pISSN : 0852-0232, eISSN : 2656-582X DOI : 10.14710/gt.v22i3.xxxxx

RANCANG BANGUN *WEATHER STATION* BERBASIS MIKROKONTROLER DENGAN PEMBANGKIT LISTRIK TENAGA SURYA DAN TRANSMISI DATA MENGGUNAKAN LORA

Rizal Krisna Saputra[1], Priyo Sasmoko[2]
[1)]Program Studi Str. Teknik Listrik Industri, Sekolah Vokasi, Universitas Diponegoro
Jl. Prof. Soedarto, SH, Kampus Undip Tembalang, Semarang, Indonesia 50275
**E-mail : psasmoko@gmail.com*

ABTRACT

Climate change demands the development of energy-efficient and autonomous weather monitoring systems capable of operating in remote areas. This study designs and implements a weather station based on the ESP32 microcontroller, powered by a standalone solar power system (PLTS), and utilizing LoRa for long-range wireless data transmission. The system integrates several sensors to measure temperature and atmospheric pressure (BMP280), wind speed and direction (anemometer and RS232-TTL wind vane), and rainfall (tipping bucket rain gauge). Sensor data is transmitted periodically to a receiver node, displayed in real time via a Node-RED dashboard, and automatically logged in daily CSV format. The system also includes LED indicators to show operational status. Testing results demonstrate that the system can operate stably for 24 hours without access to electricity or internet, achieving over 90% data transmission success rate with a communication range of up to 2 km. The solar power system reliably meets the energy requirements of the station. These findings indicate that the developed weather station is effective and suitable for deployment as an independent weather monitoring solution, particularly in remote areas lacking conventional communication infrastructure.

***Keyword** : Weather Station, ESP32, LoRa, Node-RED, Weather Sensors, Solar Power*

PENDAHULUAN

Latar Belakang

Perubahan cuaca yang semakin ekstrem di Indonesia, seperti curah hujan tidak menentu, suhu fluktuatif, dan angin kencang, berdampak signifikan pada sektor pertanian, transportasi, perikanan, hingga keselamatan masyarakat [1]. Ketersediaan informasi cuaca yang akurat dan real-time menjadi kebutuhan mendesak, terutama bagi masyarakat di wilayah terpencil. Sayangnya, sistem pemantauan cuaca yang ada masih bergantung pada peralatan mahal, jaringan listrik PLN, dan komunikasi seluler, sehingga tidak menjangkau daerah pelosok. Untuk menjawab tantangan ini, solusi inovatif berbasis teknologi mikrokontroler ESP32 ditawarkan. ESP32 mendukung integrasi sensor lingkungan secara efisien dan hemat daya, serta memiliki fitur konektivitas dan komunikasi serial. Dengan dukungan sensor BMP280 (suhu dan tekanan), anemometer dan wind vane (kecepatan dan arah angin), serta rain gauge tipe tipping bucket (curah hujan), sistem ini dapat merekam kondisi cuaca secara komprehensif. Kemampuan deep-sleep dari ESP32 juga memungkinkan sistem bekerja lama tanpa konsumsi daya tinggi.Agar sistem ini dapat beroperasi secara mandiri di lokasi tanpa akses listrik, digunakan pembangkit listrik tenaga surya (PLTS) sebagai sumber energi utama. PLTS memberikan suplai daya berkelanjutan melalui panel 30 Wp dan baterai $LiFePO_4$, dikontrol oleh sistem manajemen baterai agar tetap stabil bahkan saat cuaca mendung [2].

Module ESP 32 V4

Espressif Systems memperkenalkan mikrokontroler ESP32 pada September 2016. ESP32 cepat menjadi favorit di kalangan pengembang Internet of Things (IoT) karena mengintegrasikan Wi-Fi dan Bluetooth (Classic + BLE), serta dapat diprogram menggunakan Arduino IDE yang populer di komunitas maker. Kombinasi fitur ini kemampuan wireless ganda, pemrosesan dual-core, dan ekosistem pengembang yang luas menjadikannya pilihan utama untuk aplikasi IoT modern.Meskipun berukuran kecil [3].

Sensor BMP280

BMP280 adalah sensor digital buatan Bosch Sensortec yang dirancang untuk mengukur tekanan udara barometrik dan suhu dengan akurasi tinggi. Dalam kemasan LGA berukuran 2 × 2,5 mm, sensor ini memiliki konsumsi daya rendah (~2,7 µA @1 Hz) dan mendukung antarmuka I²C dan SPI. Karena akurasi ±0,12 hPa (setara ±1 m ketinggian), resolusi tekanan 0,16 Pa, serta resolusi suhu 0,01 °C, BMP280 banyak digunakan di perangkat modern seperti smartphone, stasiun cuaca mini, sistem navigasi, dan aplikasi IoT. [4]

Sensor Kecepatan Angin (Anemometer Berbasis Sensor Hall Effect)

Sensor *anemometer* berbasis Hall Effect bekerja dengan memanfaatkan magnet permanen yang dipasang pada rotor (baling-baling), dan sensor Hall

Effect (misalnya A3144) yang dipasang secara statis di dekat jalur putaran rotor. Setiap kali magnet melewati sensor, sensor menghasilkan pulsa digital (HIGH atau LOW) yang kemudian dihitung untuk memperoleh frekuensi putaran. Kecepatan angin dihitung dari frekuensi ini dengan persamaan yang sesuai, sedangkan arah angin dapat dipahami dari konfigurasi magnet/rotor dan posisi sensor. [5].
Untuk mengetahui frekuensi dari sensor anemometer, langkah pertama adalah menghitung jumlah pulsa yang terjadi dalam periode waktu tertentu. Hal ini sesuai dengan persamaan: [6]

1. Frekuensi pulsa [13]
   $f = N / t$
   (2.1)

- f = frekuensi pulsa (Hz)
- N = jumlah pulsa yang terdeteksi
- t = waktu pengukuran (detik)
-

2. Kecepatan Angin (linear)
   $V = k \times f$
   $V=\omega \times r$

(2.2)

- V = kecepatan angin (m/s)
- ω = kecepatan sudut (rad/s)
- r = jari-jari rotor (meter)
- k = konstanta kalibrasi (m/Hz), ditentukan dari pengujian dengan alat standar
- f = frekuensi (Hz)

3. Konversi ke kilometer per jam
   $V(km/jam) = V(m/s) \times 3,6$
   (2.3)

- V(km/jam) = kecepatan angin dalam km/jam
- V(m/s) = kecepatan angin dalam m

Rumus ini berasal dari konversi standar satuan internasional, di mana 1 meter per detik setara dengan 3.6 kilometer per jam.

Sensor Arah Angin (Wind Vane Berbasis Sensor RS232 TTL)
Sensor *wind vane* berbasis RS232 TTL adalah perangkat pintar yang dirancang untuk merekam arah angin secara otomatis, andal, dan tanpa suara dalam format digital. Di dalam sensor ini terdapat mekanisme vane (bilah penunjuk) yang akan bergerak mengikuti arah datangnya angin. Saat angin berhembus, vane tersebut secara mekanis akan menunjuk ke arah angin tersebut. [7]

Sensor Curah Hujan (Rain Gauge Berbasis Sensor Hall Effect)
Sensor curah hujan (rain gauge) adalah alat yang digunakan untuk mengukur jumlah presipitasi hujan yang jatuh di suatu lokasi selama periode tertentu. Alat ini umumnya menggunakan metode tipping bucket di mana air hujan ditampung dalam corong dan dialirkan ke ember goyang secara periodic untuk menghitung jumlah curah hujan secara otomatis atau semi-otomatis. .[8]
Dengan kata lain, setiap kali ember menjungkit (mengirim pulsa), itu mewakili sejumlah tetap curah hujan. Oleh karena itu, curah hujan dapat dihitung menggunakan persamaan: [9]

$$H = n \times c \quad (2.4)$$

Keterangan :
H = curah hujan (mm)
n = jumlah tipping (pulsa yang tercatat)
c = konstanta kalibrasi sensor (mm per tipping)

$$\text{Error } (\%) = \frac{CH_{ukur} - CH_{standar}}{CH_{standar}} \times 100\% \quad (2.5)$$

Keterangan:

- Hsensor : total curah hujan hasil pembacaan sensor (mm)
- Hstandar : total curah hujan dari alat referensi atau BMKG (mm)

Pembangkit Listrik Tenaga Surya (PLTS)
PLTS merupakan sistem konversi energi yang mengubah cahaya matahari menjadi energi listrik menggunakan panel surya. Teknologi ini memanfaatkan efek fotovoltaik pada material semikonduktor, seperti silikon, di mana foton dari sinar matahari yang diserap akan mengeksitasi elektron dari pita valensi ke pita konduksi. Medan listrik pada persimpangan p–n sel akan memisahkan muatan (elektron dan hole) sehingga menghasilkan arus listrik searah (DC). [10]

Solar Charge Controller (SCC) Tipe PWM
Solar Charge Controller (SCC) tipe PWM (*Pulse Width Modulation*) adalah komponen penting dalam sistem tenaga surya yang bertugas mengatur tegangan dari panel surya ke baterai. Tujuan utamanya adalah melindungi baterai agar tidak mengalami kelebihan pengisian (overcharge) dan memperpanjang masa pakainya [11]

Baterai $LiFePO_4$ (Lithium Iron Phosphate)
Baterai $LiFePO_4$ merupakan salah satu jenis baterai lithium-ion yang menggunakan litium besi fosfat sebagai katoda dan grafit sebagai anoda. Baterai ini dikenal tahan lama, stabil secara kimia dan termal, serta memiliki keamanan tinggi tidak mudah terbakar atau meledak. Selain itu, penggunaannya sangat fleksibel dalam berbagai kondisi dan tidak memerlukan perawatan khusus karena kemampuannya mengisi ulang berkali-kali tanpa penurunan performa signifikan. [12]

LM 2596 Step Down
Sebuah IC regulator DC-DC tipe step-down (buck) yang digunakan untuk menurunkan dan

menstabilkan tegangan input menjadi tegangan output yang lebih rendah. Modul ini sering dipakai sebagai sumber daya efisien bagi mikrokontroler, sensor, dan sistem embedded. LM2596 bekerja dengan teknik PWM, di mana transistor internal melakukan switching cepat (±150 kHz), lalu tegangan diratakan oleh induktor dan kapasitor untuk menghasilkan output DC yang stabil.

LoRa

LoRa (*Long Range*) adalah teknologi komunikasi nirkabel yang dirancang untuk mengirimkan data jarak jauh dengan konsumsi daya yang sangat rendah, sehingga cocok digunakan dalam aplikasi sehari-hari yang membutuhkan efisiensi energi tinggi. Teknologi ini menggunakan metode modulasi *Chirp Spread Spectrum* (CSS), yang memiliki efisiensi daya setara dengan modulasi FSK, namun mampu menjangkau area komunikasi yang lebih luas.

Arduino IDE

Arduino IDE adalah perangkat lunak *open-source* yang digunakan sebagai lingkungan pemrograman untuk membuat, menyusun, dan mengunggah kode program ke board mikrokontroler Arduino. Platform ini menyediakan antarmuka yang sederhana dan ramah pengguna, sehingga memudahkan dalam penulisan, pengeditan, hingga pengunggahan program (disebut juga *sketch*) ke board Arduino.

MQTT Broker

MQTT Broker yang menjadi pusat komunikasi antara perangkat pengirim (publisher) dan penerima (subscriber) dalam sistem IoT. MQTT (Message Queuing Telemetry Transport) adalah protokol komunikasi ringan berbasis arsitektur client-server dengan sistem publish/subscribe. Protokol ini dirancang untuk perangkat dengan sumber daya terbatas, seperti pada aplikasi Internet of Things (IoT), karena sederhana, efisien, dan terbuka.

Node-Red

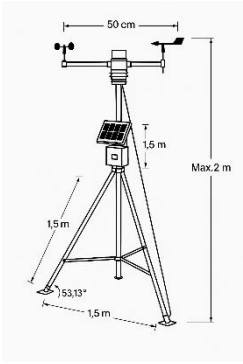
Node-RED adalah sebuah alat berbasis browser yang digunakan untuk mengembangkan aplikasi perangkat lunak, khususnya untuk mempermudah pembuatan aplikasi *Internet of Things* (IoT). Platform ini menerapkan pendekatan pemrograman visual, di mana pengguna dapat menyusun alur kerja atau logika program dalam bentuk diagram alur (flow).

PERANCANGAN SISTEM

Penelitian ini menerapkan metode rekayasa sistem berbasis mikrokontroler ESP32 yang dirancang untuk memantau parameter cuaca secara otomatis dan real-time. Tahapan metodologi meliputi perancangan perangkat keras, perangkat lunak, dan proses transmisi serta visualisasi data.

Perancangan Perangkat Keras

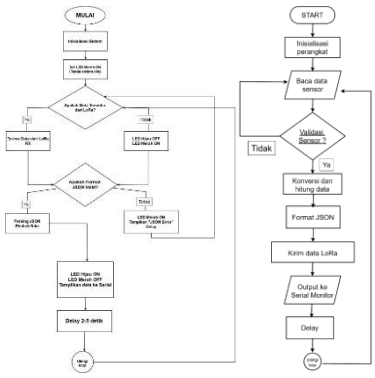
Pembuatan Perangkat keras (*hardware*) adalah proses yang melibatkan perancangan, pengembangan dan implementasi komponen fisik dari sebuah sistem elektronik. Pada alat ini terdapat 4 sensor yang digunakan, diantaranya yaitu sensor BMP 280*, Anemomter, Wind Vane, Rain Gauge*.



Gambar 1. Desain 2D Pembuatan Perangkat Keras (Hardware)

Perancangan Perangkat Lunak

Perangkat lunak, yang kadang disebut juga sebagai software, dapat dijelaskan sebagai sekumpulan instruksi atau program yang berfungsi untuk menjelaskan bagaimana suatu tugas atau perangkat dijalankan. Perangkat lunak pada sistem ini berbasis pada program yang akan diterapkan pada mikrokontroler ESP32 menggunakan platform Arduino IDE



Gambar 2. Flowchart Transmitter dan Receiver

Format Data dan Interval Pengiriman

Data dikirim dalam format **JSON** yang ringan dan mudah diproses. Berikut contoh payload yang dikirim oleh transmitter:

```
{
 "suhu": 28.5,
 "tekanan": 1012.3,
 "angin_kecepatan": 2.1,
 "angin_arah": "Timur Laut",
 "curah_hujan": 3.0
}
```

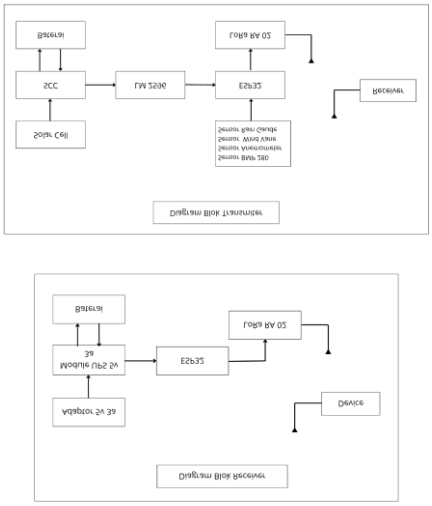
Pengiriman dilakukan setiap 10 detik menggunakan fungsi millis() untuk menghindari penggunaan delay yang menghambat eksekusi program lainnya.

Pemilihan JSON mempermudah integrasi dengan Node-RED dan pengolahan data historis secara sistematis.

Visualisasi dan Logging Data
Data yang diterima oleh receiver ditampilkan dalam antarmuka Node-RED. Visualisasi ini terdiri dari chart, gauge, dan teks, serta disertai fitur logging otomatis ke file CSV per hari. Dashboard menunjukkan nilai suhu, tekanan, arah dan kecepatan angin, serta curah hujan secara real-time. Data juga dapat diunduh oleh pengguna dalam format CSV untuk analisis lebih lanjut.

METODE PENELITIAN

Agar sistem dapat dipahami secara menyeluruh, hubungan antara komponen input, pengolah, dan output digambarkan dalam diagram blok sistem berikut:



Gambar 3. Diagram blok sistem Weather Station berbasis ESP32 dan LoRa.

Untuk memperjelas fungsi tiap elemen sistem, berikut adalah komponen yang digunakan, dikelompokkan berdasarkan perannya:

Tabel 1. Komponen input, proses, dan output pada sistem.

Jenis	Komponen	Fungsi
Input	BMP280, Anemometer, Wind Vane, Rain Gauge	Mengukur parameter cuaca (suhu, tekanan, angin, curah hujan)
Proses	ESP32, Format JSON, Logika Program	Mengolah, mengemas, dan mengirim data cuaca melalui LoRa
Output	LoRa Rx, ESP32 Rx, Node-RED, File CSV	Menampilkan data dan menyimpannya dalam format historis yang rapi

Pengujian dan Analisis Sistem

Pengujian sistem dilakukan untuk mengevaluasi akurasi pembacaan sensor, stabilitas transmisi data LoRa, keandalan visualisasi, serta efisiensi daya PLTS. Uji coba ini dilaksanakan pada:

- **Tanggal**: 25–27 Juni 2025
- **Waktu**: pukul 06.00 – 18.00 WIB
- **Lokasi**: Perkampungan Petompon, Gajahmungkur, Kota Semarang
- **Kondisi Cuaca**: Umumnya cerah berawan, dengan hujan ringan di sore hari

Selama tiga hari berturut-turut, sistem diuji dalam kondisi operasional sesungguhnya, di mana node transmitter ditempatkan di luar ruangan dan receiver berada di dalam rumah yang dilengkapi laptop dan koneksi USB.

Pengujian mencakup performa sensor (BMP280, anemometer, wind vane RS232, dan rain gauge), pengiriman data menggunakan LoRa, tampilan data di dashboard Node-RED, dan efisiensi sistem tenaga surya dalam mempertahankan operasional 24 jam.

Lokasi dan Skema Pengujian

Pengujian dilakukan di lingkungan terbuka di Perkampungan Petompon, Semarang, dengan node transmitter dipasang pada tiang ±2 meter dan receiver berada di dalam ruangan.



Gambar 4. Skema pengujian sistem transmitter di lokasi outdoor.

Pengujian Sensor Cuaca

Sensor diuji untuk memastikan keakuratan data yang dikirim ke dashboard. Hasil pengujian masing-masing sensor dirangkum dalam Tabel 2. berikut.

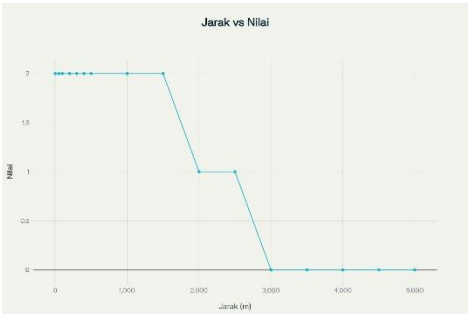
Tabel 2. Hasil pengujian sensor cuaca.

Sensor	Parameter	Hasil Rata-rata	Deviasi/Range
BMP280	Suhu	30.2 °C	±1.2 °C
BMP280	Tekanan udara	1007.5 hPa	±10 hPa
Anemometer	Kecepatan angin	0.98 m/s	Stabil
Wind Vane	Arah angin	Timur Laut (NE)	Konsisten (kode RS232)
Rain Gauge	Curah hujan	3.2 mm/hari	Sesuai tipping

Data di atas menunjukkan bahwa semua sensor memberikan hasil yang stabil dan dalam batas akurasi yang dapat diterima.

Pengujian Transmisi LoRa

Pengujian dilakukan untuk mengetahui keandalan komunikasi data antar node. Data dikirim setiap 10 detik selama 12 jam pengamatan.

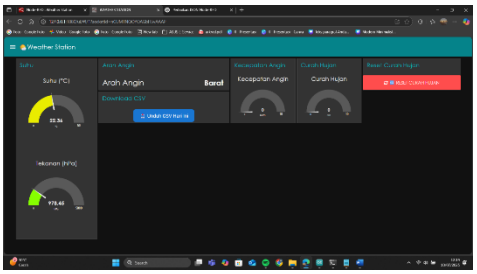


Gambar 5. Grafik keberhasilan transmisi data LoRa dalam waktu 12 jam.

Grafik menunjukkan bahwa dari 4320 paket data yang dikirim, lebih dari 95% diterima dengan baik. Hal ini menunjukkan bahwa komunikasi LoRa berjalan stabil untuk jarak hingga 200 meter.

Pengujian Visualisasi dan Logging

Data yang diterima divisualisasikan secara real-time di dashboard Node-RED. Tampilan gauge, chart, dan teks dapat diakses langsung melalui browser.



Gambar 6. Tampilan dashboard Node-RED saat pengujian sistem berlangsung.

Visualisasi ini menunjukkan bahwa setiap parameter ditampilkan dengan jelas, dan file CSV harian berhasil dibuat secara otomatis tanpa error.

Pengujian Sistem Daya Surya

Sistem PLTS diuji untuk mengetahui apakah mampu mendukung sistem selama 24 jam penuh. Arus dan tegangan baterai dimonitor menggunakan multimeter digital.

Tabel 3. Hasil pengujian sistem tenaga surya.

Parameter	Nilai Rata-rata	Keterangan
Tegangan Baterai	12.3 V	Stabil siang dan malam
Arus Panel Surya	0.6–1.1 A	Maksimum saat siang hari
Konsumsi Sistem	±0.12 A	Transmisi setiap 10 detik

Berdasarkan seluruh hasil pengujian, sistem Weather Station berhasil memenuhi fungsinya sebagai alat pemantau cuaca mandiri. Sensor terbaca stabil, data berhasil dikirim dan ditampilkan real-time, serta sistem tenaga surya bekerja efisien. Tahap selanjutnya adalah merangkum temuan ini dalam kesimpulan dan menyusun saran pengembangan sistem lebih lanjut.

Kesimpulan

Penelitian ini menghasilkan sebuah sistem Weather Station berbasis ESP32 yang mampu memantau suhu, tekanan, arah angin, kecepatan angin, dan curah hujan secara real-time dengan dukungan PLTS dan komunikasi LoRa. Sistem berhasil diuji di lapangan dengan hasil sebagai berikut:

1. Sensor bekerja stabil, dengan akurasi pengukuran mendekati referensi BMKG.
2. Transmisi data LoRa berjalan efisien hingga jarak ±200 meter tanpa kehilangan data signifikan.
3. Sistem mampu beroperasi mandiri selama 24 jam dengan suplai daya dari panel surya 30 Wp dan baterai $LiFePO_4$ 12V 6Ah.
4. Tampilan data di dashboard Node-RED real-time dan penyimpanan otomatis dalam file CSV berjalan tanpa kendala.
5. Sistem cocok diterapkan di daerah terpencil tanpa listrik dan internet, mendukung pertanian dan mitigasi bencana berbasis data cuaca.

DAFTAR PUSTAKA

[1] Mulyadi, S., & Rahmawati, I. (2023).*Pengembangan Stasiun Cuaca Otomatis Berbasis ESP32 dan LoRa pada Wilayah Terpencil.*Jurnal Teknologi dan Rekayasa, Vol. 17, No. 1, pp. 45–52.

[2] Prasetyo, D., & Lestari, R. (2021).*Pemanfaatan Energi Surya pada Perangkat IoT untuk Monitoring Lingkungan.*Jurnal Energi Terbarukan, Vol. 9, No. 3, pp. 112–119.

[3] Espressif Systems. (2016). ESP32 [Microcontroller chip]. Espressif Systems. Retrieved July 2, 2025, from Wikipedia entry “ESP32”.

[4] Bosch Sensortec. (2015). BMP280 Digital Pressure Sensor Datasheet (p.4–5). Bosch Sensortec GmbH.

[5] Wardana, E. K., Saleh, K., & Ariani, M. (2021). Rancang Bangun Alat Pengukur Kecepatan dan Arah Angin dengan Sensor Hall Effect berbasis ESP8266. Skripsi, Universitas Sriwijaya.

[6] H. D. Young and R. A. Freedman, *University Physics with Modern Physics*, 14th ed. Pearson, 2016.

[7] Menyediakan data teknis lengkap tentang wind vane dengan output serial TTL sesuai struktur RS-232 (600 Bd, 8-bit Gray code), serta mekanisme mekanis vane dan poros encoder

[8] Evita, M., Mahfudz, H., Suprijadi, S., Djamal, M., & Khairurrijal, K. (2011). Alat Ukur Curah Hujan Tipping-Bucket Sederhana dan Murah Berbasis Mikrokontroler. "Jurnal Otomasi Kontrol dan Instrumentasi (JOKI) ", 2(2). https://doi.org/10.5614/joki.2010.2.2.1

[9] D. A. Segovia-Cardozo, C. Bernal-Basurco, dan L. Rodríguez-Sinobas, Sensors, vol. 23, no. 12, art. 5385, Jun. 2023. [Online]. Tersedia: https://doi.org/10.3390/s23125385

[10] Aeroengineering.co.id. (2022). Teori Semikonduktor pada Sel Photovoltaic (PV). Aeroengineering.

[11 Ramadhan, A., & Siregar, B. (2020). Rancang Bangun Solar Charge Controller untuk Sistem PLTS Skala Kecil. *Jurnal Teknik Elektro*, 8(2), 45–52. https://doi.org/10.30596/jteko.v8i2.5500

[12] Benwei Light, "Apa itu baterai Litium Besi Fosfat ($LiFePO_4$)?", "Benwei Light Indonesia", 24 Apr. 2023. [Online]. Tersedia: https://id.benweilight.com/info/what-is-a-lithium-iron-phosphate-lifepo4-bat-84880989.html