimpan pada penyimpanan MicroSD serta dikirimkan ke ThingSpeak. Adapun keterangan warna kabel pada skema rangkaian sistem pada Gambar 3 adalah seperti pada Tabel 3.

Tabel 3: Keterangan warna kabel

Warna Kabel	Keterangan
Merah	Power
Hitam	Ground
Oranye	SCL I2C LCD
Kuning	SDA I2C LCD
Coklat	Signal reed switch
Biru Muda	Pin tegangan baterai
Ungu	SS MicroSD
Biru	SCL MicroSD
Abu Abu	Mosi MicroSD
Hijau	Miso MicroSD

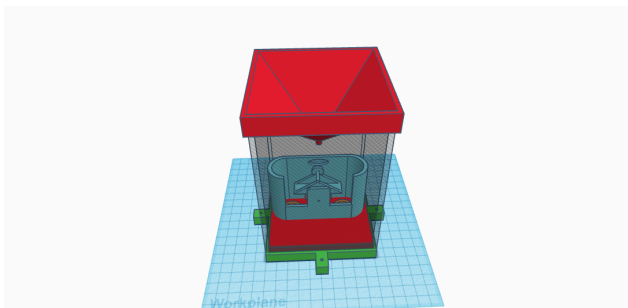
Desain keseluruhan perangkat keras atau alat yaitu

desain atau gambaran alat secara keseluruhan seperti pada Gambar 4, dimulai dari tipping bucket bagian atas, kemudian panel surya yang terletak pada bagian belakang kotak panel, lalu data logger berada di dalam kotak panel, kemudian tiang penyangga berupa besi yang memiliki alas persegi berfungsi untuk menopang perangkat keras.



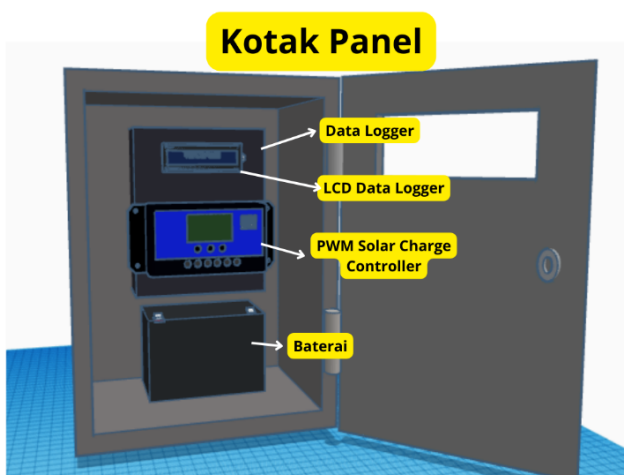
Gambar 4: Desain alat keseluruhan

Desain tipping bucket yang direncanakan pada penelitian ini akan berbentuk kotak seperti pada Gambar 5.



Gambar 5: Desain tipping bucket

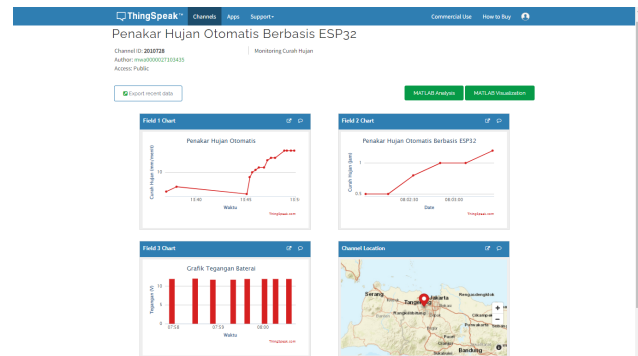
Kotak panel (box panel) digunakan sebagai tempat peletakan data logger, baterai dan solar charge control. Desain kotak panel dapat dilihat pada Gambar 6.



Gambar 6: Desain kotak panel

iii. Perancangan Perangkat Lunak

Data pengukuran curah hujan akan ditampilkan di ThingSpeak, data yang ditampilkan berupa data curah hujan real-time, data curah hujan per jam, dan data tegangan dalam bentuk grafik. Pada ThingSpeak juga akan ditampilkan data lokasi dan elevasi dari penempatan alat penakar hujan. Rancangan tampilan ThingSpeak ditunjukkan pada Gambar 7.

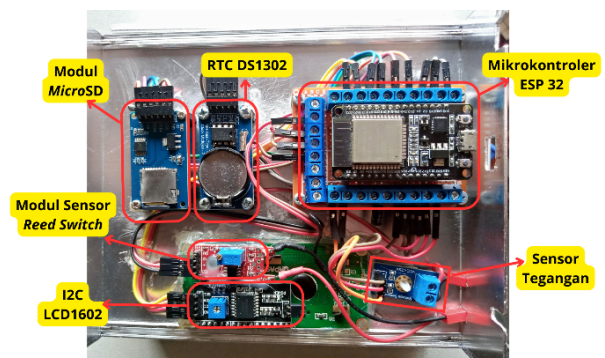


Gambar 7: Rancangan tampilan ThingSpeak

III. HASIL PENELITIAN DAN DISKUSI

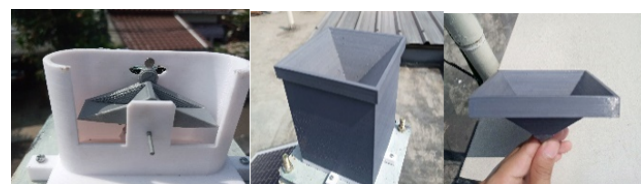
i. Implementasi Sistem

Implementasi rangkaian sistem yang telah di buat ditunjukkan pada Gambar 8.



Gambar 8: Implementasi rangkaian sistem

Implementasi tipping bucket yang telah di buat ditunjukkan pada Gambar 9.



Gambar 9: Implementasi tipping bucket

Implementasi kotak panel yang telah di buat ditunjukkan pada Gambar 10.



Gambar 10: Implementasi kotak panel

Implementasi alat secara keseluruhan merupakan penggabungan dari seluruh rancangan sistem pada penelitian ini. Kotak panel, tipping bucket, panel surya serta komponen lainnya di gabungkan menjadi satu kesatuan agar alat dapat bekerja sesuai dengan tujuan yang telah di tetapkan. Tampilan alat secara keseluruhan seperti pada Gambar 11.



Gambar 11: Implementasi alat keseluruhan

ii. Pengujian Tipping Bucket

Pengujian tipping bucket dilakukan dengan metode simulasi yaitu membandingkan curah hujan hasil perhitungan tip dengan hasil konversi curah hujan uji (penuangan air dari gelas ukur). Pengujian dilakukan dengan menuangkan air dari gelas ukur pyrex dari lab kualitas udara ke tipping bucket, air yang dituangkan ke tipping bucket sebesar 5 ml, 10 ml, 15 ml, 25 ml, 40 ml dan 60 ml dengan pengulangan sebanyak lima kali serta dilakukan pada 3 jenis penuangan, yaitu perlahan, sedang dan cepat. Jenis penuangan perlahan yaitu menuangkan air selama 60 detik, jenis penuangan sedang menuangkan air selama 30 detik, sedangkan jenis penuangan cepat menuangkan air sekaligus (1 detik). Konversi curah hujan uji berasal dari volume air dibagi luas penampang tipping bucket yaitu 10.000 mm². Hasil pembacaan nilai curah hujan oleh tipping bucket

akan dibandingkan dengan nilai curah hujan uji.

Diberikan persamaan untuk menghitung CH uji sebagai berikut:

$$CH\ uji = \frac{Volume\ air\ total}{Luas\ Penampang}$$

dengan keterangan bahwa Luas Penampang = 10.000 mm². Berikut beberapa persamaan untuk Nilai Curah Hujan Uji:

1. Nilai CH uji pada volume 5 ml (5000 mm³):

$$CH\ uji = \frac{5000\ mm^3}{10000\ mm^2} = 0,5\ mm$$

2. Nilai CH uji pada volume 10 ml (10000 mm³):

$$CH\ uji = \frac{10000\ mm^3}{10000\ mm^2} = 1\ mm$$

3. Nilai CH uji pada volume 15 ml (15000 mm³):

$$CH\ uji = \frac{15000\ mm^3}{10000\ mm^2} = 1,5\ mm$$

4. Nilai CH uji pada volume 25 ml (25000 mm³):

$$CH\ uji = \frac{25000\ mm^3}{10000\ mm^2} = 2,5\ mm$$

5. Nilai CH uji pada volume 40 ml (40000 mm³):

$$CH\ uji = \frac{40000\ mm^3}{10000\ mm^2} = 4\ mm$$

6. Nilai CH uji pada volume 60 ml (60000 mm³):

$$CH\ uji = \frac{60000\ mm^3}{10000\ mm^2} = 6\ mm$$

Set Point		Perlahan						
Air (ml)	CH Uji (mm)	1	2	3	4	5	Rata-Rata	Koreksi
5	0,5	0,5	0,75	0,75	0,75	0,5	0,65	0,15
10	1	1	1	1,25	1,25	1	1,10	0,10
15	1,5	1,75	1,75	1,50	1,5	1,5	1,60	0,10
25	2,5	2,5	2,5	2,5	2,5	2,75	2,55	0,05
40	4	3,75	4	3,75	4	4,25	3,95	-0,05
60	6	5,75	5,75	6	6	5,75	5,85	-0,15

Gambar 12: Pengujian penuangan perlahan

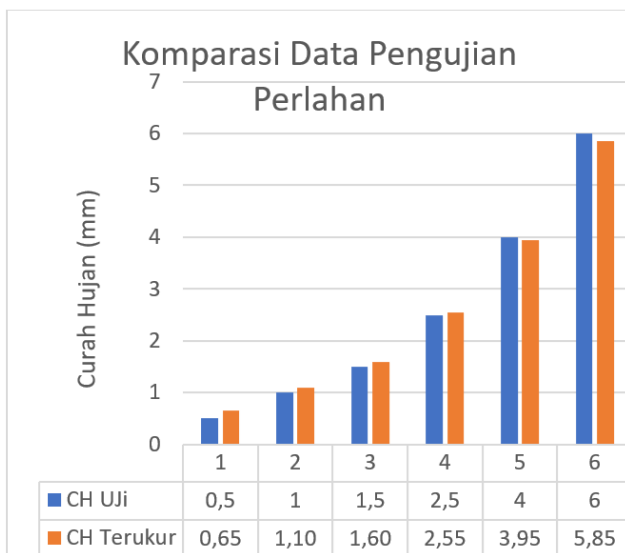
Dari Gambar 12 sampai Gambar 14 dapat dilihat bahwa nilai koreksi rata-rata terhadap curah hujan uji yaitu sebesar 0,03 mm pada pengujian perlahan, 0,06 mm pada pengujian sedang dan 0,05 mm pada pengujian cepat. Nilai koreksi yang didapatkan pada curah hujan hasil pengujian disebabkan oleh faktor jaringan internet bermasalah yang menyebabkan pembacaan sensor reed switch tertunda dan juga disebabkan oleh jungkat-jungkit yang tersangkut.

Set Point		Sedang							
Air (ml)	CH Uji (mm)	1	2	3	4	5	Rata-Rata	Koreksi	
5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,75	0,5	0,55	0,05	
10	1	1,25	1	1,5	1	1	1,15	0,15	
15	1,5	1,75	1,5	1,5	1,75	1,5	1,60	0,10	
25	2,5	2,5	2,75	2,75	2,5	2,5	2,60	0,10	
40	4	4	3,75	4,25	4	4	4,00	0,00	
60	6	6	6	6	5,75	6	5,95	-0,05	

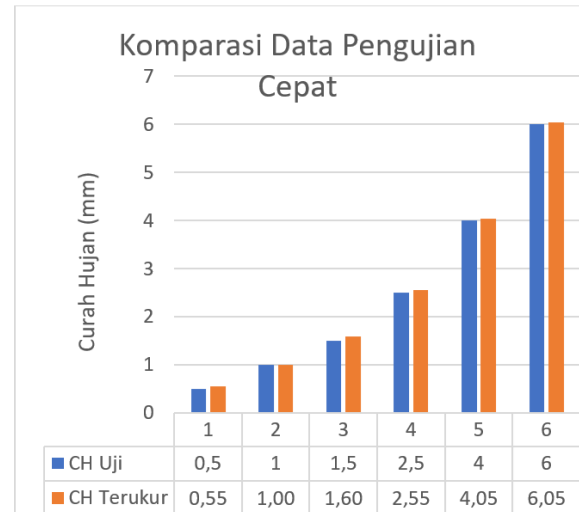
Gambar 13: Pengujian penguangan sedang

Set Point		Cepat							
Air (ml)	CH Uji (mm)	1	2	3	4	5	Rata-Rata	Koreksi	
5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,75	0,55	0,05	
10	1	1	1	0,75	1,25	1	1,00	0,00	
15	1,5	1,75	1,75	1,5	1,5	1,5	1,60	0,10	
25	2,5	2,5	2,5	2,75	2,5	2,5	2,55	0,05	
40	4	4	4,25	4	4,25	3,75	4,05	0,05	
60	6	6	6	5,75	6,25	6,25	6,05	0,05	

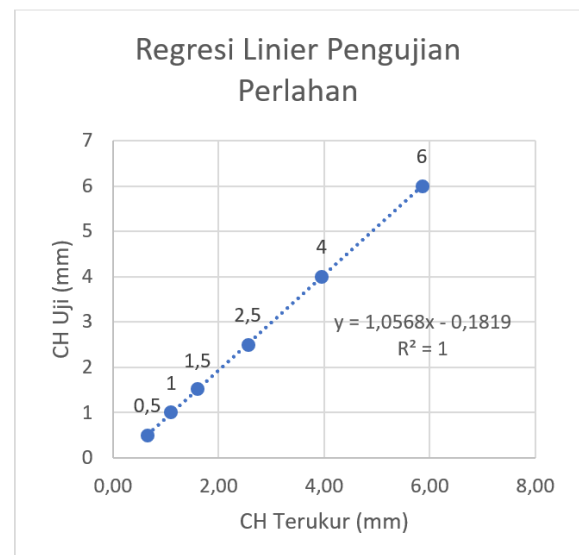
Gambar 14: Pengujian penguangan cepat



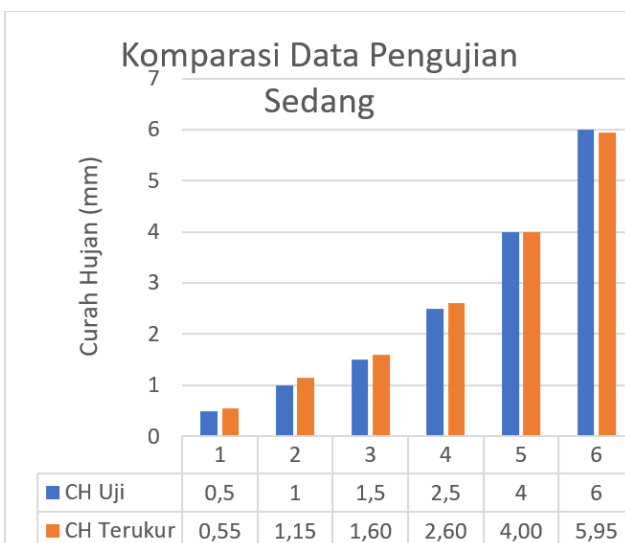
Gambar 15: Grafik hasil pengukuran curah hujan perlahan



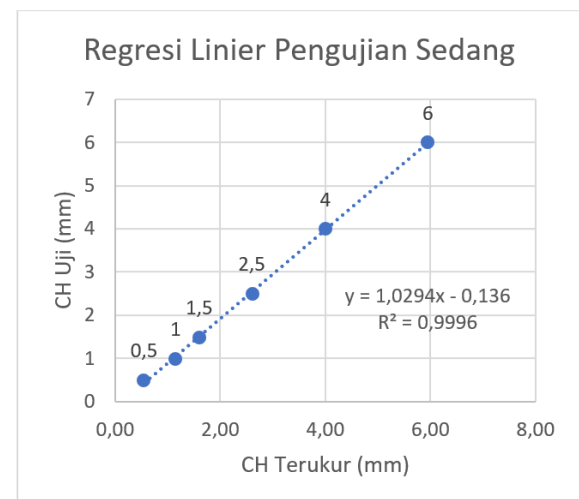
Gambar 17: Grafik hasil pengukuran curah hujan cepat



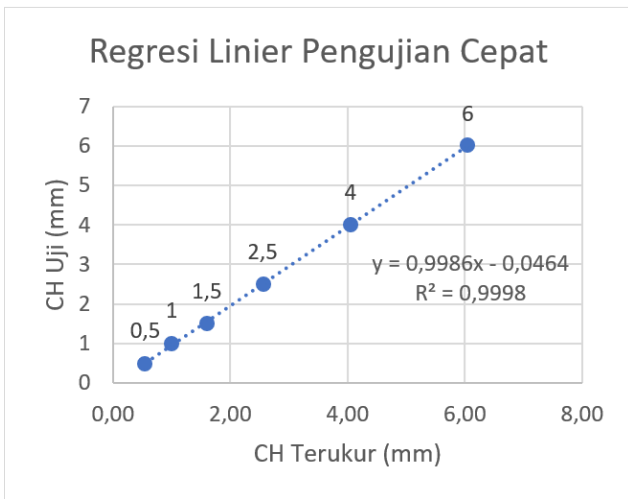
Gambar 18: Grafik nilai regresi linear pengujian perlahan



Gambar 16: Grafik hasil pengukuran curah hujan sedang



Gambar 19: Grafik nilai regresi linear pengujian sedang



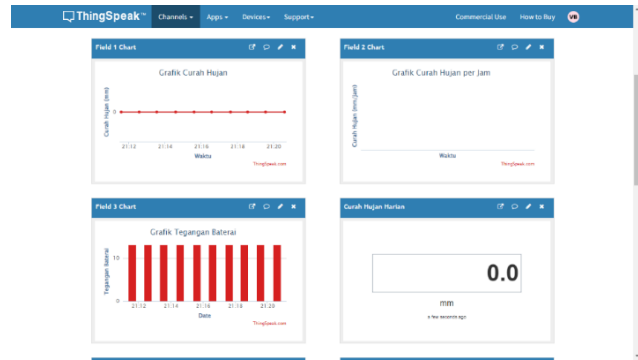
Gambar 20: Grafik nilai regresi linear pengujian cepat

Gambar 18 sampai Gambar 20 menunjukkan grafik regresi linear pada pengujian perlahan, sedang dan cepat dapat disimpulkan bahwa terdapat hubungan signifikan antara nilai regresi dan curah hujan uji. Perhitungan persamaan regresi linear dihitung menggunakan software Microsoft Excel. Pada pengujian penuangan perlahan persamaan $y = 1,0568x - 0,1819$ diperoleh melalui perhitungan persamaan regresi linear dan nilai korelasi yang dihasilkan 1. Pada pengujian penuangan sedang persamaan $y = 1,0294x - 0,136$ diperoleh melalui perhitungan persamaan regresi linear dan nilai korelasi yang dihasilkan 0,9996. Pada pengujian penuangan cepat persamaan $y = 0,9986x - 0,0464$ diperoleh melalui perhitungan persamaan regresi linear dan nilai korelasi yang dihasilkan 0,9998. Dari ketiga jenis penuangan pada pengujian di atas nilai korelasi yang diperoleh yaitu 0,9996–1 menunjukkan bahwa tipping bucket hasil rancangan penelitian ini memberikan respon yang sama dengan curah hujan uji, meskipun dengan nilai pengukuran yang berbeda.

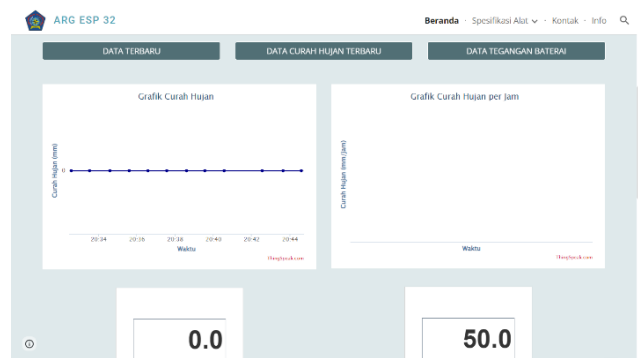
iii. Pengujian ThingSpeak dan website

Pengujian ThingSpeak dilakukan dengan memberikan trigger pada alat untuk mengirim data ke ThingSpeak dan mengakses alamat website <https://sites.google.com/stmkg.ac.id/argesp32> yang telah terhubung dengan ThingSpeak. Hasil pengujian ThingSpeak dapat menampilkan grafik curah hujan dan grafik tegangan baterai, data grafik curah hujan ditampilkan dalam bentuk garis sedangkan grafik tegangan baterai ditampilkan dalam bentuk grafik batang.

Website juga dapat menampilkan data curah hujan dan tegangan dalam bentuk angka serta menampilkan spesifikasi alat beserta informasi tentang hujan.



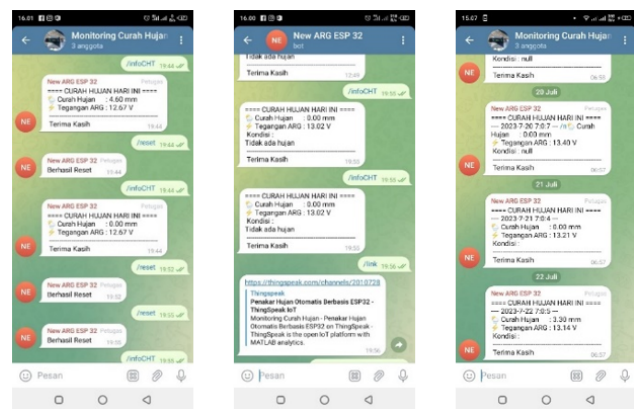
Gambar 21: Pengujian tampilan ThingSpeak



Gambar 22: Pengujian tampilan website

iv. Pengujian Telegram

Metode yang dilakukan pada pengujian bot telegram adalah dengan mengirimkan perintah yang sudah di daftarkan dan memastikan bot telegram memberikan respon sesuai dengan perintah yang di kirim secara personal maupun melalui grup telegram serta menerima notifikasi peringatan dini. Hasil pengujian terhadap bot @newarg_bot dapat memberikan respon sesuai dengan perintah baik melalui pesan personal ataupun melalui grup telegram.



Gambar 23: Pengujian perintah telegram (kiri), melalui personal (tengah), dan laporan curah hujan harian (kanan)

Gambar 24 menunjukkan bahwa peringatan dini berhasil terkirim melalui telegram.



Gambar 24: Peringatan dini intensitas hujan

v. Analisis Daya

Analisis daya dilakukan untuk mengetahui kebutuhan daya operasional alat. Analisis dilakukan dengan cara menghitung daya yang tersedia pada baterai kemudian dibandingkan dengan daya yang dibutuhkan oleh alat untuk beroperasi. Perhitungan analisis daya adalah sebagai berikut.

1. Kebutuhan Daya:

- Tegangan kerja maksimal: 5 V
- Arus kerja maksimal: 1.2 A
- Waktu kerja: 24 jam

Kebutuhan daya = tegangan kerja maksimal \times arus kerja maksimal \times waktu kerja

$$\text{Kebutuhan daya} = 5 \text{ V} \times 1.2 \text{ A} \times 24 \text{ jam}$$

$$\text{Kebutuhan daya} = 144 \text{ watt hour}$$

2. Daya Baterai:

- Tegangan baterai: 12.8 V
- Kapasitas baterai: 18 Ah

Daya baterai = tegangan baterai \times kapasitas baterai

$$\text{Daya baterai} = 12.8 \text{ V} \times 18 \text{ Ah}$$

$$\text{Daya baterai} = 230.4 \text{ watt hour}$$

3. Depth of Discharge (DOD) baterai = 80 %

Daya efektif = daya baterai \times DOD

$$\text{Daya efektif} = 230.4 \text{ watt hour} \times 80\%$$

$$\text{Daya efektif} = 184.32 \text{ watt hour}$$

Melalui perhitungan daya diatas dapat diketahui bahwa alat dapat beroperasi tanpa pengisian ulang baterai yaitu selama 1 hari 6 jam 43 menit. Sehingga dalam keadaan hujan ataupun kurang penyinaran matahari, alat masih tetap beroperasi.

IV. KESIMPULAN

Penakar hujan otomatis menggunakan tipping bucket dengan mikrokontroler ESP32 dan peringatan dini hujan lebat berhasil di buat dan mampu menghasilkan data curah hujan dengan nilai koefisien determinasi 0,9996 hingga 1 dan mengirimkan data tersebut ke ThingSpeak secara real-time. Pengiriman notifikasi intensitas hujan oleh mikrokontroler ESP32 pada grup telegram apabila terjadi hujan intensitas lebat hingga sangat lebat dapat menjadi salah satu upaya untuk memaksimalkan mitigasi bencana akibat hujan. Website <https://sites.google.com/stmkg.ac.id/argesp32> dapat menampilkan informasi terkait hujan yang dapat di akses dan data curah hujan harian serta curah hujan per jam secara real-time dalam bentuk grafik dan angka.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] World Meteorological Organization, *Guide to Instruments and Methods of Observation Volume I - Measurement of Meteorological Variables*, 2021st ed. Geneva 2, Switzerland: World Meteorological Organization, 2021, vol. I.
- [2] BMKG, "Peraturan kepala bmk no 4 tentang pengamatan dan pengelolaan data iklim di lingkungan badan meteorologi klimatologi dan geofisika," Indonesia, 2016.
- [3] A. M. Rafi, B. T. Ariyanto, Hairatunisa, and A. T. Susanto, "Rancang bangun prototype jaringan automatic rain gauge (arg) berbasis website," in *PROSIDING SEMINAR BUMI DAN ATMOSFER STMKG 2018*, Tangerang Selatan, 2018, pp. 72–80.
- [4] E. Abidin and T. Widodo, "Modifikasi alat penakar curah hujan tipe observatorium (obs) guna validasi dan efektivitas pengukuran," *INDONESIAN JOURNAL OF LABORATORY*, vol. 2, no. 2, pp. 41–51, 2020.
- [5] Z. Arifin and H. Rahadian, "Rancang bangun stand-alone automatic rain gauge (arg) berbasis panel surya," *Jurnal Nasional Teknik Elektro*, vol. 6, no. 3, 2017. [Online]. Available: <https://doi.org/10.20449/jnte.v6i3.440>
- [6] M. Syahbeni, A. Budiman, R. Syelly, I. Laksmana, and Hendra, "Rancang bangun pendeteksi curah hujan menggunakan tipping bucket rain sensor dan arduino uno," *Agroteknika*, vol. 1, no. 2, pp. 51–62, 2018. [Online]. Available: <https://doi.org/10.32530/agtk.v1i2.22>

- [7] A. Muliantara, N. Agus, S. Er, and M. Widiartha, "Perancangan alat ukur ketinggian curah hujan otomatis berbasis mikrokontroler," *Jurnal Ilmu Komputer*, vol. 8, no. 2, 2015.
- [8] A. Kurniawan, I. Mulia, S. N. A. Rifai, and S. Purwandika, "Pembuatan penakar hujan berbiaya rendah menggunakan sensor beban berbasis arduino uno," *Techné: Jurnal Ilmiah Elektroteknika*, vol. 19, no. 2, pp. 83–100, 2020. [Online]. Available: <https://doi.org/10.31358/techne.v19i02.228>
- [9] M. Nizam, H. Yuana, and Z. Wulansari, "Mikrokontroler esp 32 sebagai alat monitoring pintu berbasis web," *Jurnal Mahasiswa Teknik Informatika*, vol. 6, no. 2, pp. 767–772, 2022.
- [10] H. Kusumah and R. A. Pradana, "Penerapan trainer interfacing mikrokontroler dan internet of things berbasis esp32 pada mata kuliah interfacing," *CERITA*, vol. 5, no. 2, pp. 120–134, 2019.
- [11] A. Ramschie *et al.*, "Pemanfaatan esp32 pada sistem keamanan rumah tinggal berbasis iot," in *Prosiding The 12th Industrial Research Workshop and National Seminar*, 2021, pp. 175–181.
- [12] R. Fahyurisandi and I. Neforawati, "Rancang bangun sistem monitoring pintu gudang pt xyz berbasis android dengan perangkat sim800l dan mikrokontroler atmega 328p," *MULTINETICS*, vol. 5, no. 1, pp. 37–45, 2019.
- [13] A. Muid, M. Zen, and R. Adriat, "Prototipe alat ukur curah hujan berbasis sensor reed switch dengan antarmuka website," *POSITRON*, vol. 9, no. 1, pp. 33–38, 2019. [Online]. Available: <https://doi.org/10.26418/positron.v9i1.31696>
- [14] M. F. D. Prayogo and W. S. Aji, "Design and build reminder for arduino based drug schedule consumption system," *Buletin Ilmiah Sarjana Teknik Elektro*, vol. 2, no. 2, pp. 75–82, 2020. [Online]. Available: <https://doi.org/10.12928/biste.v2i2.1031>
- [15] R. Fetra, "Sistem otomasi penyalaaan lampu dan ac (air conditioner) pada ruang dosen berbasis arduino uno," *JTEV (JURNAL TEKNIK ELEKTRO DAN VOKASIONAL)*, vol. 6, no. 1, pp. 145–152, 2020. [Online]. Available: <http://ejournal.unp.ac.id/index.php/jtev/index>
- [16] E. Roska, T. Taufiq, R. Rosdiana, and S. Meliala, "Optimasi penggunaan data logger pada internal kendaraan berbasis iot," *Jurnal Minfo Polgan*, vol. 12, no. 1, pp. 96–103, 2023. [Online]. Available: <https://doi.org/10.33395/jmp.v12i1.12323>
- [17] P. W. N. Widjanarko, A. Dani, and N. Alia, "Studi implementasi small plts off grid berbasis baterai lifepo4 pada rumah tinggal daya tenaga surya 200 w," *Jurnal Ilmiah Teknologi FST Undana*, vol. 13, no. 2, pp. 10–14, 2019.
- [18] S. Aryza, A. P. U. Siahaan, Suherman, and Z. Lubis, "Implementasi energi surya sebagai sumber suplai alat pengering pupuk petani portabel," *IT Journal Research and Development*, vol. 2, no. 1, pp. 12–18, 2017.
- [19] O. Putra, R. Fadila, E. Andrijanto, and D. R. Suminar, "Sintesis dan karakterisasi bahan katoda baterai lithium iron phosphate (lifepo4) menggunakan metode solid state reaction," *Jurnal Fluida Volume*, vol. 14, no. 2, pp. 42–49, 2021.
- [20] M. Khabibul, A. Rachmanto, L. T. Wibowo, and T. Paramitha, "Review: Metode sintesis katoda lifepo 4 baterai lithium-ion," *Equilibrium*, vol. 3, no. 2, pp. 76–83, 2019. [Online]. Available: <http://equilibrium.ft.uns.ac.id>