

BAB II

LANDASAN TEORI

2.1 Tinjauan Pustaka

Dalam melakukan penelitian lebih lanjut perlu dilakukan identifikasi dan pendalaman teori-teori berdasarkan penelitian-penelitian terdahulu yang relevan, guna membantu dan mengarahkan fokus pada penelitian ini. Penelitian mengenai sistem deteksi sambaran petir telah banyak dilakukan dengan pendekatan dan metode yang beragam, mulai dari penggunaan sensor komersial hingga rangkaian elektronik sederhana berbasis prinsip modulasi amplitudo (AM).

- 1) Penelitian oleh Mialdea-Flor et al. (2022) mengusulkan pengembangan sistem deteksi sambaran petir berbasis *Internet of Things* (IoT) dengan pendekatan desentralisasi. Sistem yang dirancang menggunakan kombinasi sensor elektromagnetik sederhana yang terhubung ke mikrokontroler NodeMCU ESP8266, serta modul GPS dan koneksi Wi-Fi untuk mengirim data ke server terpusat. Deteksi petir dilakukan berdasarkan fluktuasi tegangan yang signifikan akibat gelombang elektromagnetik dari sambaran petir. Hasil penelitian menunjukkan bahwa sistem berhasil mencatat waktu dan lokasi kejadian petir secara akurat dan dapat diakses melalui antarmuka berbasis web. Sistem ini relatif murah dan bersifat portabel, namun akurasi perancangan sistem dapat dikatakan kompleks dan rumit deteksinya sangat bergantung pada pengolahan sinyal digital [4].
- 2) Berdasarkan penelitian yang dilakukan oleh Carvalho Jr. et al. (2023) mengembangkan sistem pendeteksi sambaran petir otonom menggunakan split-core Rogowski coil yang dikombinasikan dengan rangkaian integrator aktif dan modul pemrosesan berbasis mikrokontroler. Sensor Rogowski dipasang secara non invasif di sekitar konduktor menara transmisi; hasil tegangan yang dihasilkan, proporsional dengan laju perubahan arus petir, diolah oleh rangkaian integrator aktif sehingga menghasilkan sinyal keluaran yang sebanding dengan arus sambaran asli. Sistem ini dilengkapi modul impulse detector yang menggunakan beberapa ambang batas amplitudo

(*threshold*) untuk mengklasifikasi intensitas sambaran (misalnya >600 A, 5 kA, 10 kA) dan mencatat kejadian ke dalam unit pemrosesan mikrocontroller serta microSD. Pengujian awal di laboratorium menunjukkan deteksi yang cepat dan akurat, sedangkan pengujian lapangan awal pada menara 345 kV menegaskan reliabilitas sistem dalam operasi jangka panjang. Keunggulan utama sistem ini adalah kemampuannya mendeteksi sambaran petir dalam kisaran arus besar (500 A–100 kA) dengan toleransi kesalahan di bawah 10%. Namun, sistem ini tidak memiliki konektivitas IoT secara langsung dan dirancang untuk instalasi tetap, bukan sistem portabel atau berbasis sinyal analog AM [5].

- 3) Berdasarkan penelitian yang dilakukan oleh Petrick Mikhael Sidauruk, Sonny Sumaryo, Ekki Kurniawan pada e-Proceeding of Engineering dengan judul “Sistem Pendeteksi Dini Petir” dijelaskan bahwa Jurnal ini membahas pengembangan sistem pendeteksi dini petir menggunakan sensor Franklin AS3935 yang terhubung dengan mikrokontroler ESP32 dan Arduino IDE. Sistem ini dirancang untuk mendeteksi keberadaan petir dan memberikan peringatan dini untuk melindungi manusia dan perangkat elektronik. Hasil penelitian menunjukkan bahwa alat ini dapat mendeteksi petir pada jarak 1 km, 5 km, dan 10 km. Kelebihan dari sistem ini termasuk kemampuannya untuk memberikan peringatan sebelum sambaran petir benar-benar terjadi, serta penggunaan teknologi yang terjangkau dan efisien. Namun, terdapat beberapa kekurangan, seperti keterbatasan dalam mendeteksi petir pada jarak yang lebih jauh dan ketidakmampuan sistem untuk menyimpan riwayat deteksi dalam aplikasi Android, yang dapat mengurangi efektivitas pemantauan [6].
- 4) Berdasarkan penelitian yang dilakukan oleh Nia Anggraini pada Skripsi dengan judul “Sistem Monitoring Alat Proteksi Petir Berbasis WEB Menggunakan ESP8266” dijelaskan bahwa Jurnal ini membahas pengembangan sistem monitoring untuk alat proteksi petir yang menggunakan teknologi web berbasis ESP8266. Sistem ini dirancang untuk memantau sambaran petir secara real-time, mencatat informasi penting seperti waktu, tanggal, dan besarnya arus sambaran petir. Hasil penelitian menunjukkan bahwa alat monitoring ini berhasil mengidentifikasi dan merekam setiap sambaran petir dengan tingkat

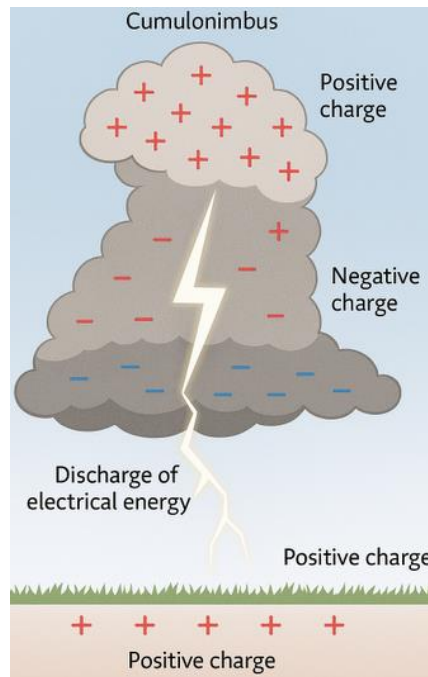
akurasi yang baik, dengan rata-rata error sebesar 4.8% yang dipengaruhi oleh ketelitian sensor yang digunakan. Kelebihan dari sistem ini adalah kemampuannya untuk menyediakan data secara langsung melalui jaringan, sehingga memudahkan pemantauan dan perawatan sistem proteksi petir tanpa harus hadir secara fisik di lokasi. Namun, terdapat beberapa kekurangan, biaya implementasi yang tinggi. Secara keseluruhan, penelitian ini memberikan kontribusi signifikan dalam meningkatkan efektivitas sistem proteksi petir di Indonesia, yang memiliki frekuensi sambaran petir yang tinggi [7].

Berdasarkan hasil kajian pustaka terhadap penelitian yang telah dilakukan tersebut, dapat disimpulkan bahwa penerapan sistem pendeteksi dan monitoring sambaran petir berbasis mikrokontroler dan jaringan internet memiliki prospek yang menjanjikan dalam upaya mitigasi risiko di wilayah rawan petir. Namun masih terdapat keterbatasan. Diantaranya pada proses integrasi alat dan IoT. Keterbatasan pada fitur pendukung pada pembacaan potensi gelombang elektromagnetik petir, seperti suhu dan tekanan udara, Keterbatasan pada konsistensi pembacaan pada sensor. Secara keseluruhan, seluruh penelitian tersebut menunjukkan arah perkembangan sistem pendeteksi petir yang progresif, namun optimalisasi sistem seperti penambahan sensor skematik elektronika dapat dilakukan sebagai pembanding dan peningkatan integrasi perangkat, redundansi konektivitas, dan monitoring melalui website solusi terhadap keterbatasan yang ada.

2.2 Dasar Teori

2.2.1 Petir

Petir merupakan fenomena alam dimana terbentuk dari awan memiliki kandungan listrik yang tersusun pada atmosfer dengan membentuk gumpalan gumpalan hingga terjadinya proses pelepasan muatan elektrostatis yang berasal dari badai guntur yang cukup tinggi. Pada proses pembuangan muatan ini, media yang dilalui elektron adalah udara. Pada saat elektron mampu menembus ambang batas isolasi udara inilah terjadi ledakan suara. Fenomena alam tersebut biasanya muncul di langit berupa kilatan cahaya yang kemudian disertai dengan suara menggelegar yang dijumpai ketika atau menjelang hujan [8].

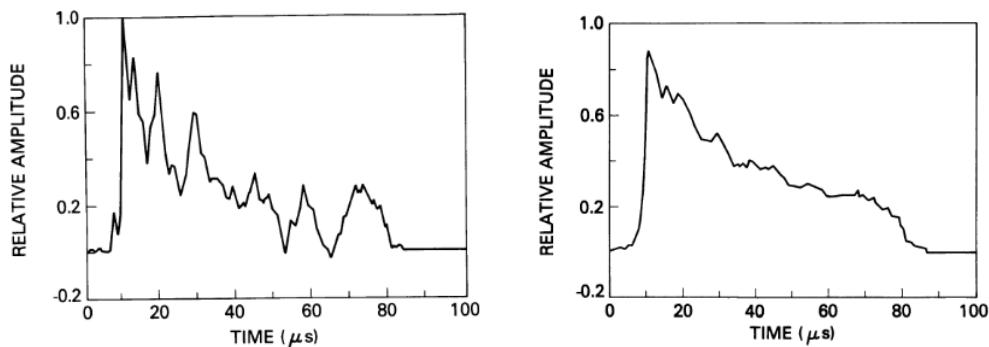


Gambar 2. 1 Proses terjadinya petir

Setiap proses terjadinya petir ini memiliki medan listrik dan magnet yang menyertainya. Petir diketahui memancarkan energi elektromagnetik yang signifikan dalam rentang frekuensi dari di bawah 1 Hz hingga mendekati 300 MHz, dengan puncak spektrum frekuensi mendekati 5–10 kHz untuk petir pada jarak lebih dari 50 km atau lebih. Lebih lanjut, radiasi elektromagnetik dari petir dapat dideteksi pada frekuensi yang lebih tinggi 300 MHz hingga 300 GHz [9].

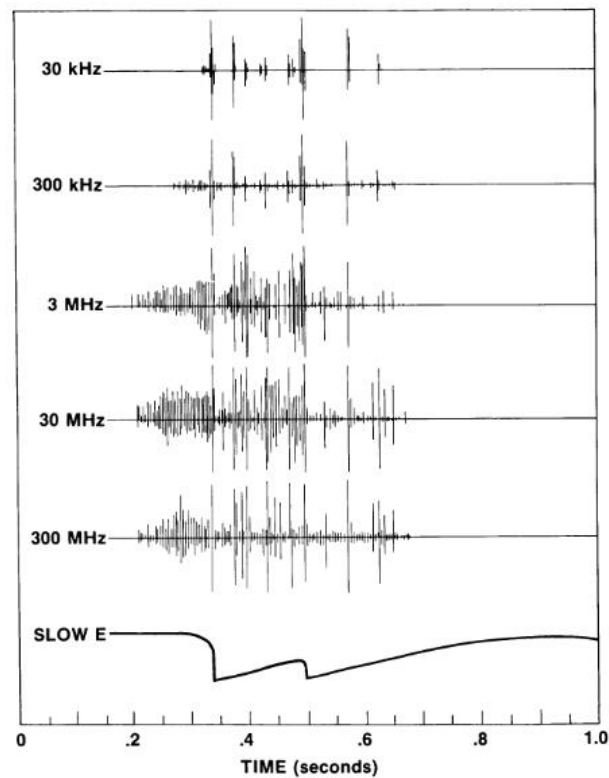
Menurut Le Vine (1986) [10], dalam Review of Measurements of the RF Spectrum of Radiation from Lightning salah satu hasil pengukuran medan listrik petir dijelaskan melalui gelombang $E(t)$ (*electric field waveform*). Dalam dokumentasi menunjukkan bahwa gelombang medan listrik petir $E(t)$ memiliki bentuk khas berupa kenaikan amplitudo yang sangat cepat menuju puncak (*rapid rise to peak*), kemudian diikuti dengan penurunan tidak beraturan menuju nol. Sebelum lonjakan utama (*return stroke*), seringkali muncul deretan pulsa kecil yang dikenal sebagai stepped leader. Ketika gelombang ini dianalisis dengan transformasi Fourier, hasilnya memperlihatkan spektrum frekuensi yang lebar, dengan energi dominan pada pita frekuensi rendah hingga menengah (kHz–MHz).

Hasil pengamatan gelombang dari Thunderstorm Research International Project (TRIP) pada 20 July 1976 ini dapat dilihat pada gambar 2.2 dan 2.3.



Gambar 2. 2 Bentuk Amplitudo medan listrik dari penelitian Florida selama TRIP-76

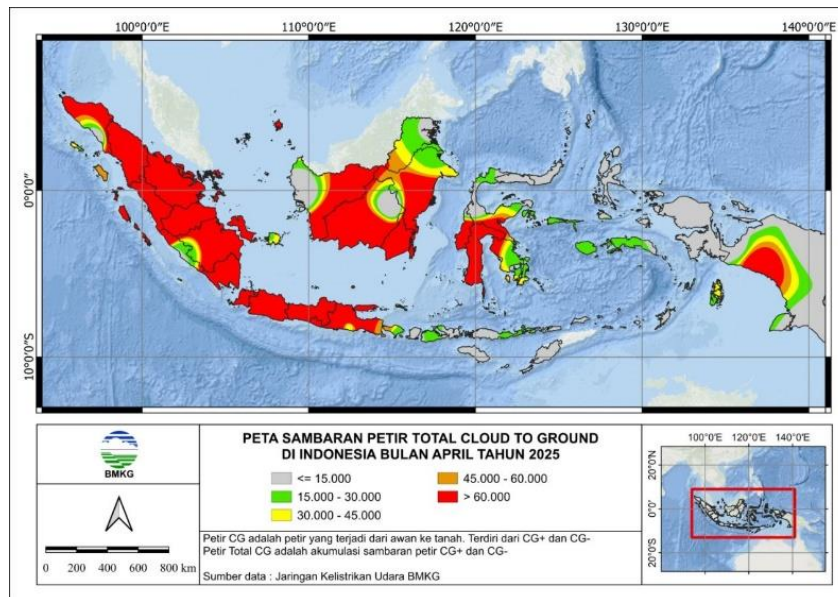
Gelombang dimulai tiba-tiba (*abrupt*) dengan kenaikan sangat cepat menuju puncak, direntang waktu dibawah dari 10 μ s. Setelah puncak, sinyal menurun secara tidak teratur (*decay irregular*) hingga kembali mendekati nol atau stabil. Pada banyak kasus, sebelum lonjakan besar (*return stroke*) muncul rangkaian pulsa kecil yang disebut *stepped leader*. Pulsa ini adalah proses bertahap turunnya muatan listrik dari awan menuju tanah sebelum akhirnya terjadi sambaran utama. Ketika gelombang ini dianalisis dengan transformasi Fourier, hasilnya memperlihatkan spektrum frekuensi yang lebar, dengan energi dominan pada pita frekuensi rendah hingga menengah (kHz–MHz) yang hasilnya dapat dilihat pada gambar 2.3.



Gambar 2. 3 Frekuensi gelombang dari penelitian Florida selama TRIP-76

Petir dibedakan menjadi 4 macam, antara lain :

1. Petir awan ke tanah / Cloud to Ground (CG) adalah petir yang paling berbahaya dan merusak. Petir ini berasal dari pusat muatan yang lebih rendah dan mengalirkan muatan negatif ke tanah.
2. Petir dalam awan / Intercloud (IC) adalah petir yang paling umum terjadi diantara pusat- pusat muatan yang berlawanan pada awan yang sama.
3. Petir awan ke awan / Cloud to Cloud (CC) adalah petir yang terjadi diantara pusatpusat muatan pada awan yang berbeda. Pelepasan muatan terjadi ketika udara cerah pada awan- awan tersebut.
4. Petir awan ke udara / Cloud to Air (CA) adalah petir yang terjadi jika udara disekitar awan bermuatan positif berinteraksi dengan awan bermuatan negatif. Berdasarkan muatannya petir dibedakan menjadi 2 macam yaitu yaitu petir negatif (-) dan petir positif(+).



Gambar 2. 4 Peta kepadatan sambaran petir Indonesia april 2025

Selama Bulan April 2025, Total Sambaran Petir CG sangat bervariasi. Jumlah total sambaran CG pada bulan April 2025 sedikit menurun apabila dibandingkan dengan bulan Maret 2025. Wilayah yang memiliki jumlah sambaran total CG > 60.000 terjadi di sebagian wilayah Indonesia [11].

Selain itu beberapa studi menunjukkan bahwa parameter meteorologi permukaan seperti suhu udara, kelembaban relatif, dan tekanan udara memiliki korelasi signifikan dengan aktivitas sambaran petir. Pada salah satu studi menyimpulkan bahwa peningkatan suhu udara berkorelasi dengan peningkatan densitas sambaran petir sebesar 20–44% ketika suhu permukaan berkisar antara 30–35°C, khususnya di wilayah tropis [12]. Sementara itu, hasil studi di daerah pesisir menunjukkan bahwa kelembaban yang relatif tinggi diatas 70% dapat meningkatkan probabilitas terjadinya sambaran petir, terutama melalui pembentukan partikel awan dan uap air yang memicu pelepasan muatan listrik. Adapun tekanan udara mempengaruhi stabilitas atmosfer secara keseluruhan. Penurunan tekanan udara umumnya dibawah 900 hPa menjadi tanda adanya ketidakstabilan atmosfer dan mendekatnya sistem cuaca buruk, termasuk badai petir

Ketiga parameter dapat saling mendukung dalam membentuk kondisi atmosfer yang mendukung terjadinya petir. Kombinasi suhu tinggi, kelembaban relatif tinggi, dan tekanan udara rendah memperbesar kemungkinan terbentuknya awan badai cumulonimbus yang berpotensi besar menghasilkan petir.

2.2.2 Amplitude Modulation

Modulasi amplitudo atau *Amplitude Modulation* (AM) adalah teknik modulasi dalam komunikasi analog. Gelombang pembawa AM memiliki rentang frekuensi 535 kHz hingga 1605 kHz dalam sistem siaran radio. Pada sistem elektronik, gelombang AM pada umumnya dimanfaatkan untuk transmisi audio, namun dapat juga mendeteksi perubahan energi elektromagnetik [13].

Prinsip dasar deteksi ini adalah impuls petir menyebabkan gangguan amplitudo pada gelombang pembawa. Gelombang elektromagnetik dari petir memiliki sifat sangat tajam (*spike*) sehingga mampu menimbulkan fluktuasi amplitudo secara tiba-tiba.

Dalam konteks sistem deteksi petir, prinsip AM tidak digunakan untuk mentransmisikan suara, melainkan untuk menangkap perubahan amplitudo akibat impuls elektromagnetik. Ketika gelombang elektromagnetik dari petir tertangkap oleh antena, perubahan amplitudo yang tajam akan terdeteksi dan diproses oleh TA7642 menjadi sinyal analog atau yang kemudian dikirim dan diproses oleh mikrokontroler.

Dengan demikian, penerima AM akan sensitif terhadap perubahan amplitudo akibat radiasi petir. Prinsip dasar inilah yang memungkinkan sistem untuk mengidentifikasi adanya sambaran petir, yaitu dengan membaca anomali amplitudo sinyal yang tidak berasal dari sumber komunikasi radio, melainkan dari impuls elektromagnetik alami.

2.2.3 Integrated Circuit

IC atau *integrated circuit* merupakan suatu komponen elektronik yang terdiri atas kumpulan elemen aktif seperti transistor dan dioda serta elemen pasif seperti resistor dan kapasitor yang diintegrasikan menjadi satu. Chip ini terbuat dari bahan

semikonduktor silikon dan dikemas dalam bentuk kecil namun memiliki fungsi yang sangat kompleks. Selain itu IC dapat menjalankan berbagai tugas seperti penguatan sinyal, pengolahan data, konversi sinyal, pengendalian logika, hingga komunikasi.

Secara umum, IC dapat dibagi menjadi dua kategori besar, yaitu IC digital dan IC analog. Sementara itu, IC analog berfungsi dalam pengolahan sinyal kontinyu, seperti penguat suara, sensor, dan sistem komunikasi. IC TA7642 digunakan sebagai detektor gelombang radio AM pada frekuensi rendah di kisaran 150 kHz hingga 3 MHz. IC ini bekerja dengan mendeteksi sinyal AM yang diterima oleh antena, lalu memperkuat dan mendemodulasi sinyal tersebut menjadi sinyal listrik berfrekuensi rendah, dalam frekuensi menengah (*Medium Wave*, MW). IC mampu bekerja dengan konsumsi daya yang sangat rendah dan hanya membutuhkan sedikit komponen eksternal [14].

Pada sistem deteksi sambaran petir berbasis IC TA7642, antena yang digunakan berfungsi untuk menangkap gangguan elektromagnetik yang dihasilkan oleh petir. Petir merupakan fenomena alam yang menghasilkan gelombang elektromagnetik dengan frekuensi yang luas. Dalam konteks ini, gangguan elektromagnetik akibat sambaran petir dimanfaatkan sebagai indikasi keberadaan petir di sekitar.

Namun demikian, IC TA7642 secara prinsip kerja dirancang untuk mendeteksi sinyal AM yang memiliki komponen sinyal pembawa *carrier signal*. Oleh karena itu, untuk mengaktifkan fungsi deteksi dari IC TA7642, sistem perlu diberikan sinyal pembawa buatan. Dalam penelitian ini, sinyal pembawa digantikan oleh pulsa PWM (*Pulse Width Modulation*) yang berasal dari mikrokontroler. Sinyal PWM tersebut diatur sedemikian rupa dengan duty cycle dan frekuensi tertentu agar menyerupai sinyal AM setelah melalui proses penyaringan filter RC sehingga menghasilkan gelombang analog yang halus.



Pin no.	Symbol	Desc.
1	Vss	Gnd
2	I/P	Input
3	O/P	Output

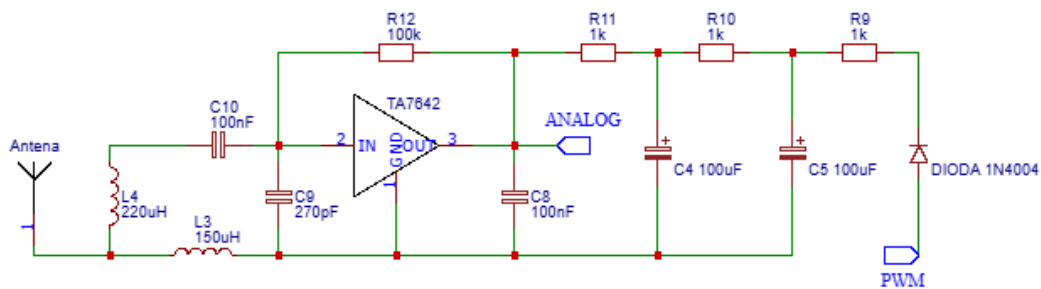
Gambar 2. 5 Integrated Circuit

2.2.4 Rangkaian Penerima Sinyal AM

Rangkaian penerima sinyal Amplitude Modulation (AM) secara umum digunakan dalam sistem komunikasi radio untuk menangkap gelombang pembawa yang dimodulasi oleh sinyal informasi. Prinsip dasarnya terdiri atas tiga bagian utama, yaitu antena sebagai penangkap gelombang elektromagnetik, rangkaian penyaring filter atau resonansi LC untuk memilih pita frekuensi tertentu, serta detektor AM yang berfungsi mendemodulasi sinyal menjadi bentuk audio atau sinyal informasi yang dapat dimanfaatkan lebih lanjut.

Cara kerja penerima AM pada radio adalah menerima sinyal pembawa (*carrier*) yang sudah dimodulasi amplitudo oleh informasi suara. Gelombang pembawa ini kemudian difilter agar sesuai dengan frekuensi kanal radio tertentu. Proses demodulasi dilakukan dengan mendeteksi perubahan amplitudo sinyal *carrier*, sehingga dapat diperoleh kembali sinyal audio asli. Oleh karena itu, penerima radio AM membutuhkan gelombang pembawa yang stabil dari stasiun pemancar radio, serta rangkaian penguat audio untuk menghasilkan suara.

Pada perancangan alat ini mengadaptasi rangkaian penerima sinyal *Amplitude Modulation*. Rangkaian ini dirancang untuk mendeteksi medan listrik dari gelombang elektromagnetik yang dihasilkan oleh sambaran petir melalui sistem penerima berbasis antena dan IC detektor AM TA7642 dengan skematik rangkaian seperti pada gambar 2.6.



Gambar 2. 6 Rangkaian Sinyal AM

Prinsip kerja rangkaian dimulai dari antenna teleskopik, yang berfungsi menangkap gangguan elektromagnetik (*Electromagnetic Interference*, EMI) akibat sambaran petir. Sinyal dari antenna pada dasarnya sangat lemah dan masih bercampur dengan noise, sehingga perlu melalui tahap penyaringan frekuensi.

Tahap penyaringan dilakukan dengan rangkaian LC resonansi yang terdiri atas induktor (L) dan kapasitor (C). Rangkaian ini berfungsi sebagai *band-pass filter* yang hanya meloloskan sinyal pada frekuensi tertentu. Frekuensi resonansi ditentukan dengan persamaan:

$$f_0 = \frac{1}{2\pi\sqrt{LC}} = \quad (2.1)$$

Setelah melalui tahap resonansi, sinyal diteruskan ke IC TA7642 sebagai detektor AM. IC TA7642 ini berfungsi memperkuat dan mendemodulasi perubahan amplitudo dari sinyal yang masuk. Namun, karena TA7642 pada prinsipnya membutuhkan sinyal pembawa (*carrier*), sistem memberikan sinyal pembawa buatan dalam bentuk PWM (*Pulse Width Modulation*) yang dihasilkan mikrokontroler ESP8266. Untuk menentukan nilai PWM yang sesuai dengan spesifikasi dari IC TA7642 perlu terlebih dahulu menghitung dengan perhitungan sebagai berikut:

$$V_{avg} = \frac{PWM}{ADC Maks} \times V_{CC} = \quad (2.2)$$

Diketahui pada perancangan alat ini menggunakan mikrokontroler ESP8266 memiliki rentang nilai ADC dari 0 hingga 1023 dimana nilai tersebut dapat berfungsi mengatur nilai tegangannya, maka perhitungan nilai PWM sangat penting dan berpengaruh kepada titik kerja rangkaian, setelah melewati rangkaian low-pass RC terbentuk tegangan rata-rata yang stabil. Tegangan ini berfungsi sebagai sinyal referensi atau carrier buatan bagi IC TA7642. Dengan demikian, ketika terjadi gangguan impulsif akibat sambaran petir, amplitudo dari sinyal referensi tersebut akan berfluktuasi, dan IC TA7642 akan merespons perubahan tersebut dengan menghasilkan sinyal analog pada keluarannya.

Agar sistem bisa membedakan sinyal petir dan noise, digunakan pendekatan delta perubahan sinyal digunakan metode *delta filtering*, yaitu dengan menghitung selisih nilai pembacaan ADC saat ini dan sebelumnya yaitu:

$$\Delta = |ActValue - PrevValue| \quad (2.3)$$

Penentuan threshold penting untuk meredam noise. Noise dari lingkungan biasanya hanya menghasilkan perubahan kecil pada sinyal, sedangkan sambaran petir menghasilkan lonjakan besar dan tajam. Dengan menetapkan threshold, sistem hanya merespons sinyal dengan lonjakan Amplitudo yang signifikan atau Jika Δ melebihi nilai ambang (*threshold*), misalnya $\Delta \geq 5$, maka peristiwa tersebut dikategorikan sebagai deteksi sambaran petir. berfungsi untuk membedakan antara sinyal petir dengan noise lingkungan

Dengan demikian, rangkaian penerima sinyal AM dalam penelitian ini tidak berfungsi sebagai penerima radio AM murni, tetapi sebagai sistem deteksi impuls elektromagnetik petir. Kombinasi antara antena teleskopik, filter resonansi LC, IC TA7642, sinyal PWM sebagai carrier buatan, serta metode delta filtering pada ADC menjadikan sistem ini mampu mengonversi fenomena elektromagnetik sambaran petir menjadi data digital yang dapat diproses lebih lanjut oleh mikrokontroler

2.2.5 Mikrokontroler

Mikrokontroler merupakan suatu sistem komputer miniatur yang terdapat dalam sebuah chip tunggal, yang mengintegrasikan unit pemrosesan data (CPU), memori (RAM dan ROM), serta perangkat input/output (I/O) dalam satu kesatuan. Mikrokontroler dirancang untuk melakukan tugas-tugas pengendalian secara otomatis terhadap perangkat elektronik atau sistem mekanik. Pada prinsipnya, mikrokontroler berfungsi sebagai otak dari suatu sistem tertanam (*embedded system*) yang bertugas membaca data dari sensor, memproses data tersebut berdasarkan algoritma tertentu, dan memberikan perintah atau respons melalui aktuator atau media komunikasi lainnya.

2.2.5.1 ESP8266

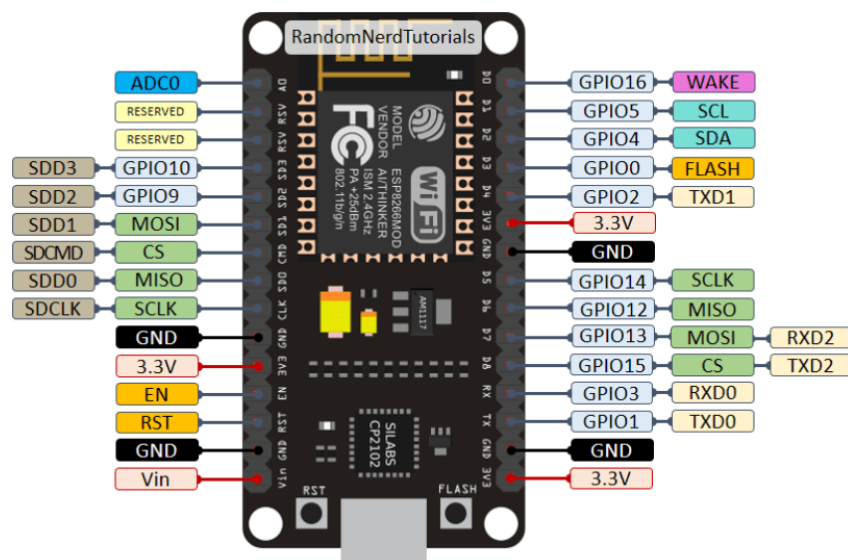
Mikrokontroler ESP8266 merupakan sebuah modul Wi-Fi System-on-Chip (SoC) yang dikembangkan oleh perusahaan Espressif Systems. Mikrokontroler ini dirancang untuk mendukung aplikasi *Internet of Things* (IoT) dengan menyediakan konektivitas WiFi dan Bluetooth dalam satu modul. SoC *System-on-Chip* yang dikembangkan oleh Espressif Systems, mengintegrasikan prosesor 32-bit berbasis Tensilica L106 dengan konektivitas IEEE 802.11 b/g/n.

Module NodeMCU varian ESP-12E umumnya digunakan karena sudah dilengkapi dengan regulator 3,3 V dan antarmuka USB-Serial, sehingga memudahkan pemrograman melalui Arduino IDE atau MicroPython . Prosesor dapat berjalan dari frekuensi 80 MHz standar hingga 160 MHz, serta menyediakan RAM internal mencapai 112 kB dan flash eksternal hingga 4 MB, memiliki hingga 17 pin GPIO, yang dapat dikonfigurasi sebagai digital I/O, PWM, I²C melalui bit-bang, SPI, atau ADC satu kanal 10-bit Peripheral interface seperti UART, I²S, SDIO, dan SPI mendukung integrasi dengan sensor dan modul lain [15].

ESP8266 berfungsi sebagai kontroler dan modul komunikasi. Ia membaca sinyal analog dari detektor TA7642 melalui pin ADC, memprosesnya lalu mengirim data seperti jumlah deteksi sambaran petir, suhu dan kelembapan ke platform online seperti ThingSpeak menggunakan koneksi Wi-Fi.

Tabel 2 - 1 Spesifikasi ESP8266 [14]

Kategori	Spesifikasi
Prosesor	Tensilica L106 32-bit RISC
Frekuensi CPU	80 MHz default (opsional hingga 160 MHz)
RAM	~112 kB (32 kB iRAM + 80 kB dRAM)
Flash Memory	Umum: 4 MB dapat hingga 16 MB optional
GPIO	Hingga 17 pin (digital, PWM, I ² C, SPI, I ² S, ADC)
ADC	10-Bit
Tegangan input	5V - 12V
Tegangan Kerja	3.3V (operasi stabil antara 2.2V hingga 3.6V)
Konsumsi Daya	80 mA aktif, <10 μ A sleep
WiFi	802.11 b/g/n (2.4 GHz), output power +19.5 dBm
Keamanan Komunikasi	WEP/WPA/WPA2
Platform Pengembangan	Arduino IDE, Espressif IoT Development Framework (IDF), PlatformIO



Gambar 2. 7 Pin Out ES8266

2.2.5.2 Arduino IDE

Arduino IDE (Integrated Development Environment) adalah perangkat lunak open-source yang dirancang untuk memprogram mikrokontroler Arduino dan kompatibelnya, seperti ESP8266. Dikembangkan dengan bahasa pemrograman Java, Arduino IDE menyediakan antarmuka pengguna yang sederhana untuk menulis, mengedit, dan mengunggah kode ke papan mikrokontroler. Bahasa pemrograman yang digunakan berbasis C/C++, dengan struktur program yang terdiri dari dua fungsi utama: `setup()` untuk inisialisasi dan `loop()` untuk menjalankan kode secara berulang .



Gambar 2. 8 Arduino IDE

ESP32 adalah mikrokontroler yang dilengkapi dengan fitur Wi-Fi dan Bluetooth, menjadikannya ideal untuk aplikasi Internet of Things (IoT). Untuk memprogram ESP32 menggunakan Arduino IDE, pengguna perlu menambahkan ESP32 melalui Board Manager. Setelah konfigurasi selesai, pengguna dapat menulis kode menggunakan struktur Arduino yang familiar dan mengunggahnya ke ESP32 melalui koneksi USB [16].

Langkah langkah penggunaan Arduino IDE dapat dijelaskan melalui tahapan-tahapan berikut :

1. Mengunduh dan menginstal aplikasi Arduino IDE. Setelah instalasi selesai membuka aplikasi Arduino IDE.
2. Menambahkan Board Arduino Nano atau ESP32.

Pengguna menambahkan board, Karena ESP32 tidak termasuk dalam board default Arduino IDE, maka perlu menambahkan URL board ESP32 melalui Buka menu *File > Preferences* Tambahkan URL berikut ke kolom *Additional Board Manager URL* : https://raw.githubusercontent.com/espressif/arduino-esp32/gh-pages/package_esp32_index.json. Setelah itu, buka *Tools > Board > Board Manager*, lalu cari “ESP32” dan klik *Install*.

3. Menghubungkan ESP32 ke Komputer

Sambungkan papan ESP32 ke komputer menggunakan kabel USB. Tunggu hingga sistem mengenali perangkat dan driver terpasang otomatis. Pada menu *Tools > Port*, pilih port COM yang sesuai dengan ESP32.

4. Pemilihan Board dan Port

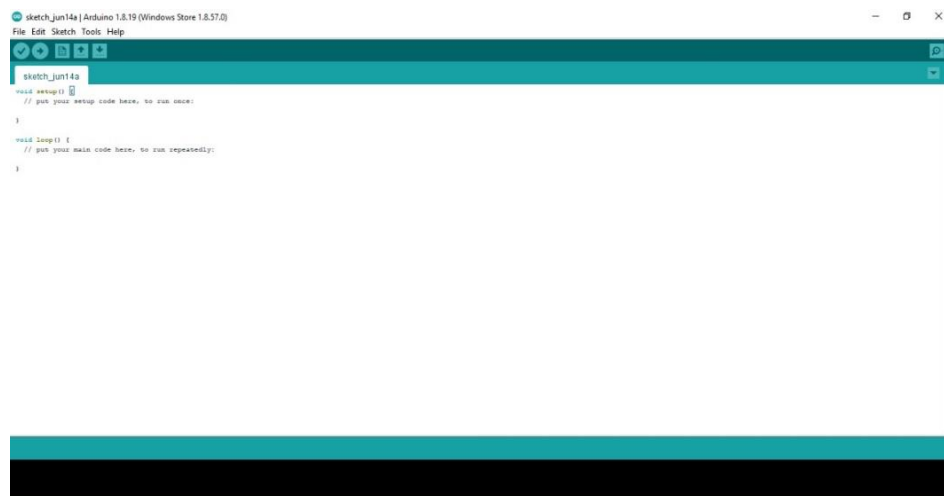
Pastikan memilih board yang sesuai, “ESP32 Dev Module” pada *Tools > Board*, dan pastikan port COM sudah sesuai dengan perangkat yang terhubung.

5. Import Library Tambahan

Untuk mendukung pemrograman sensor dan komunikasi jaringan, tambahkan beberapa pustaka yang dibutuhkan melalui *Tools > Manage Libraries*, seperti: *Wire* untuk komunikasi I2C, *Adafruit BME280* untuk sensor suhu/kelembaban/tekanan, *WiFi.h* untuk konektivitas jaringan, *ThingSpeak.h* untuk integrasi dengan platform ThingSpeak.

6. Menulis Program

Penulisan program ini berisi intruksi logika yang akan dijalankan mikrokontroler.



Gambar 2. 9 Tampilan area Sketch pada Arduino IDE

7. Menyimpan Program

Setelah proses program selesai tahapan selanjutnya adalah penyimpanan program ke folder computer.

2.2.6 Sensor Tekanan BME280

Sensor BME280 adalah modul sensor yang dapat mengukur tiga parameter lingkungan dengan konfigurasi suhu, tekanan udara dan kelembaban. Sensor ini dikembangkan oleh perusahaan Bosch Sensortec sebagai penyempurnaan dari versi sebelumnya, BMP280 yang hanya dapat mengukur suhu dan tekanan udara.

BME280 bekerja dengan menggunakan sistem mikroeletromekanis (*microelectromechanical systems* atau MEMS) untuk mendeteksi perubahan fisis dari udara di sekitarnya. Ketiga sinyal analog tersebut dikonversi menjadi data digital menggunakan ADC (Analog to Digital Converter) internal beresolusi 24-bit. Proses pembacaan sensor BME280 dilakukan dalam tiga tahap utama. Pertama, mikrokontroler membaca data kalibrasi yang tersimpan dalam EEPROM internal sensor. Data kalibrasi ini diperlukan untuk mengkompensasi hasil pembacaan mentah. Kedua, sensor melakukan pengambilan data mentah dari ketiga parameter yang disebutkan, yaitu suhu (*raw_temp*), tekanan (*raw_press*), dan kelembaban (*raw_hum*). Ketiga, mikrokontroler menghitung nilai aktual dari setiap parameter berdasarkan algoritma kompensasi yang diberikan dalam datasheet resmi Bosch.

Proses ini dilakukan secara berurutan, dimulai dari perhitungan suhu karena hasilnya akan digunakan dalam proses kalkulasi tekanan dan kelembaban.

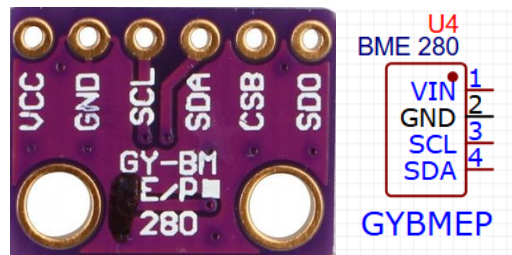
Nilai akhir yang diperoleh dari sensor ini kemudian berupa data suhu dalam satuan derajat Celsius, tekanan udara dalam pascal atau hektopascal, serta kelembaban dalam persen relatif (%RH) [17].

Tabel 2 - 2 Spesifikasi Sensor Tekanan BME280 [17]

Kategori	Spesifikasi
Rentang Tekanan	300 hingga 1100 hPa
Rentang Suhu	-40°C hingga +85°C
Rentang Kelembaban	0% – 100% RH
Akurasi Tekanan	±1 hPa
Akurasi Suhu	±1 °C
Akurasi Kelembaban	±3% RH
Konsumsi Daya	< 3.6 µA (mode normal)
Tegangan Kerja	1,8 hingga 3,6 V
Antarmuka Komunikasi	I ² C dan SPI
Dimensi	3,6 × 3,8 × 0,93 mm

Tabel 2 - 3 Pin Out Sensor Tekanan BME280

Nama Pin	Fungsi	Keterangan
VCC	Tegangan Input	Dihubungkan ke tegangan 3,3 V atau 5 V
GND	Ground	Dihubungkan ke ground sistem
SCL	Serial Clock (I2C) / SPI Clock	Jalur clock komunikasi data I2C atau SPI
SDA	Serial Data (I2C) / MOSI	Jalur data komunikasi I2C atau SPI (data masuk)



Gambar 2. 10 Sensor Tekanan BME280

2.2.7 LCD

LCD 16x2 merupakan modul tampilan berbasis teknologi Liquid Crystal Display (LCD) dapat digunakan untuk menampilkan karakter alfanumerik sebanyak dua baris, dengan masing-masing baris terdiri dari 16 karakter.

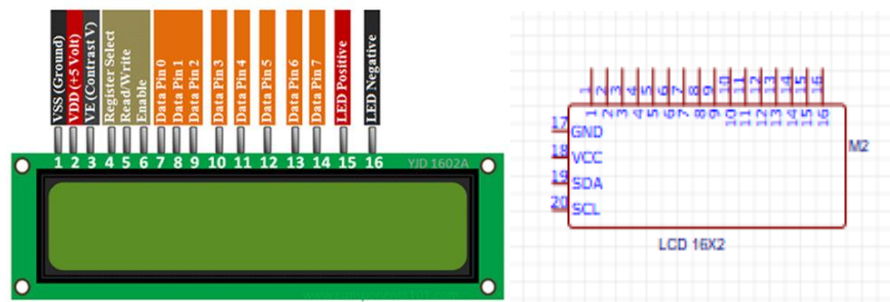
LCD 16x2 pada dasarnya terdiri dari dua bagian utama yaitu bagian Backlight (Lampu Latar Belakang) dan bagian Liquid Crystal (Kristal Cair). bekerja dengan prinsip dasar mengatur orientasi molekul kristal cair menggunakan medan listrik, sehingga mengontrol jumlah cahaya yang diteruskan atau dipantulkan untuk membentuk karakter yang terlihat pada layar. Modul ini umumnya menggunakan driver berbasis HD44780. LCD 16x2 dapat dioperasikan dalam mode 8-bit atau 4-bit, di mana data yang dikirim dari mikrokontroler ke LCD dapat berupa kombinasi bit yang mengatur tampilan huruf, angka, maupun karakter khusus [18].

Tabel 2 - 4 Spesifikasi LCD [18]

Kategori	Spesifikasi
Jenis Layar	Liquid Crystal Display
Jumlah Karakter	16 x 2
Tegangan Kerja	4,7 – 5,3 V
Arus Operasi	1 mA
Driver IC	HD44780
Mode Komunikasi	Paralel 4 bit atau 8 bit
Temperatur Operasional	-20°C hingga +70°C

Tabel 2 - 5 Pin Out LCD

Pin	Nama Pin	Fungsi	Keterangan
1	VSS	Ground (GND)	Jalur ground, dihubungkan ke ground mikrokontroler.
2	VDD	Tegangan catu daya (+5V)	Biasanya dihubungkan ke tegangan 5V.
3	VO	Kontras layar	Diatur menggunakan potensiometer.
4	RS	Register Select	Pengatur mode perintah/data: 0 = perintah, 1 = data.
5	RW	Read/Write	Pengatur mode baca/tulis: 0 = tulis, 1 = baca. Biasanya di-ground-kan.
6	E	Enable	Sinyal aktif (high) untuk memulai pembacaan atau penulisan data.
7–14	D0–D7	Jalur data	Jalur data untuk komunikasi 8-bit (D4–D7 untuk mode 4-bit).
15	LED+ (A)	Anoda backlight (+)	Positif backlight, biasanya 5V (dapat juga 3.3V dengan resistor).
16	LED- (K)	Katoda backlight (-)	Negatif backlight, dihubungkan ke ground.



Gambar 2. 11 LCD

Modul I2C (*Inter-Integrated Circuit*) adalah standar komunikasi serial dua arah menggunakan dua saluran yang didesain khusus untuk mengirim maupun menerima data.

Dalam penelitian ini, LCD 16x2 dikombinasikan dengan modul I2C *Inter-Integrated Circuit*, yang berfungsi sebagai konverter antarmuka paralel menjadi serial. Penggunaan antarmuka I2C pada LCD bertujuan untuk menghemat jumlah

pin input/output (I/O) pada mikrokontroler, dari semula 6–8 pin menjadi hanya 2 pin, yaitu SDA (*Serial Data Line*) dan SCL (*Serial Clock Line*). Modul ekspander I2C yang umum digunakan biasanya berbasis IC PCF8574, yang mengatur komunikasi antara mikrokontroler dan LCD melalui protokol I2C.

Cara kerja modul LCD I2C dimulai dari pengiriman sinyal data digital oleh mikrokontroler ke ekspander I2C melalui jalur SDA dan SCL. Ekspander kemudian menerjemahkan sinyal tersebut menjadi sinyal paralel yang dikenali oleh LCD untuk menampilkan karakter. Sebelum digunakan, LCD harus diinisialisasi dengan pengaturan format tampilan, pencahayaan, dan posisi kursor. Modul ini sangat sesuai digunakan dalam sistem pemantauan karena mampu menampilkan informasi secara langsung di perangkat keras, seperti nilai suhu, tekanan, jumlah sambaran petir, atau status konektivitas sistem.

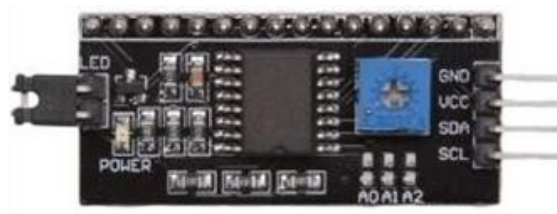
Tabel 2 - 6 Spesifikasi I2C

Kategori	Spesifikasi
Protokol Komunikasi	I2C
Jumlah Pin	2 pin (SDA-SCL)
Tegangan Kerja	3,3 – 5 V
Chip Kontroler	PCF8574 atau PCF8574A (expander I/O)
Kecepatan Komunikasi	100 kHz
Alamat I2C	0x27 atau 0x3F (tergantung modul)

Tabel 2 - 7 Pin Out I2C

Nama Pin	Fungsi	Keterangan
GND	Ground (Tanah)	Dihubungkan ke ground mikrokontroler.
VCC	Tegangan catu daya (+5V/3.3V)	Dihubungkan ke sumber daya, biasanya 5V atau 3.3V.
SDA	Serial Data	Jalur data untuk komunikasi I2C.

Nama Pin	Fungsi	Keterangan
SCL	Serial Clock	Jalur clock untuk sinkronisasi pengiriman data.



Gambar 2. 12 I2C

2.2.8 Baterai Li Ion 18650

Baterai merupakan perangkat penyimpanan energi kimia yang dapat dikonversikan menjadi energi listrik melalui reaksi elektrokimia. Baterai Lithium-Ion merupakan salah satu jenis baterai yang masif digunakan. Secara umum, baterai terdiri dari satu atau lebih sel elektrokimia yang memiliki tiga komponen utama, yaitu anoda (elektroda negatif), katoda (elektroda positif), dan elektrolit sebagai medium penghantar ion dan separator [19]. Ketika terjadi proses pelepasan energi (*discharge*), reaksi kimia antara anoda dan katoda menghasilkan aliran elektron melalui sirkuit eksternal, yang kemudian dimanfaatkan untuk menyalakan perangkat elektronik.

Baterai Li-Ion 18650 merupakan jenis baterai isi ulang berbasis lithium-ion dengan ukuran 18mm x 65mm. Baterai Lithium-Ion (Li-Ion) umumnya digunakan dalam konfigurasi seri atau paralel. Pada sistem tenaga surya atau perangkat IoT, baterai ini sering dipadukan dengan modul BMS (Battery Management System) untuk mengontrol pengisian dan pelepasan daya, sehingga meningkatkan keamanan dan umur pakai baterai.

Prinsip kerja baterai Li-Ion melibatkan adanya pergerakan ion litium melalui elektrolit dari anoda ke katoda selama proses pelepasan energi, dan sebaliknya selama proses pengisian daya. Saat baterai digunakan, ion litium bergerak dari negative anoda biasanya berbahan dasar grafit menuju ke positif katoda, sementara

elektron mengalir melalui rangkaian eksternal untuk menyediakan energi listrik [19].

Tabel 2 - 8 Spesifikasi Baterai Li Ion 18650 [19]

Kategori	Spesifikasi
Tegangan Nominal	3,6 V – 3,7 V per sel
Tegangan Maksimal	4,2 V per sel
Kapasitas	2000 mAh
Siklus Pengisian Ulang	300 – 1000 siklus (tergantung kualitas)
Suhu Operasional	-20°C hingga +60°C



Gambar 2. 13 Baterai Li Ion 18650

2.2.9 Modul BMS (*Battery Management System*)

Modul Battery Management System (BMS) merupakan perangkat elektronik yang dirancang untuk memantau dan mengatur kinerja baterai, khususnya pada baterai isi ulang seperti Lithium-Ion. Bertanggung jawab dalam mengelola proses pengisian (*charging*) dan pengosongan (*discharging*). Secara prinsip, modul BMS bekerja dengan cara memonitor parameter penting baterai secara real-time, seperti tegangan, arus, dan suhu.

BMS dapat berfungsi untuk memprediksi baterai terpakai, mampu memutuskan dan menyambung baterai dari beban jika terdapat gangguan seperti keadaan penuh *fully charged* dan hampir nol *almost fully discharged* [20]. Modul ini tersedia dalam berbagai tipe, tergantung jumlah sel yang dikendalikan, seperti BMS 1S (satu sel),

2S, 3S, hingga 6S atau lebih, yang masing-masing menunjukkan jumlah sel baterai yang terhubung secara seri [21].

TP5100 merupakan modul pengisi daya (*charging module*) berdaya tinggi yang berbasis chip TP5100, diproduksi oleh Top Power ASIC Corp. Modul ini mendukung pengisian daya dua mode: pengisian satu sel (1S) dengan tegangan output 4,2 volt dan pengisian dua sel (2S) dengan tegangan output 8,4 volt. Mode ini dapat diatur melalui konfigurasi pin *mode selection*. Modul TP5100 mendukung arus pengisian hingga 2 ampere dan dilengkapi dengan sistem pengaturan suhu serta proteksi terhadap hubung singkat, tegangan lebih, dan arus berlebih.

TP5100 bekerja dengan prinsip pengisian berbasis switching regulator jenis step-down buck converter yang secara efisien mengubah tegangan input lebih tinggi (misalnya dari sumber 12V) menjadi tegangan yang sesuai dengan sel baterai lithium-ion atau lithium polymer. Dengan efisiensi tinggi hingga $\pm 90\%$.

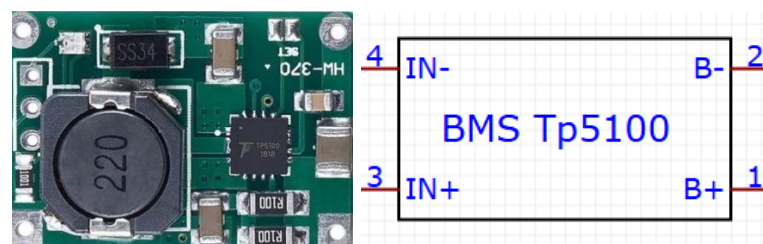
Tabel 2 - 9 Spesifikasi BMS TP5100 [20]

Spesifik	Detail
Tegangan Input	5V – 18VDC
Tegangan Output	4,2V (1S) dan 8,4 (2S)
Jumlah Sel Baterai	3S (3 seri)
Arus Maksimum	2A
Perlindungan Tegangan Berlebih	Ya
Perlindungan Arus Lebih	Ya
Perlindungan Hubungan Pendek	Ya
Perlindungan Pengisian	Ya

Tabel 2 - 10 Pin Out BMS TP5100

Nama Pin	Fungsi
IN +	Tegangan masukan positif (biasanya dari adaptor DC atau panel surya)
IN -	Ground/negatif dari catu daya eksternal.
BAT +	Keluaran positif ke baterai lithium

Nama Pin	Fungsi
BAT -	Keluaran negatif ke baterai lithium (ground baterai)
SET MODE	Pin seleksi mode pengisian: - Terhubung ke GND → Mode 1S (output 4.2V) - Tidak terhubung (open) → Mode 2S (output 8.4V)
LED +/- LED -	Pin indikator LED untuk status charging (beberapa modul menyediakan ini).



Gambar 2. 14 BMS TP5100

2.2.10 Modul GPS (*Global Positioning System*)

GPS atau Modul Global Positioning System adalah perangkat elektronik yang berfungsi untuk menentukan posisi geografis secara akurat di permukaan bumi dengan memanfaatkan sinyal dari satelit GPS. Modul ini bekerja dengan cara menerima sinyal dari beberapa satelit yang mengorbit bumi, kemudian menghitung koordinat lokasi berdasarkan jarak relatif dari masing-masing satelit tersebut.

Fungsi utama dari modul GPS adalah untuk memberikan informasi terkait koordinat geografis lintang dan bujur, kecepatan gerak, ketinggian dari permukaan laut, serta akurasi waktu berdasarkan standar waktu satelit (UTC). Modul GPS Neo-6MV2 menangkap sinyal radio dari minimal empat satelit GPS yang mengorbit bumi. Berdasarkan waktu tempuh sinyal dari satelit ke modul, sistem menghitung posisi pengguna menggunakan metode trilaterasi. Modul ini memiliki antena keramik aktif bawaan untuk meningkatkan penerimaan sinyal, serta dilengkapi dengan EEPROM untuk menyimpan konfigurasi awal dan baterai RTC (Real-Time Clock) [22]. Setiap Komunikasi data antara modul dan mikrokontroler dilakukan melalui antarmuka UART (TX dan RX) dengan format standar NMEA (*National*

Marine Electronics Association), yang umumnya berisi informasi seperti latitude, longitude, waktu UTC, kecepatan, serta kualitas sinyal GPS.

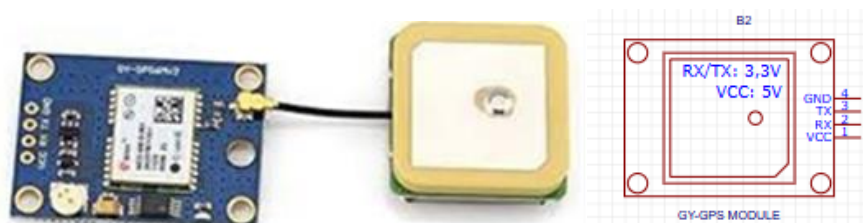
Dalam konteks penelitian ini, modul GPS Neo-6MV2 digunakan untuk menyimpan dan menampilkan data lokasi alat. Mikrokontroler ESP8266 membaca data dari pin TX modul GPS, kemudian mengurai parse string NMEA untuk mengekstrak informasi koordinat lokasi.

Tabel 2 - 11 Spesifikasi GPS Module [22]

Kategori	Spesifikasi
Tegangan Kerja	3,3 V – 5 V
Arus Maksimal	10 mA
Batas Operasi	Gravitasi-4g, ketinggian-50000m, kecepatan-500m/s
Sensitivitas Antena	-160dBm

Tabel 2 - 12 Pin Out GPS Module

Nama Pin	Fungsi
VCC	Tegangan Input
GND	Ground
TX	Transmit Data
RX	Receive Data
PPS	Pulse Per Second (opsional)



Gambar 2. 15 Modul GPS NEO6MV2

2.2.11 Buck Converter IC LM2596

Buck converter LM2596 merupakan modul regulator tegangan DC-DC yang berfungsi untuk menurunkan atau *step-down* tegangan input menjadi tegangan output yang lebih rendah. Dalam aplikasi elektronik modern, termasuk sistem monitoring berbasis ESP8266, penggunaan buck converter menjadi penting untuk menyesuaikan sumber tegangan input seperti baterai atau adaptor agar sesuai dengan kebutuhan tegangan operasional perangkat.

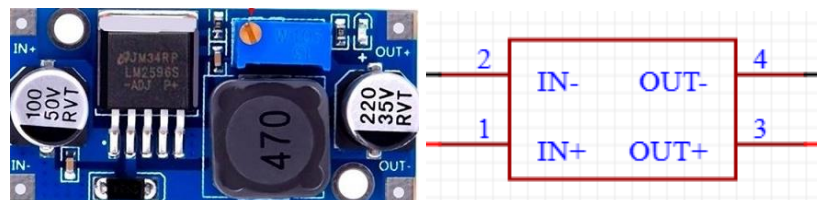
LM2596 didasarkan pada teknik switching regulator. Ketika transistor switching internal yang membuka dan menutup dengan cepat frekuensi sekitar 150 kHz untuk memotong tegangan input, lalu menyaringnya dengan induktor dan kapasitor agar menjadi output DC yang halus. Rangkaian ini mengatur rasio siklus kerja duty cycle sesuai perbandingan antara tegangan input dan output. Potensiometer pada modul adjustable digunakan untuk mengatur tegangan output sesuai kebutuhan, misalnya dari 1,23 V hingga 30 V [23].

Pada modul LM2596, umumnya tersedia potensiometer untuk mengatur tegangan output secara manual, serta dioda Schottky, induktor, dan kapasitor filter sebagai bagian dari rangkaian pendukung internal IC. Selain itu, beberapa versi modul juga dilengkapi display voltmeter mini yang mempermudah pemantauan tegangan input dan output. Dalam sistem pendeteksi petir berbasis ESP8266 yang dikembangkan dalam penelitian ini, modul buck converter LM2596 digunakan untuk menurunkan tegangan dari sumber daya utama baterai 7,4 V menjadi 5 V atau 3,3 V, sesuai kebutuhan operasional mikrokontroler dan sensor.

Tabel 2 - 13 Spesifikasi Buck Converter LM2596 [23]

Spesifik	Detail
IC Regulator	LM2596
Tegangan Input	4V - 40V DC
Tegangan Output	1.25V - 37V DC (dapat disesuaikan)
Arus Maksimum	3A (disarankan 2A untuk penggunaan stabil)
Frekuensi Switching	150 kHz

Spesifik	Detail
Perlindungan	Perlindungan terhadap panas berlebih dan arus lebih



Gambar 2. 16 Buck Converter LM2596

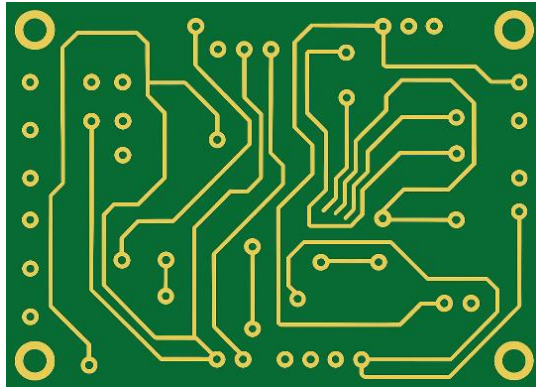
2.2.12 PCB

Printed Circuit Board (PCB) merupakan papan sirkuit tercetak yang berfungsi sebagai media penghubung antar komponen elektronik dalam suatu rangkaian. PCB tersusun dari material isolator seperti fiberglass umumnya FR4 yang dilapisi jalur tembaga sebagai penghantar listrik. Dirancang untuk dapat menggantikan kabel konvensional dan memungkinkan koneksi antar komponen elektronik seperti resistor, kapasitor, dioda, dan mikrokontroler dengan cara yang lebih rapi.

Secara umum, PCB dapat diklasifikasikan berdasarkan jumlah lapisan konduktor yang dimilikinya, yaitu:

1. Single Layer PCB: Hanya memiliki satu lapisan konduktor tembaga pada satu sisi substrat. Umumnya digunakan pada rangkaian elektronik sederhana.
2. Double Layer PCB: Memiliki dua lapisan konduktor pada kedua sisi substrat, dengan lubang vias sebagai penghubung antar sisi.
3. Multilayer PCB: Terdiri atas tiga lapisan atau lebih, digunakan pada perangkat elektronik kompleks seperti komputer dan sistem komunikasi. Jenis ini menawarkan densitas sirkuit tinggi dalam ukuran yang lebih kompak.

Spesifikasi teknis lainnya meliputi ketebalan substrat, lebar jalur tembaga, ukuran pad, jarak antar jalur, dan material soldermask serta silkscreen.



Gambar 2. 17 PCB

Pada perancangan ini penggunaan PCB merupakan elemen penting, dimana pada pembuatan skematik pendeteksi petir. Dimana pada input rangkaian tersebut dimulai dari penerimaan sinyal oleh Receiving Coil. Kemudian sinyal diproses pada rangkaian agar dapat diterima oleh mikrokontroler ESP8266 melanjutkan sinyal supaya dapat diproses.

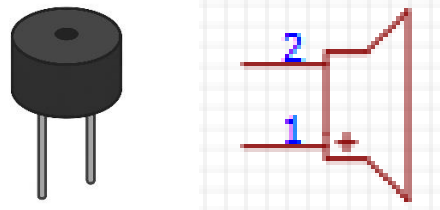
2.2.13 Buzzer

Buzzer merupakan salah satu komponen aktuator yang digunakan untuk menghasilkan suara sebagai bentuk peringatan atau notifikasi dalam suatu sistem elektronik. Secara umum, buzzer bekerja dengan cara mengubah energi listrik menjadi gelombang suara melalui proses getaran yang dihasilkan oleh komponen piezoelektrik atau elektromagnetik di dalam buzzer [24].

Berdasarkan prinsip kerjanya, buzzer terbagi menjadi dua jenis, yaitu buzzer aktif dan buzzer pasif. Buzzer aktif dilengkapi dengan osilator internal sehingga cukup diberi tegangan untuk menghasilkan suara. Sementara itu, buzzer pasif membutuhkan sinyal frekuensi eksternal dari mikrokontroler untuk dapat berfungsi [25]. Buzzer 3,5 V umumnya merupakan jenis aktif, karena dirancang agar dapat bekerja langsung pada tegangan rendah tanpa memerlukan rangkaian pemicu tambahan.

Dari segi spesifikasi, buzzer 3,5 V memiliki karakteristik konsumsi daya rendah, frekuensi suara standar di kisaran 2 kHz–4 kHz, serta ukuran yang kompak,

menjadikannya ideal untuk sistem dengan ruang terbatas. Pemilihan buzzer dengan tegangan 3,5 V sangat sesuai untuk digunakan bersama mikrokontroler modern yang umumnya bekerja pada tegangan logika 3,3 V hingga 5 V, sehingga integrasinya menjadi lebih mudah tanpa memerlukan level shifter atau driver tambahan.



Gambar 2. 18 Buzzer

2.2.14 Antena Telescopie

Antena merupakan perangkat yang berfungsi untuk menangkap atau memancarkan gelombang elektromagnetik ke atau dari udara. Antena teleskopik merupakan jenis antena eksternal yang memiliki struktur batang logam yang dapat ditarik dan diperpanjang sesuai kebutuhan panjang gelombang. Antena ini umumnya terbuat dari material konduktor seperti aluminium atau kuningan berlapis nikel, dan dirancang untuk menerima atau memancarkan sinyal elektromagnetik pada frekuensi tertentu. Dalam sistem penerimaan sinyal radio, khususnya pada rentang frekuensi rendah hingga menengah *low to medium frequency*.

Secara teoritis, panjang fisik antena sangat berpengaruh terhadap frekuensi kerja optimalnya. Frekuensi resonansi antena didekati dengan rumus:

$$L = \frac{c}{4f} \quad (2.4)$$

dengan L adalah panjang antena, c adalah kecepatan cahaya (3×10^8 m/s), dan f adalah frekuensi kerja dalam Hz. Untuk sistem yang bekerja pada frekuensi 150 kHz hingga 3 MHz seperti pada IC TA7642, maka panjang antena ideal berkisar antara 25 cm hingga 150 cm. Rentang ini sesuai dengan karakteristik antena teleskopik yang dapat disesuaikan secara praktis.

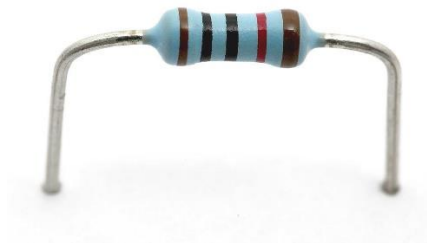


Gambar 2. 19 Antena

Dalam sistem deteksi petir yang dikembangkan dalam penelitian ini, antena teleskopik digunakan bukan untuk menerima sinyal informasi seperti pada siaran radio AM konvensional, melainkan untuk menangkap gangguan elektromagnetik impulsif dari lingkungan, seperti yang ditimbulkan oleh sambaran petir. Sambaran petir memancarkan gelombang elektromagnetik dalam spektrum frekuensi sangat luas (*wideband*), terutama pada rentang *Very Low Frequency* (VLF) hingga Low Frequency (LF), yang dapat menginduksi tegangan sesaat (transien) pada konduktor seperti antena. Tegangan inilah yang dimanfaatkan sebagai indikator adanya aktivitas petir di sekitar alat.

2.2.15 Resistor

Resistor merupakan salah satu komponen elektronik pasif yang berfungsi untuk membatasi arus listrik dalam suatu rangkaian. Hambatan ini berguna untuk mengatur besarnya arus yang mengalir dan menurunkan tegangan sesuai kebutuhan dalam sistem elektronik. Resistor memiliki satuan ohm (Ω). Komponen ini menjadi sangat penting dalam hampir seluruh rangkaian elektronik karena kemampuannya untuk membatasi arus dan melindungi komponen lainnya dari kelebihan tegangan atau arus.



Gambar 2. 20 Resistor

Resistor bekerja dengan mengubah sebagian energi listrik menjadi panas sesuai hukum Ohm $V=I \times R$ $V = I \times R$ $V=I \times R$. Ketika arus listrik melewati resistor, hambatan material di dalamnya menyebabkan sebagian energi hilang sebagai panas, membatasi besar arus yang mengalir. Komponen ini sering dirangkai secara seri atau paralel untuk mencapai nilai resistansi tertentu sesuai kebutuhan.

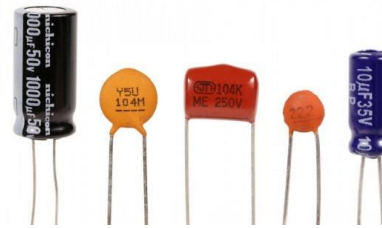
Pada perancangan alat, resistor digunakan pada rangkaian pendeteksi petir. R5, R2 dan R1 masing-masing $1K\Omega$ berfungsi sebagai pembagi tegangan dan kontrol arus.

2.2.16 Kapasitor

Kapasitor adalah suatu alat atau komponen yang dapat menyimpan energy atau muatan listrik didalam medan listrik, dengan cara mengumpulkan ketidakseimbangan internal dari muatan listrik. Dalam rangkaian elektronika dilambangkan dengan huruf C dan satua kapasitor disebut Farad (F).

Fungsi penggunaan kapasitor dalam suatu rangkaian :

1. Sebagai kopling antara rangkaian yang satu dengan rangkaian yang lain (pada PS)
2. Sebagai filter dalam rangkaian
3. Sebagai pembangkit frekuensi dalam rangkaian antenna
4. Untuk menghemat daya listrik pada lampu neon
5. Menghilangkan bouncing (loncatan api) bila dipasang pada saklar



Gambar 2. 21 Kapasitor

Pada perancangan alat, kapasitor digunakan pada rangkaian pendeteksi petir. Kapasitor yang digunakan 100nF, dan 270pF. Kombinasi daripada *receiver coil* dan kapasitor saat penangkapan gelombang berfungsi membentuk filter input dan menyesuaikan sinyal dari antena sebelum masuk ke TA7642. Kombinasi induktor (*receiver coil*) dan kapasitor (C4, C5) ini juga berfungsi sebagai tuned circuit untuk menyaring frekuensi tertentu.

2.2.17 Dioda

Dioda adalah komponen semikonduktor yang memungkinkan arus listrik mengalir hanya dalam satu arah. Terdapat berbagai jenis, seperti dioda penyearah, Zener, LED, Schottky, dan photodiode, yang masing-masing memiliki fungsi berbeda, mulai dari penyearahan arus AC hingga stabilisasi tegangan dan deteksi cahaya.

Dioda bekerja dengan prinsip sambungan p-n; ketika diberi bias maju, arus mengalir, sedangkan saat bias mundur, arus hampir terhenti. Dalam aplikasi praktis, dioda digunakan untuk menyearahkan arus, proteksi lonjakan tegangan, dan membatasi tegangan pada titik tertentu.



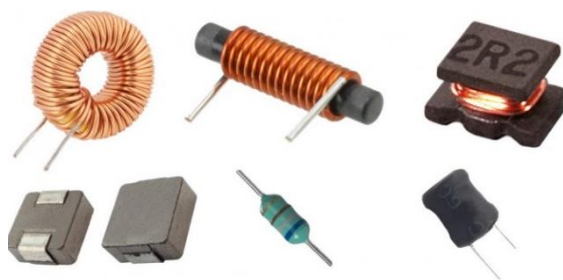
Gambar 2. 22 Dioda

Pada perancangan alat, Dioda digunakan pada rangkaian pendeteksi petir. Dioda yang digunakan Dioda 1N4001, Dioda yang ditempatkan pada jalur PWM Berfungsi sebagai proteksi sekaligus penyearah satu arah terhadap sinyal pembawa yang diinjeksikan. Secara khusus, dioda ini menghalangi kemungkinan arus balik dari rangkaian atau output TA7642 agar tidak masuk kembali ke pin PWM mikrokontroler.

2.2.18 Inductor

Induktor adalah komponen pasif yang menyimpan energi dalam bentuk medan magnet aliran arus listrik. Jenis-jenis induktor meliputi choke, toroidal, dan induktor multilayer, digunakan pada aplikasi filter, konverter daya, dan penyimpanan energi.

Induktor bekerja berdasarkan hukum Faraday, dimana perubahan arus melalui kumparan menciptakan medan magnet yang menghasilkan tegangan lawan (back EMF) untuk menghambat perubahan arus mendadak. Dalam rangkaian switching, induktor digunakan sebagai elemen penyimpan energi yang dilepaskan saat siklus switching.



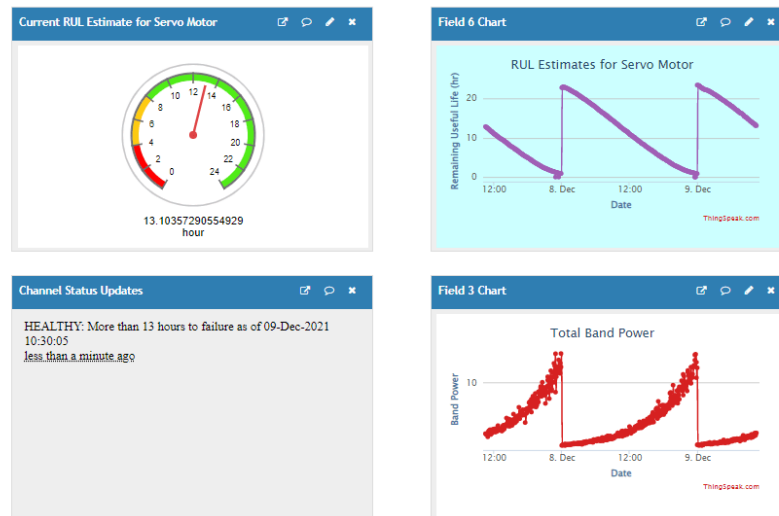
Gambar 2. 23 Inductor

2.2.19 ThingSpeak

ThingSpeak adalah platform *Internet of Things* (IoT) yang dikembangkan oleh MathWorks, Platform ini mampu mengirim, menyimpan dan menampilkan data bagi pengguna untuk perancangan alat dengan berbasis IoT. ThingSpeak menyediakan antarmuka pemrograman aplikasi (API) berbasis protokol HTTP, yang memungkinkan perangkat mengirim data melalui koneksi internet menggunakan metode permintaan GET atau POST.

Pada perancangan alat berbasis ThingSpeak berfungsi sebagai penyimpanan data hasil pembacaan dari alat yang dirancang seperti suhu, kelembapan dan aktivitas petir. Kemudian dapat ditampilkan pada *Website monitoring*. *Website monitoring* adalah sistem berbasis web yang dimaksudkan untuk memantau dan mengelola proses atau perangkat. Sistem ini menawarkan antarmuka visual yang menarik untuk menampilkan informasi dalam bentuk data yang mudah dipahami seperti grafik atau tabel.

Selain sebagai media penyimpanan dan tampilan data, ThingSpeak juga memiliki keunggulan lain seperti kemudahan integrasi dengan MATLAB untuk analisis data lanjutan, fitur notifikasi melalui Webhook atau layanan pihak ketiga seperti IFTTT, serta tampilan antarmuka pengguna yang sederhana dan mudah digunakan. Hal ini menjadikan ThingSpeak sebagai pilihan yang sesuai untuk kebutuhan sistem monitoring berskala kecil hingga menengah, termasuk dalam penelitian akademik seperti tugas akhir.



Gambar 2. 24 ThingSpeak Dashboard

Berikut ini adalah tahapan penggunaan Arduino IDE secara sistematis :

1. Pembuatan Akun dan Channel di ThingSpeak

Pengguna dapat mengunjungi <https://thingspeak.com>, Daftar atau login dengan akun MathWorks. Kemudian Buat Channel baru: klik Channels > My Channels > New Channel. Isi nama channel, deskripsi, dan aktifkan field sesuai jumlah parameter seperti pada gambar 2.22.

Gambar 2. 25 Dashboard Channel ThingSpeak

2. Mendapatkan API Key

Setelah channel dibuat, tahap selanjutnya masuk tab API KEYS kemudian Salin Write API Key (digunakan oleh ESP8266 untuk mengirim data).

3. Menulis Program di Arduino IDE

Pada proses program Arduino IDE gunakan library WiFi.h dan ThingSpeak.h dan lakukan inisialisasi koneksi Wi-Fi dan ThingSpeak, kemudian Kirimkan data sensor (misalnya nilai dari TA7642 dan BME280) ke channel menggunakan API Key yang telah didapat.

4. Visualisasi Data Sensor

Tahap visualisasi data pengguna masuk ke channel Anda dan pilih tab Private View atau Public View, Tambahkan widget grafik (line chart, gauge, numeric display, dll.). Atur field yang ingin ditampilkan dan waktu pembaruan.

5. Pengujian dan Validasi Data

Lakukan pengujian alat di lapangan demham Pantau apakah data suhu, kelembaban, tekanan udara, dan deteksi petir tampil sesuai. Validasi waktu delay, akurasi nilai, dan kontinuitas pengiriman.