

BAB II

LANDASAN TEORI

2.1 Tinjauan Pustaka

Gagasan dan mengenai penulisan penyusunan tugas akhir ini adalah berdasarkan beberapa referensi yang sudah ada. Dalam hal ini penulis menggunakan beberapa referensi yang berkaitan dengan tugas akhir yang akan penyusun buat, diantaranya adalah :

1. *Weather Station* Berbasis Mikrokontroler

Weather station berbasis mikrokontroler merupakan sistem pemantauan cuaca otomatis yang memanfaatkan perangkat seperti Arduino maupun ESP32 untuk membaca dan mengolah data dari berbagai sensor, seperti suhu, kelembapan, tekanan udara, kecepatan dan arah angin, serta curah hujan. Dalam sistem ini, mikrokontroler berperan sebagai pusat kendali yang memproses dan mengirimkan data ke media penyimpanan atau platform monitoring secara real-time. Di antara berbagai jenis mikrokontroler, ESP32 sering dipilih karena telah terintegrasi dengan modul Wi-Fi dan Bluetooth, serta memiliki kemampuan pemrosesan data yang tinggi untuk kebutuhan aplikasi *Internet of Things* (IoT). Sistem ini memberikan fleksibilitas yang tinggi dalam penerapan pemantauan cuaca di berbagai kondisi lingkungan, termasuk daerah terpencil [5].

2. Pembangkit Listrik Tenaga Surya untuk *Weather Station*

Kendala umum dalam pengoperasian *weather station* di lokasi terpencil adalah keterbatasan akses terhadap listrik konvensional. Oleh karena itu, penggunaan pembangkit listrik tenaga surya (PLTS) yang terdiri dari panel surya, solar charge controller, dan baterai menjadi solusi mandiri dan ramah lingkungan. Sistem ini memungkinkan perangkat tetap beroperasi secara berkelanjutan meski di lokasi tanpa akses listrik PLN, serta mendukung pengurangan emisi karbon dan efisiensi biaya operasional. Keandalan sistem sangat ditentukan oleh efisiensi panel dan kapasitas baterai dalam menghadapi kondisi cuaca yang bervariasi [6].

3. Transmisi Data *Weather Station* Menggunakan LoRa

Teknologi LoRa (Long Range) adalah protokol komunikasi nirkabel yang dirancang untuk transmisi data jarak jauh dengan konsumsi daya rendah. Dalam konteks *weather station*, LoRa digunakan untuk mengirimkan data dari node pengukuran ke gateway yang terhubung ke server, sehingga sangat cocok diaplikasikan di daerah dengan infrastruktur komunikasi terbatas tanpa memerlukan koneksi internet langsung. Menunjukkan bahwa sistem berbasis ESP32 atau Arduino, dilengkapi sensor cuaca seperti BMP280, dapat beroperasi stabil dengan dukungan LoRa sebagai media transmisi dan PLTS sebagai sumber energi utama [7].

4. Integrasi Sistem dan Keunggulan

Penggabungan antara mikrokontroler, PLTS, dan komunikasi LoRa menghasilkan sistem *weather station* yang mandiri, hemat energi, dan dapat diandalkan. Sistem ini mampu melakukan pengukuran cuaca, pengolahan data, serta pengiriman informasi secara otomatis dan real-time tanpa intervensi manual. Keunggulan tersebut sangat bermanfaat untuk sektor pertanian, mitigasi bencana, serta pengembangan ekosistem smart environment. Selain itu, sistem ini mendukung keberlanjutan operasional di berbagai kondisi geografis, terutama di wilayah yang belum terjangkau oleh jaringan listrik atau internet [8].

2.2 Dasar Teori

2.2.1 *Weather Station*

Stasiun cuaca (*weather station*) merupakan sistem yang dirancang untuk memantau dan merekam kondisi atmosfer secara otomatis dan berkala. Sistem ini mengukur parameter cuaca seperti suhu, kelembapan relatif, tekanan atmosfer, kecepatan dan arah angin, curah hujan, serta intensitas cahaya matahari. Data yang dihasilkan sangat berguna untuk aplikasi di sektor pertanian, mitigasi bencana, penelitian iklim, pendidikan, dan pengambilan keputusan berbasis lingkungan. Dengan berkembangnya teknologi, banyak sistem *weather station* kini menggunakan mikrokontroler seperti Arduino atau ESP32 karena biayanya rendah, konsumsi daya efisien, dan mampu mentransmisikan data secara nirkabel [5].

Weather station berbasis mikrokontroler terdiri atas beberapa komponen utama, yaitu sensor, unit pengendali (mikrokontroler), media penyimpanan data, dan sistem komunikasi. Sensor berperan dalam mendeteksi parameter-parameter cuaca, seperti sensor suhu, sensor tekanan udara (seperti BMP280), sensor curah hujan (*tipping bucket rain gauge*), serta sensor kecepatan dan arah angin (*anemometer* dan *wind vane*). Mikrokontroler, seperti Arduino, ESP8266, atau ESP32, berfungsi sebagai pusat kendali sistem. Perangkat ini membaca data dari sensor, melakukan proses kalibrasi dan konversi, serta menyimpan atau mengirimkan data ke server. Penggunaan mikrokontroler memberikan keuntungan dari segi fleksibilitas pemrograman dan efisiensi energi, sehingga sangat cocok digunakan dalam sistem pemantauan jangka panjang yang dipasang di lokasi terpencil.

Mikrokontroler dalam *weather station* tidak hanya dapat menyimpan data secara lokal (melalui kartu SD atau EEPROM), tetapi juga melakukan pemrosesan awal seperti filtering dan penghitungan rata-rata. Untuk pemantauan jarak jauh, sistem ini mengirimkan data secara nirkabel menggunakan teknologi seperti LoRa, yang menawarkan jangkauan hingga sekitar 1–10 km dengan konsumsi daya sangat rendah. Teknologi ini sangat sesuai untuk stasiun cuaca di area terpencil yang tidak terjangkau jaringan seluler atau Wi-Fi [9].

Agar sistem dapat bekerja secara mandiri di luar ruangan, diperlukan sumber energi yang stabil dan berkelanjutan. Oleh karena itu, panel surya sering dijadikan sebagai solusi utama dalam penyediaan daya. Panel surya dikombinasikan dengan komponen seperti *solar charge controller* dan baterai, yang memungkinkan sistem tetap aktif baik pada siang hari maupun malam hari. Hal ini tidak hanya mendukung keberlanjutan sistem, tetapi juga menjadikan stasiun cuaca berbasis mikrokontroler sebagai sistem yang ramah lingkungan dan ekonomis.

Keunggulan *weather station* berbasis mikrokontroler meliputi tingkat otomatisasi yang tinggi, biaya pembangunan relatif rendah, kemampuan adaptasi terhadap berbagai sensor dan modul komunikasi, serta efisiensi energi yang baik. Sistem ini juga sangat fleksibel untuk diintegrasikan dengan platform monitoring berbasis web atau aplikasi mobile, memungkinkan akses data cuaca real-time dari mana pun.

2.2.2 Angin

Angin adalah pergerakan massa udara yang terjadi akibat perbedaan tekanan antara dua wilayah, umumnya bergerak dari tekanan tinggi ke tekanan rendah. Perbedaan tekanan ini sering dipicu oleh variasi pemanasan sinar matahari, di mana daerah yang lebih panas memiliki tekanan lebih rendah akibat pemuaian udara. Pergerakan angin dapat terjadi secara horizontal (adveksi), vertikal (konveksi), maupun acak (turbulensi). Kecepatan angin umumnya diukur pada ketinggian sekitar 2 meter di atas permukaan tanah terbuka, dan dipengaruhi oleh gradien tekanan serta kondisi permukaan seperti vegetasi. Angin memiliki beberapa karakteristik penting, seperti memberikan tekanan pada permukaan, membantu pendinginan, serta mencampurkan lapisan udara. Arah angin dinyatakan berdasarkan delapan mata angin utama, dimulai dari 0° (utara) hingga 360° [10].

2.2.3 Suhu

Suhu udara adalah salah satu unsur utama cuaca dan iklim yang mencerminkan energi kinetik rata-rata pergerakan molekul udara semakin cepat molekul bergerak, semakin tinggi suhunya. Kalor selalu mengalir dari suhu tinggi ke suhu rendah, dan suhu biasanya diukur dalam skala Celcius (umum secara global) atau Fahrenheit (digunakan di Amerika Serikat dan Inggris). Pada lapisan troposfer, suhu cenderung menurun seiring bertambahnya ketinggian karena udara bukan penyimpan panas yang baik dan sangat dipengaruhi oleh permukaan bumi sebagai sumber panas utama. Laut memiliki kapasitas panas lebih besar dibanding daratan, sehingga meskipun daratan cepat memanaskan, pengaruh laut terhadap suhu udara secara vertikal lebih dominan. Akibatnya, baik di atas darat maupun laut, suhu udara menurun seiring bertambahnya ketinggian [11].

2.2.4 Tekanan Udara

Tekanan udara merupakan gaya yang bekerja per satuan luas pada ketinggian tertentu dan merupakan salah satu faktor utama yang memengaruhi kerapatan udara, selain dari suhu. Seiring meningkatnya ketinggian, jumlah molekul udara menurun sehingga tekanan dan kerapatan udara berkurang. Akibat meningkatnya

jumlah molekul dan atom yang terdapat di atmosfer, tekanan udara umumnya menjadi lebih tidak teratur. Dengan demikian, tekanan udara akan menurun seiring dengan bertambahnya ketinggian, diikuti dengan penurunan kerapatan udara juga [12].

2.2.5 Curah Hujan

Curah hujan adalah tinggi air hujan yang terkumpul di atas permukaan datar tidak mengalami evaporasi, infiltrasi, atau aliran yang biasanya diukur dalam satuan milimeter (mm). Di Indonesia, curah hujan dinyatakan dalam mm, di mana 1 mm hujan setara dengan 1 liter air pada permukaan seluas 1 m². Satu milimeter curah hujan memiliki arti sebagai panjang setara dengan satu meter persegi di lokasi tertentu, yang mana volume air yang terkumpul setara dengan satu milimeter atau beberapa liter[13].

2.2.6 Module ESP 32 V4



Gambar 2. 1 Module Esp 32

Gambar 2.1 menunjukkan modul ESP32 yang digunakan sebagai inti sistem 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, [14]

ESP32 menawarkan performa yang sangat tinggi. Mikrokontroler ini dibekali prosesor dual-core Xtensa LX6 dengan kecepatan hingga 240 MHz, RAM sebesar 520 KB, dan memori flash sebesar 4 MB. Selain itu, ESP32 juga memiliki berbagai fitur penting lainnya seperti ADC, DAC, PWM, SPI, I2C, dan masih banyak lagi, yang membuatnya sangat fleksibel untuk berbagai kebutuhan elektronika.

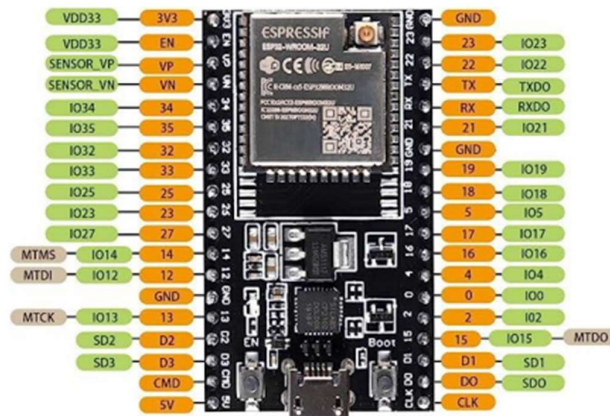
Dalam konteks *Internet of Things*, ESP32 berperan sebagai pusat kendali menghubungkan berbagai perangkat elektronik ke internet sehingga bisa diakses dan dikendalikan dari jarak jauh melalui aplikasi web maupun smartphone. Berkat harganya yang terjangkau dan dukungan komunitas yang aktif dan ramah pengguna, ESP32 menjadi pilihan utama bagi siapa saja yang ingin mulai membangun sistem IoT.

Sebagai mikrokontroler dengan fitur dan kemampuan yang istimewa, ESP32 menjadi favorit di kalangan tim pengembang *Internet of Things* (IoT). Berikut ini beberapa keunggulan utama yang membuat ESP32 begitu diminati:

- Ditenagai oleh prosesor dual-core Xtensa LX6 dengan kecepatan hingga 240 MHz, ESP32 mampu memberikan performa tinggi untuk beragam aplikasi.
- Dilengkapi dengan RAM sebesar 520 KB dan memori flash 4 MB, kapasitas ini cukup untuk menjalankan program-program kompleks.
- Mendukung standar konektivitas *WiFi* 802.11 b/g/n serta *Bluetooth Low Energy* (BLE), yang memungkinkan komunikasi nirkabel yang efisien dan andal.
- Memiliki antena *WiFi* bawaan dan juga mendukung koneksi antena eksternal untuk memperkuat sinyal Bluetooth jika diperlukan.
- Bisa diprogram menggunakan Arduino IDE yang populer maupun menggunakan ESP-IDF, *framework* resmi dari *Espressif*.
- Menyediakan banyak pin input/output (GPIO) dengan berbagai antarmuka seperti ADC, DAC, PWM, SPI, I2C, dan UART memudahkan pengelolaan sistem elektronik yang kompleks.

- Mendukung fitur deep sleep atau mode hemat daya, sangat cocok untuk perangkat yang membutuhkan efisiensi energi tinggi.

Dengan segala keunggulan tersebut, ESP32 sangat cocok digunakan sebagai pusat kendali dalam berbagai sistem berbasis IoT, seperti otomasi rumah pintar, pemantauan lingkungan berbasis sensor, hingga aplikasi dalam dunia robotika.



Gambar 2. 2 Pin Out Modul ESP32 DEVKITC V4 [15]

ESP32 DevKitC V4 memiliki beragam pin yang berfungsi untuk mendukung berbagai kebutuhan dalam proyek elektronika maupun *Internet of Things* (IoT). Berikut ini adalah penjelasan mengenai susunan pin yang tersedia:

1. Pin 3V3 – Menyediakan tegangan 3.3V yang bisa digunakan untuk memberi daya pada sensor atau perangkat eksternal lainnya yang membutuhkan tegangan tersebut.
2. Pin GND – Merupakan pin ground (tanah), digunakan sebagai referensi tegangan dalam rangkaian.
3. Pin EN (Enable) – Digunakan untuk menghidupkan atau mematikan modul ESP32. Saat pin ini ditarik rendah, ESP32 akan melakukan reset.
4. Pin BOOT – Digunakan untuk memilih mode boot. Biasanya dihubungkan ke GND saat ingin meng-upload program ke ESP32.
5. Pin GPIO0 – Merupakan pin input/output digital yang juga berperan dalam proses pemilihan mode boot.

6. Pin GPIO1 sampai GPIO39 – Merupakan pin I/O digital multifungsi yang bisa dipakai untuk berbagai keperluan seperti mengendalikan perangkat, membaca data sensor, atau berkomunikasi dengan modul lain.
7. Pin ADC – Pin input analog untuk membaca sinyal analog, misalnya dari sensor suhu atau potensiometer.
8. Pin AREF – Digunakan sebagai referensi tegangan eksternal untuk pengukuran analog.
9. Pin TX0 dan RX0 – Pin komunikasi serial UART utama untuk mengirim (TX) dan menerima (RX) data. Biasanya digunakan untuk komunikasi dengan komputer.
10. Pin TX2 dan RX2 – Merupakan pin UART tambahan, berguna saat membutuhkan port serial lebih dari satu.
11. Pin SDA dan SCL – Digunakan untuk komunikasi I2C, biasanya untuk sensor-sensor digital seperti sensor suhu, OLED display, dll.
12. Pin SCK, MISO, MOSI – Pin komunikasi SPI yang digunakan untuk menghubungkan ESP32 dengan perangkat SPI seperti modul SD card atau sensor jarak.
13. Pin SCK, SD0, CMD, D0–D4 – Merupakan pin khusus untuk komunikasi SDIO, umumnya dipakai saat menghubungkan kartu SD atau perangkat lain yang mendukung protokol ini.
14. Pin DAC1 dan DAC2 – Pin output analog (DAC) yang mampu menghasilkan sinyal analog dari data digital.
15. Pin VP dan VN – Input analog yang digunakan untuk pengukuran tegangan, berguna untuk berbagai pengaplikasian sensor.
16. Pin GPIO34–GPIO39 – Pin input/output digital tambahan yang sudah dilengkapi fitur pullup dan pulldown internal, cocok untuk mendeteksi sinyal logika tertentu.

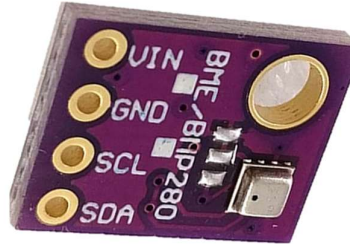
Tabel 2.1 menunjukkan spesifikasi utama ESP32 yang digunakan dalam sistem.

Tabel 2. 1 Datasheet ESP32 [15]

Parameter	Nilai / Fitur
CPU	Xtensa LX6, dual-core @ 240 MHz
Memori	SRAM 520 KB, ROM 448 KB, RTC 16 KB RAM
Wi-Fi & BT	802.11 b/g/n (150 Mbps), BT 4.2 BR/EDR/BLE
Tegangan	3.0–3.6 V (umumnya 3.3 V)
Power idle/active	~80 mA (aktif), puncak 150–240 mA, deep-sleep 5 μ A
I/O & Peripheral	ADC, DAC, SPI, I ² C, UART, SDIO, Ethernet, CAN, PWM, Hall, touch, dll.
Security	HW crypto, secure boot, flash encryption
Dimensi modul (WROOM)	18 × 25.5 × 3.1 mm

Spesifikasi di atas menunjukkan bahwa ESP32 memiliki kemampuan yang cukup lengkap dan efisien untuk mendukung berbagai aplikasi berbasis IoT dan sistem tertanam.

2.2.7 Sensor BMP280



Gambar 2. 3 Sensor BMP 280

Gambar 2.3 menunjukkan bentuk fisik sensor BMP280 yang digunakan. Kemudian untuk penjelasan BMP280 adalah sensor digital buatan Bosch Sensortec yang dirancang untuk mengukur tekanan udara barometrik dan suhu dengan akurasi tinggi. Dalam kemasan LGA berukuran $2 \times 2,5$ mm, sensor ini memiliki konsumsi daya rendah ($\sim 2,7 \mu\text{A}$ @1 Hz) dan mendukung antarmuka I²C dan SPI. Karena akurasi $\pm 0,12$ 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. [16]

Sensor BMP280 bekerja dengan menerapkan prinsip piezoresistif. Di dalam sensor ini terdapat membran silikon yang sangat tipis, yang akan mengalami deformasi atau perubahan bentuk saat terjadi perubahan tekanan udara di sekitarnya. Perubahan bentuk ini akan memengaruhi resistansi dari piezoresistor yang tertanam di membran tersebut. Perubahan resistansi ini kemudian menghasilkan sinyal listrik, yang diproses menggunakan rangkaian Wheatstone bridge guna meningkatkan akurasi pengukuran. Setelah itu, sinyal analog tersebut dikonversi menjadi data digital melalui ADC (Analog-to-Digital Converter), sehingga dapat dibaca dan dimanfaatkan oleh mikrokontroler atau sistem lainnya.

Tabel 2. 2 Datasheet Sensor BMP280 [17]

Spesifikasi	Nilai
Tekanan	300–1100 hPa
Suhu	−40 °C ... +85 °C
Akurasi Tekanan Absolut	±1 hPa
Akurasi Tekanan Relatif	±0.12 hPa
Resolusi Tekanan	0.01 hPa
Resolusi Suhu	0.01 °C
Supply Voltage (VDD)	1.71 – 3.6 V
I/O Voltage (VDDIO)	1.2 – 3.6 V
Arus @1 Hz	2.7 µA (<i>mode low-power</i>)
Sleep Mode	0.1 µA
Antarmuka	I ² C, SPI
Dimensi	2.0 × 2.5 × 0.95 mm

Untuk mendukung pemahaman teknis terhadap kinerja sensor ini, berikut disajikan ringkasan spesifikasi dari BMP280 sebagaimana tercantum dalam datasheet resminya (Tabel 2.2). Spesifikasi ini memberikan gambaran mengenai rentang pengukuran, resolusi, antarmuka, serta konsumsi daya yang menjadikan sensor ini ideal untuk aplikasi monitoring cuaca berbasis mikrokontroler.

2.2.8 Sensor Kecepatan Angin (*Anemometer Berbasis Sensor Hall Effect*)



Gambar 2. 4 Sensor *Anemometer*

Gambar 2.4 memperlihatkan bentuk fisik sensor anemometer yang digunakan dalam sistem. 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. Saat angin bertiup dan memutar rotor, magnet yang menempel pada rotor akan melewati sensor dan menyebabkan perubahan medan magnet di sekitarnya. Setiap kali magnet melewati sensor, akan terbentuk pulsa listrik. Jumlah pulsa yang tercatat dalam rentang waktu tertentu berbanding lurus dengan kecepatan putaran rotor, sehingga dapat digunakan untuk menghitung kecepatan angin secara akurat. [18]

Untuk mengetahui frekuensi dari sensor anemometer, langkah pertama adalah menghitung jumlah pulsa yang terjadi dalam periode waktu tertentu. Hal ini sesuai dengan persamaan:

1. Frekuensi pulsa [19]

$$f = N / t \quad (2.1)$$

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

Frekuensi rotasi yang dihasilkan oleh anemometer memiliki hubungan linier dengan kecepatan angin. Hubungan ini dirumuskan dalam bentuk berikut:

2. Kecepatan Angin (linear)[19]

$$V = k \times f$$

$$V = \omega \times r \quad (2.2)$$

- 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)

Agar lebih mudah dibaca oleh pengguna, kecepatan dalam satuan meter per detik juga dikonversi ke kilometer per jam menggunakan rumus konversi satuan berikut:

3. Konversi ke kilometer per jam

$$V(\text{km/jam}) = V(\text{m/s}) \times 3,6 \quad (2.3)$$

- $V(\text{km/jam})$ = kecepatan angin dalam km/jam
- $V(\text{m/s})$ = 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.

2.2.9 Sensor Arah Angin (*Wind Vane* Berbasis Sensor RS232 TTL)



Gambar 2. 5 Sensor *Wind Vane*

Gambar 2.5 menunjukkan bentuk sensor wind vane yang digunakan untuk membaca arah angin. 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. [20]

Namun keunggulannya tidak berhenti di situ posisi arah angin tersebut secara internal dikonversi menjadi sinyal digital berupa kode angka antara 1 sampai 8, yang bisa dilihat pada table 2.3 :

Tabel 2. 3 Kode Sinyal Digital [20]

Kode	Arah Mata Angin
1	Utara (North)
2	Timur Laut (NE)
3	Timur (East)
4	Tenggara (SE)
5	Selatan (South)
6	Barat Daya (SW)
7	Barat (West)
8	Barat Laut (NW)

Keunggulan Sensor Wind Vane RS232–TTL

Sensor wind vane ini memiliki sejumlah kelebihan yang membuatnya sangat cocok untuk digunakan dalam sistem berbasis mikrokontroler seperti ESP32. Salah satu keunggulan utamanya adalah data arah angin yang langsung dikirim dalam bentuk digital, misalnya "*3#" yang menunjukkan arah Timur. Ini tentu sangat membantu karena tidak perlu lagi mengubah sinyal analog ke digital secara manual, sehingga proses pemrograman jadi lebih sederhana dan cepat, serta mengurangi risiko kesalahan pembacaan.

Sensor ini hanya membutuhkan dua pin komunikasi (TX dan RX), sehingga sangat menghemat penggunaan pin mikrokontroler dan cocok untuk proyek dengan banyak sensor. Berbasis komunikasi digital UART, sensor ini lebih tahan gangguan seperti interferensi listrik, dan tetap stabil meski digunakan di luar ruangan. Pemasangannya pun praktis tanpa perlu kalibrasi manual atau tambahan komponen seperti magnet, karena sudah dikodekan dari pabrik. Selain itu, sensor ini dapat langsung terhubung dengan mikrokontroler modern seperti ESP32 tanpa converter tambahan, membuat komunikasi data berjalan lancar dan efisien.

2.2.10 Sensor Curah Hujan (*Rain Gauge* Berbasis Sensor *Hall Effect*)



Gambar 2. 6 Sensor *Rain Gauge*

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 periodik untuk menghitung jumlah curah hujan secara otomatis atau semi-otomatis.[21] Prinsip kerja sensor ini adalah mengumpulkan air hujan dalam wadah tertentu dan mengukur volume atau berat air yang terkumpul. Terdapat beberapa jenis sensor curah hujan, di antaranya:

1. *Rain Gauge Tipping Bucket*: Menggunakan ember kecil yang akan miring dan mengosongkan air setelah mengisi sejumlah volume tertentu. Setiap kali ember miring, sensor menghasilkan pulsa digital yang dapat dihitung untuk menentukan jumlah curah hujan.
2. *Rain Gauge Weighing Bucket*: Mengukur berat air yang terkumpul secara langsung sehingga memberikan data curah hujan secara kontinu.
3. *Optical Rain Gauge*: Menggunakan sinar inframerah atau laser untuk mendeteksi tetesan hujan yang melewati jalur sensor.
4. *Acoustic Rain Gauge*: Mendeteksi suara tetesan hujan yang jatuh pada permukaan tertentu.

Dalam sistem *weather station* berbasis mikrokontroler, sensor curah hujan tipe *tipping bucket* sering digunakan karena kesederhanaan dan kemudahan integrasinya. Sensor ini menghasilkan pulsa digital yang dapat dibaca oleh mikrokontroler untuk menghitung jumlah tetesan hujan dan mengkonversinya menjadi nilai curah hujan dalam milimeter.

Sensor hujan tipe *tipping bucket* menghasilkan data berupa jumlah *tipping* (ayunan ember), yang dikonversi menjadi curah hujan (dalam mm) berdasarkan volume air yang ditampung dan luas penampang corong. Untuk memastikan akurasi pengukuran, dilakukan proses kalibrasi mekanis dan uji hujan buatan.

Untuk menentukan besar curah hujan yang terukur oleh sensor tipping bucket, digunakan pendekatan hubungan langsung antara jumlah ayunan ember (*tipping*) dengan volume air yang mewakili setiap *tipping*. Dengan kata lain, setiap kali ember menjungkit (mengirim pulsa), itu mewakili sejumlah tetap curah hujan. Oleh karena itu, curah hujan dapat dihitung menggunakan persamaan: [22]

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

Keterangan :

H = curah hujan (mm)

n = jumlah tipping (pulsa yang tercatat)

c = konstanta kalibrasi sensor (mm per tipping)

Dalam project ini, nilai konstanta kalibrasi ccc yang digunakan adalah 0,70 mm per tipping, yang diperoleh berdasarkan hasil kalibrasi fisik sensor. Kalibrasi dilakukan dengan mengukur volume air rata-rata yang menyebabkan satu tipping ember, kemudian membaginya dengan luas penampang corong sensor. Hasil pengukuran menunjukkan bahwa setiap tipping mewakili 0,70 mm curah hujan. Nilai ini juga digunakan secara konsisten dalam program mikrokontroler sebagai parameter milimeter_per_tip = 0.70.

Oleh karena itu, perhitungan total curah hujan pada sistem ini secara real time didasarkan pada persamaan linier $H = n \times 0.70$, yang telah diimplementasikan langsung dalam kode program dan terbukti sinkron dengan hasil pengujian lapangan.

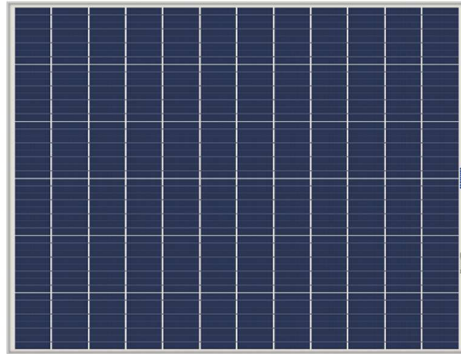
Untuk mengevaluasi akurasi pengukuran sensor curah hujan, maka dilakukan perbandingan antara hasil pembacaan sensor (CH_{ukur}) dengan data referensi ($CH_{standar}$). Persentase kesalahan (error kalibrasi) dihitung menggunakan persamaan berikut:

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

Keterangan:

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

2.2.11 Pembangkit Listrik Tenaga Surya (PLTS)



Gambar 2. 7 *Photovoltaic*

Gambar 2.7 menunjukkan salah satu komponen utama dalam sistem energi terbarukan, yaitu panel surya atau modul fotovoltaik (PV), yang berfungsi sebagai inti dari sistem 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). Energi listrik yang dihasilkan dapat langsung digunakan untuk mengoperasikan perangkat elektronik, disimpan dalam baterai, atau diatur penggunaannya melalui sistem manajemen daya. Pembangkit listrik tenaga surya (PLTS) merupakan sistem konversi energi yang mengubah energi cahaya matahari menjadi energi listrik dengan menggunakan panel surya atau modul *fotovoltaik* (PV). Teknologi ini memanfaatkan efek fotovoltaik dalam semikonduktor panel surya: ketika foton dari sinar matahari menyerap pada permukaan material seperti silikon, mereka mengeksitasi elektron dari pita valensi ke pita konduksi. Medan listrik pada persimpangan p-n sel kemudian memisahkan elektron dan hole, menghasilkan arus listrik searah (DC). [18] Energi Listrik yang dihasilkan ini dapat langsung digunakan untuk mengoperasikan perangkat elektronik, disimpan dalam baterai, atau diatur penggunaannya dengan sistem manajemen daya. [23]

Tabel 2. 4 Spesifikasi Panel Surya

Parameter	Spesifikasi Umum
Jenis sel	Polycrystalline
Daya Puncak (Pmax)	30 Wp
Tegangan Maksimum (Vmp)	17,5 V
Arus Maksimum (Imp)	1,71 A
Tegangan Tanpa Beban (Voc)	21,6 V
Dimensi	340 × 620 mm
Efisiensi	16,2 %

Langkah awal adalah menghitung total konsumsi energi dari seluruh perangkat sistem dalam satu hari. Energi ini dihitung berdasarkan daya masing-masing perangkat dikalikan dengan lama waktu operasionalnya dalam satu hari, sebagaimana ditunjukkan pada Persamaan: [23]

1. Estimasi Energi Harian Sistem

Digunakan untuk menghitung total konsumsi energi perangkat setiap harinya:

$$E_L = \sum (P_i \times t_i) \quad (2.6)$$

Keterangan :

E_L : Energi harian total (Wh/hari)

P_i : Daya perangkat ke-i (Watt)

t_i : Lama nyala perangkat per hari (jam)

Setelah mengetahui kebutuhan energi sistem, langkah selanjutnya adalah menghitung estimasi energi harian yang dapat dihasilkan oleh panel surya. Energi ini diperoleh dari hasil perkalian daya panel dengan rata-rata durasi penyinaran efektif matahari per hari. Persamaan ditunjukkan sebagai berikut:

2. Energi yang Dihasilkan Panel

$$E_{panel} = P_{panel} \times H_t \quad (2.7)$$

Keterangan :

E_{panel} : Energi yang dihasilkan panel per hari (Wh/hari)

P_{panel} : Daya panel surya (Wp)

H_t : Rata-rata jam penyinaran efektif per hari (jam)

Dengan perhitungan kebutuhan energi harian dan estimasi energi dari panel surya, pemilihan kapasitas panel dan baterai dapat dilakukan secara tepat agar sistem Weather Station dapat beroperasi mandiri dan berkelanjutan.

2.2.12 *Solar Charge Controller (SCC) Tipe PWM*



Gambar 2. 8 *Solar Charge Controller (SCC)*

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. [24]

Cara kerja PWM sebenarnya cukup sederhana namun sangat efektif. Alat ini mengalirkan listrik dari panel ke baterai dalam bentuk pulsa yang sangat cepat. Dengan mengatur lebar pulsa tersebut, Solar Charge Controller (SCC) berfungsi untuk mengatur dan membatasi tegangan serta arus listrik dari panel surya yang masuk ke baterai. Tujuannya adalah untuk mencegah overcharging (pengisian berlebih) dan overdischarging (pengosongan berlebih), serta memastikan proses pengisian berlangsung secara optimal sesuai karakteristik baterai yang digunakan.

Ketika baterai hampir penuh, pulsa akan dipersempit agar arus pengisian menjadi lebih kecil, sehingga proses pengisian tetap aman dan tidak merusak baterai.

Tahapan Pengisian Baterai oleh SCC PWM:

1. *Bulk Charging* (Pengisian Awal):

Pada tahap ini, baterai diisi dengan arus maksimum hingga mencapai batas tegangan tertentu. Ini merupakan fase pengisian cepat.

2. *Absorption Charging* (Pengisian Penyerapan):

Setelah tegangan target tercapai, alat akan menstabilkan tegangan tersebut dan secara bertahap mengurangi arus pengisian. Tujuannya adalah agar baterai terisi penuh secara aman dan optimal.

3. *Float Charging* (Pengisian Pemeliharaan)

Di tahap akhir ini, baterai dijaga agar tetap penuh dengan memberikan arus kecil secara konstan. Hal ini bertujuan untuk menjaga kestabilan daya baterai dalam jangka panjang tanpa merusaknya.

Tabel 2. 5 Spesifikasi Umum Pada SCC

Parameter	Spesifikasi Umum/Rentang Nilai
Jenis	PWM/MPPT
Tegangan Kerja Panel	12 / 24 / 48 V
Arus Output (charging)	10 – 60 A
Tegangan Input (Voc Panel Maks)	25 – 150 V tergantung model
Efisiensi MPPT (jika MPPT)	> 98%
Fitur	Proteksi overcharge, reverse polarity, short circuit

Spesifikasi di atas menunjukkan bahwa SCC memiliki fleksibilitas tegangan dan arus yang luas, serta dilengkapi fitur proteksi yang mendukung keandalan sistem PLTS.

2.2.13 Baterai LiFePO₄ (Lithium Iron Phosphate)

Lifepo4 Battery



Gambar 2. 9 Baterai Lifepo4

Baterai LiFePO₄ 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 [25].

- Karakteristik Utama Baterai LiFePO₄ (LFP)

Baterai LiFePO₄ memiliki tegangan standar sekitar 3,2 volt per sel dan biasanya bekerja di kisaran 3,0–3,3 volt. Saat penuh, tegangannya bisa mencapai 3,65 volt per sel. Meskipun kepadatan energinya (90–205 Wh/kg) lebih rendah dibanding jenis lithium-ion lain, kapasitas ini sudah cukup untuk berbagai kebutuhan seperti penyimpanan energi dan kendaraan listrik. Daya tahannya luar biasa, bisa mencapai 2.000 hingga lebih dari 7.000 siklus, bahkan 10.000 jika tidak dikosongkan sepenuhnya setiap kali. Ukurannya pun bervariasi, dari kecil hingga besar tergantung kebutuhan. Selain itu, baterai ini sangat efisien, dengan efisiensi pengisian dan pengosongan lebih dari 96%. [26]

- Keunggulan Baterai LiFePO₄

Baterai ini dikenal stabil dan aman, tidak mudah panas, terbakar, atau meledak cocok untuk penggunaan di luar ruangan. Umurnya panjang, bisa bertahan ribuan siklus tanpa kehilangan kapasitas signifikan. Tegangannya juga cukup stabil saat digunakan, membuat desain sistem lebih sederhana. LiFePO₄ juga tahan terhadap

pengosongan dalam (DOD), hingga 80–90% tanpa mempercepat kerusakan. Terakhir, baterai ini lebih ramah lingkungan dibanding jenis baterai lainnya.[26]

- Kekurangan Baterai LiFePO₄

Meski punya banyak kelebihan, baterai ini juga punya beberapa kekurangan. Kepadatan energinya lebih rendah, sehingga untuk kapasitas besar dibutuhkan ukuran fisik yang lebih besar. Tegangan per sel-nya juga lebih rendah, sehingga perlu lebih banyak sel untuk sistem bertegangan tinggi. Selain itu, harga awalnya masih tergolong mahal, meskipun biaya perawatan dan keawetannya sangat baik.[26]

Untuk memberikan gambaran teknis mengenai karakteristik baterai LiFePO₄ yang digunakan, berikut disajikan spesifikasi umumnya pada Tabel 2.6. Informasi ini membantu memahami kemampuan dan batas kerja baterai dalam sistem PLTS secara lebih menyeluruh.

Tabel 2. 6 Spesifikasi Baterai [26]

Parameter	Nilai Umum
Jenis	LiFePO ₄
Tegangan Nominal	12 V
Kapasitas	6 Ah
Tipe Deep Cycle	Rekomendasi untuk PLTS

Setelah mengetahui kebutuhan energi harian sistem, langkah berikutnya adalah menghitung kapasitas energi yang dapat disimpan oleh baterai. Energi ini dihitung berdasarkan tegangan dan kapasitas arus baterai, sebagaimana ditunjukkan pada Persamaan (2.8): [27]

Kapasitas Energi Baterai

$$E_{baterai} = V \times Ah \quad (2.8)$$

Keterangan

$E_{baterai}$: Energi total yang bisa disimpan (Wh)

V : Tegangan baterai (Volt)

Ah : Kapasitas baterai (Ampere-hour)

Selanjutnya, untuk mengetahui seberapa lama sistem dapat menyala hanya dengan menggunakan daya dari baterai (tanpa bantuan panel surya), digunakan Persamaan (2.9): Estimasi Lama Bertahan[27]

$$t = \frac{E_{baterai}}{E_L} \quad (2.9)$$

Keterangan :

t : Lama waktu sistem dapat menyala dengan baterai saja (hari atau jam)

Dengan mengetahui kapasitas energi baterai dan estimasi lama bertahan sistem, dapat dipastikan bahwa sistem tetap dapat beroperasi meskipun dalam kondisi tanpa penyinaran matahari selama beberapa hari.

2.2.14 LM 2596 Step Down



Gambar 2. 10 LM 2596

Gambar 2.10 menunjukkan modul LM2596, 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. [28]

- Keunggulan Modul LM2596

LM2596 menjaga tegangan output tetap stabil meskipun input berfluktuasi, berkat sistem feedback dan kontrol PWM internal. Efisiensinya tinggi karena menggunakan metode switching, sehingga panas lebih rendah dibandingkan regulator linier. Modul ini juga dilengkapi fitur keamanan seperti proteksi panas berlebih dan pembatas arus. Selain itu, desainnya praktis dengan hanya sedikit komponen eksternal, membuatnya mudah diterapkan dalam berbagai proyek mikrokontroler dan sistem embedded.

Untuk memberikan gambaran teknis secara ringkas mengenai kemampuan modul ini, Tabel 2.7 berikut menyajikan spesifikasi umum dari LM2596 yang banyak digunakan dalam sistem catu daya berbasis mikrokontroler.

Tabel 2. 7 Spesifikasi LM2596 [28]

Parameter	Nilai
Rentang input	3V–40V (4V–40V pada modul praktis)
Rentang output	1.23V–37V (versi <i>adjustable</i>) atau tetap (3.3V/5V/12V)
Arus output	Maksimal 3A (dengan pendingin memadai)
Efisiensi	Hingga 92% (tergantung selisih Vin-Vout)
Komponen eksternal	Hanya memerlukan 4 komponen: induktor, dioda, kapasitor input/output

Spesifikasi di atas menunjukkan bahwa LM2596 merupakan modul regulator yang efisien, fleksibel, dan mudah diaplikasikan pada berbagai kebutuhan sistem elektronik.

2.2.15 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.

LoRa dikembangkan oleh perusahaan *Semtech*, dan kini telah menjadi salah satu teknologi utama dalam sistem komunikasi *Internet of Things* (IoT) karena kemampuannya untuk menjangkau wilayah luas dengan konsumsi energi minimal. Salah satu parameter penting dalam sistem LoRa adalah *Spreading Factor* (SF), yang berkisar dari SF7 hingga SF12:

- Semakin tinggi nilai SF, maka jangkauan sinyal semakin jauh, namun kecepatan data menjadi lebih rendah.
- Sebaliknya, semakin rendah nilai SF, maka kecepatan transmisi data meningkat, tetapi jarak jangkauan sinyal menjadi lebih pendek.

Kecepatan data LoRa berkisar antara 300 bps hingga 50 kbps, tergantung pada kombinasi antara *Spreading Factor* dan *bandwidth* kanal yang digunakan.

Yang menarik, *Gateway* LoRa dapat menerima data dari beberapa perangkat secara bersamaan, meskipun masing-masing perangkat mengirimkan data dengan *spreading factor* yang berbeda-beda.

Teknologi LoRa telah muncul sebagai solusi komunikasi nirkabel yang lebih efisien dibandingkan beberapa teknologi yang lebih dahulu dikenal, seperti Bluetooth, WiFi, ZigBee, dan RFID. Fokus utama dari LoRa adalah pada jangkauan komunikasi yang sangat luas serta konsumsi daya harian yang rendah, menjadikannya sangat ideal untuk digunakan dalam aplikasi *Internet of Things* (IoT) skala besar.[29]

Tabel berikut menyajikan perbandingan antara LoRa dan beberapa teknologi nirkabel lainnya berdasarkan jangkauan, kecepatan maksimum transmisi data, dan konsumsi daya:

Tabel 2. 8 Perbandingan LoRa dengan Teknologi Nirkabel Lainnya

No	Teknologi	Jarak Jangkauan	Kecepatan Maksimum	Konsumsi Daya
1	Bluetooth	±10 meter	2 MB/s	Rendah
2	WiFi	0 – 60 meter	54 MB/s	Tinggi
3	RFID	0 – 100 meter	10 KB/s	Rendah
4	ZigBee	0 – 1500 meter	250 KB/s	Rendah
5	LoRa	0 – 15 kilometer	600 KB/s (teoritis)	Rendah

1. LoRaWan

LoRaWAN (*LoRa Wide Area Network*) adalah standar jaringan *Low Power Wide Area Network* (LPWAN) yang dikembangkan dan dikelola oleh *LoRa Alliance*. Protokol ini dirancang khusus untuk menghubungkan perangkat bertenaga baterai ke internet secara andal, baik dalam skala regional, nasional, hingga internasional. LoRaWAN dirancang untuk memenuhi berbagai kebutuhan utama dalam sistem *Internet of Things* (IoT), seperti:

- Komunikasi dua arah (dua arah antara perangkat dan server)
- Keamanan end-to-end, memastikan data tetap terenkripsi dari perangkat hingga tujuan
- Dukungan mobilitas untuk perangkat bergerak
- Layanan geolokasi tanpa perlu GPS, yang memungkinkan pelacakan posisi dengan konsumsi daya rendah

Teknologi ini beroperasi di spektrum tanpa lisensi, yaitu *Industrial, Scientific, and Medical* (ISM) band, sehingga dapat digunakan secara luas di berbagai negara tanpa memerlukan izin khusus frekuensi.

Spesifikasi LoRaWAN mencakup mekanisme komunikasi antara perangkat (node) dan infrastruktur jaringan, serta menjamin *interoperabilitas* antarperangkat dari berbagai produsen, asalkan mematuhi standar protokol yang sama.

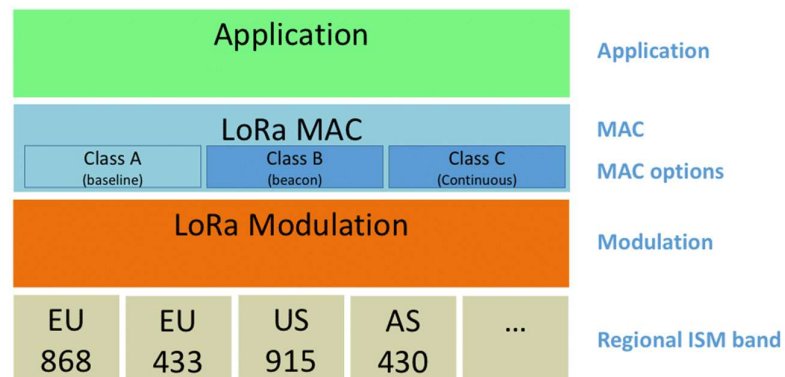
Secara arsitektural, LoRaWAN merupakan protokol jaringan yang bekerja di atas lapisan fisik LoRa, yang mengatur:

- Manajemen data
- Keamanan komunikasi
- Konfigurasi dan pengelolaan jaringan

Protokol ini memiliki pengaruh besar terhadap:

- Efisiensi konsumsi daya harian
- Kapasitas dan kepadatan jaringan
- Kualitas layanan (QoS)
- Keamanan informasi
- Jenis aplikasi IoT yang dapat diimplementasikan

Dengan kombinasi fitur tersebut, LoRaWAN menjadi solusi ideal untuk jaringan sensor berskala besar yang memerlukan komunikasi jarak jauh dan konsumsi daya rendah.



Gambar 2. 11 LoRaWAN *Layers*

Dalam sistem LoRaWAN, End Device adalah perangkat seperti sensor atau aktuator yang terhubung ke jaringan melalui modulasi radio LoRa. Umumnya, *end device* adalah sensor otonom yang menggunakan baterai, yang berfungsi untuk mendeteksi dan mengubah kondisi fisik atau lingkungan menjadi data digital, seperti suhu, kelembapan, dan tekanan.

Contoh penggunaan aktuator dalam jaringan LoRaWAN meliputi:

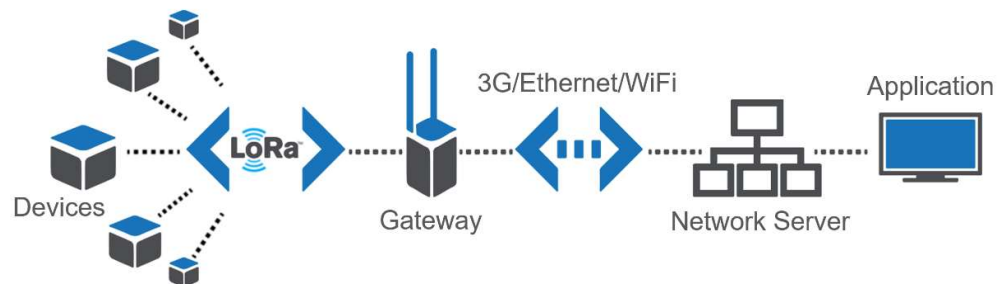
- Lampu jalan pintar
- Kunci pintu nirkabel

- Katup air otomatis
- Sensor deteksi kebocoran

Di sisi lain, *Gateway* LoRaWAN bertugas sebagai penghubung antara perangkat ujung dan jaringan LoRaWAN (LNS - LoRaWAN Network Server). *Gateway* akan menerima sinyal radio dari perangkat LoRa yang berada dalam jangkauannya, kemudian mengirimkan data tersebut ke server LoRaWAN melalui koneksi internet berbasis protokol IP (Core IP).

Berbeda dengan sistem komunikasi point-to-point, tidak ada hubungan tetap antara satu perangkat dan satu gateway. Sebaliknya, setiap uplink (data kirim) dari perangkat dapat diterima oleh beberapa gateway sekaligus dalam area yang sama. Konsep ini memberikan beberapa keunggulan penting, di antaranya:

- Mengurangi risiko kehilangan data (*packet loss*), karena banyak gateway dapat menangkap data yang sama.
- Menghemat daya baterai perangkat, karena tidak perlu mengirim ulang data berkali-kali.
- Mendukung geolokasi berbiaya rendah, selama gateway yang menerima sinyal memiliki fitur pelacakan posisi.



Gambar 2. 12 Konfigurasi *End Device* dan *Gateway*

Meskipun LoRaWAN merupakan standar protokol komunikasi yang banyak digunakan dalam sistem Internet of Things (IoT) berskala besar dan terhubung ke internet, sistem yang dirancang pada tugas akhir ini tidak menggunakan pendekatan LoRaWAN.

Sebaliknya, sistem komunikasi yang diterapkan menggunakan model LoRa Point-to-Point (P2P), yaitu pengiriman data secara langsung dari satu node pengirim

(transmitter) ke satu node penerima (receiver) tanpa melibatkan gateway, server cloud, ataupun infrastruktur jaringan LoRaWAN.

Alasan utama pemilihan model P2P adalah karena sistem ini ditujukan untuk wilayah terpencil yang belum terjangkau jaringan internet maupun infrastruktur komunikasi publik. Dengan model ini, data dari sensor cuaca dapat dikirimkan secara langsung melalui modul LoRa RA-02 dengan efisien dan konsumsi daya rendah.

Komunikasi dilakukan secara satu arah (one-way) dari transmitter ke receiver, yang kemudian diteruskan ke platform pemantauan lokal (seperti Node-RED). Meskipun sederhana, pendekatan ini terbukti andal, stabil, dan cukup untuk memenuhi kebutuhan pemantauan cuaca secara real-time dalam radius ± 2 km.

Oleh karena itu, penjelasan mengenai LoRaWAN dalam landasan teori ini disampaikan sebagai bagian dari wawasan teknologi yang lebih luas, namun tidak diimplementasikan dalam sistem alat yang dirancang.

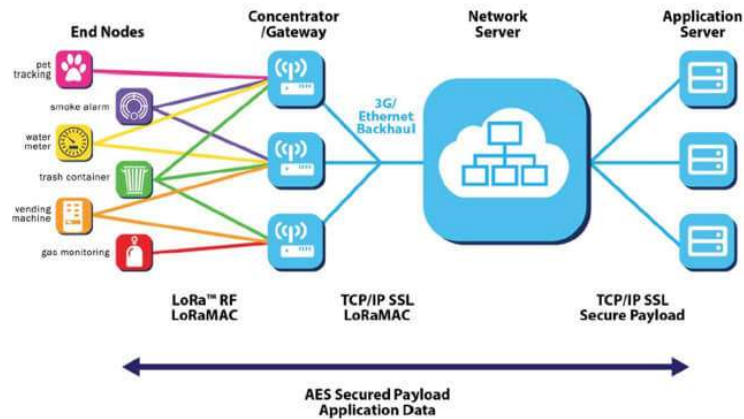
2. Arsitektur Jaringan LoRaWAN

Jaringan LoRaWAN menerapkan topologi "*star-of-stars*" (bintang dari bintang), di mana perangkat akhir (*end device*) berkomunikasi langsung dengan *gateway* melalui koneksi nirkabel. Selanjutnya, gateway meneruskan data ke LoRaWAN *Network Server* (LNS) melalui jaringan berbasis IP (*Internet Protocol*).

Salah satu keunggulan utama dari arsitektur ini dibandingkan dengan topologi mesh (seperti pada ZigBee) adalah efisiensi konsumsi daya, yang memungkinkan perangkat sensor bekerja lebih hemat energi dan bertahan lebih lama hanya dengan menggunakan daya dari baterai.

Dalam sistem ini, perangkat tidak terhubung secara eksklusif ke satu *gateway* saja. Sebaliknya, satu perangkat dapat mengirim data yang akan diterima secara bersamaan oleh beberapa *gateway* selama masih berada dalam jangkauan sinyal. Konsep ini meningkatkan keandalan jaringan, mengurangi risiko kehilangan data, serta mendukung komunikasi yang lebih stabil.

Architecture



Gambar 2. 13 Arsitektur LoRaWAN

Dalam jaringan LoRaWAN, perangkat end node tidak memiliki koneksi langsung ke satu gateway tertentu. Sebaliknya, ketika perangkat mengirimkan data, paket data tersebut dapat diterima oleh beberapa gateway sekaligus yang berada dalam jangkauan sinyal.

Setiap gateway yang menerima paket tersebut kemudian akan meneruskan data ke LoRaWAN *Network Server* (LNS) yang berbasis cloud. Proses pengiriman dari gateway ke server dilakukan melalui berbagai jenis backhaul, seperti:

- Jaringan seluler (3G/4G/5G)
- Koneksi Ethernet
- Jaringan satelit
- Wi-Fi

Dengan sistem ini, peluang data berhasil diterima oleh server menjadi lebih tinggi, karena didukung oleh banyak jalur komunikasi. Hal ini menjadikan arsitektur LoRaWAN lebih andal dan tahan terhadap gangguan, baik dari sisi jaringan maupun kondisi lapangan.

3. Modulasi pada LoRaWAN

Modulasi adalah proses mengubah parameter dari sinyal pembawa (carrier) untuk membawa informasi digital maupun analog. Pada lapisan fisik (physical layer)

jaringan LoRa, digunakan teknik modulasi khusus yang dikenal sebagai *Chirp Spread Spectrum* (CSS).

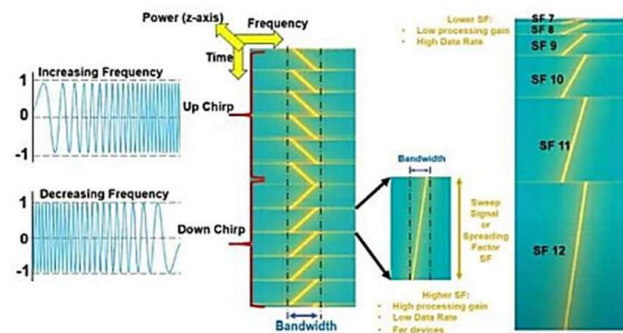
Teknik CSS merupakan salah satu jenis *spread spectrum modulation*, yaitu teknik modulasi di mana sinyal informasi disebarkan ke spektrum frekuensi yang lebih luas. Cara ini memungkinkan banyak perangkat untuk berkomunikasi secara bersamaan (*multiple access*) tanpa saling mengganggu antar transmisi.

Teknologi CSS ini bersifat eksklusif dan dikembangkan oleh perusahaan *Semtech*, serta menjadi fondasi utama dari sistem komunikasi LoRa.

Beberapa keunggulan utama dari teknik modulasi CSS pada LoRa meliputi:

- Jangkauan komunikasi yang luas serta tingkat sensitivitas penerimaan sinyal yang tinggi, memungkinkan komunikasi tetap berlangsung meskipun sinyal lemah.
- Link budget yang besar, yaitu selisih antara daya pancar maksimum dengan sensitivitas penerima, menjadikan LoRa sangat cocok untuk area dengan kondisi sinyal yang tidak stabil.
- Tahan terhadap interferensi dari sinyal lain yang berada di frekuensi yang sama.
- Efisiensi komunikasi yang tinggi, menjadikannya ideal untuk aplikasi *Internet of Things* (IoT) yang mengandalkan daya baterai rendah.
- Kebal terhadap efek multipath dan fading, yaitu gangguan akibat pantulan sinyal dan perbedaan waktu antara sinyal langsung dan sinyal pantulan.

Dengan kombinasi keunggulan ini, teknik modulasi LoRa mampu mendukung komunikasi nirkabel jarak jauh yang efisien, bahkan dalam lingkungan yang memiliki banyak gangguan sinyal.



Gambar 2. 14 Ilustrasi LoRa *Chirp Spread Spectrum*

Pada Gambar 2.14, terdapat dua jenis sinyal chirp yang digunakan dalam sistem LoRa, yaitu:

- *Up-chirp*: frekuensi sinyal meningkat secara bertahap dari rendah ke tinggi.
- *Down-chirp*: frekuensi sinyal menurun dari tinggi ke rendah.

Penggunaan metode *chirp spread spectrum* memberikan sejumlah manfaat penting, salah satunya adalah kemampuan untuk melakukan sinkronisasi waktu dan frekuensi antara pemancar dan penerima secara lebih presisi, sehingga kompleksitas desain pada sisi penerima menjadi lebih sederhana dan efisien.

Lebar pita (*bandwidth*) dari sinyal *chirp* sebanding dengan lebar spektrum sinyal yang digunakan, menjadikan metode ini efisien dalam pemanfaatan spektrum frekuensi.

Adapun proses transmisi data dalam sistem LoRa dilakukan melalui beberapa tahap berikut:

- Data dari perangkat *end device* dimodulasi menggunakan sinyal chirp sebagai pembawa.
- Sebelum dikirimkan, data akan disebar (spread) agar dapat ditransmisikan pada kecepatan data yang lebih tinggi, bergantung pada pengaturan *bandwidth* dan *spreading factor*

Selain itu, modulasi LoRa juga mengimplementasikan skema koreksi kesalahan (*error correction*) yang bersifat adaptif. Sebagai contoh:

- Untuk setiap 4 bit informasi, ditambahkan 1 bit tambahan sebagai bit paritas.
- Tujuan dari koreksi kesalahan ini adalah untuk meningkatkan keandalan komunikasi, serta mengurangi kemungkinan kesalahan saat penerimaan data.

Dengan kombinasi antara metode chirp dan sistem koreksi kesalahan ini, LoRa mampu menghadirkan solusi komunikasi data yang andal, hemat energi, dan tetap stabil meskipun digunakan dalam lingkungan dengan interferensi atau sinyal yang tidak stabil.

4. Alokasi Frekuensi LoRaWAN

Penggunaan frekuensi pada jaringan LoRaWAN disesuaikan secara khusus dengan peraturan spektrum radio di setiap negara atau kawasan. Hal ini dikarenakan setiap wilayah memiliki alokasi frekuensi dan kebijakan yang berbeda, sehingga parameter teknis seperti frekuensi kerja, daya pancar maksimum, dan *duty cycle* dapat bervariasi tergantung pada aturan lokal.

Secara global, LoRaWAN umumnya menggunakan frekuensi tanpa lisensi yang berada di dalam pita ISM (*Industrial, Scientific, and Medical*). Berikut adalah contoh alokasi frekuensi LoRaWAN di beberapa wilayah:

- 868 MHz → digunakan di kawasan Eropa (mengacu pada standar ETSI)
- 915 MHz → digunakan di Amerika Utara
- 433 MHz dan 920–923 MHz → digunakan di beberapa negara Asia, termasuk Indonesia
- 865–867 MHz → digunakan di kawasan Asia Selatan, seperti India

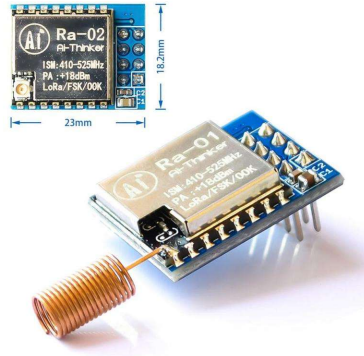
Pemilihan frekuensi tersebut diatur agar tidak mengganggu layanan radio lain, serta tetap sesuai dengan batasan waktu transmisi dan daya pancar yang diizinkan, guna menjaga efisiensi energi dan keandalan komunikasi.

Dengan mengikuti alokasi frekuensi yang sesuai, sistem LoRaWAN dapat beroperasi secara legal, efisien, dan minim interferensi terhadap perangkat atau sistem lain yang bekerja di frekuensi serupa.

	Europe	North America	China	Korea	Japan	India
Frequency band	867-869MHz	902-928MHz	470-510MHz	920-925MHz	920-925MHz	865-867MHz
Channels	10	64 + 8 + 8	In definition by Technical Committee	In definition by Technical Committee	In definition by Technical Committee	In definition by Technical Committee
Channel BW Up	125/250kHz	125/500kHz				
Channel BW Dn	125kHz	500kHz				
TX Power Up	+14dBm	+20dBm typ (+30dBm allowed)				
TX Power Dn	+14dBm	+27dBm				
SF Up	7-12	7-10				
Data rate	250bps- 50kbps	960bps-21.9kbps				
Link Budget Up	155dB	154dB	In definition by Technical Committee	In definition by Technical Committee	In definition by Technical Committee	In definition by Technical Committee
Link Budget Dn	155dB	157dB				

Gambar 2. 15Alokasi Frekuensi LoRaWAN di Berbagai Negara

2.2.16 Modul LoRa RA-02



Gambar 2. 16 LoRa Ra R02

Gambar berikut memperlihatkan bentuk fisik modul LoRa RA-02 dan RA-01, yang umum digunakan dalam sistem komunikasi nirkabel berbasis Internet of Things (IoT). LoRa (Long Range) adalah teknologi komunikasi nirkabel jarak jauh yang hemat daya, sangat cocok untuk aplikasi IoT seperti pemantauan lingkungan, pertanian pintar, dan kota cerdas. Salah satu modul populer yang menggunakan teknologi ini adalah LoRa RA-02 dari AI-Thinker, yang beroperasi pada frekuensi 433 MHz dengan chip Semtech SX1278. Modul ini memiliki sensitivitas tinggi hingga -148 dBm dan daya pancar $+20$ dBm, memungkinkan komunikasi hingga 10 km dalam kondisi ideal, serta tetap efisien saat digunakan dengan sumber daya baterai atau panel surya. [30]

Karakteristik Utama RA-02

- Frekuensi Operasi: 433 MHz
- Jarak Komunikasi: 5–10 km (Line-of-Sight)
- Tegangan Operasi: 1.8–3.7 V (umumnya 3.3 V)
- Antarmuka: SPI
- Data Rate: hingga 300 kbps
- Fitur Tambahan: CRC, FEC, deteksi header otomatis

Teknologi dan Arsitektur Jaringan

RA-02 menggunakan modulasi Chirp Spread Spectrum (CSS), yang memungkinkan transmisi data jarak jauh dengan daya rendah. Kecepatan transfer data tergantung pada Spreading Factor (SF) dan Bandwidth (BW). Dalam praktiknya, LoRa sering digunakan dalam jaringan LoRaWAN, di mana sensor (end device) mengirimkan data ke gateway, lalu diteruskan ke server melalui internet atau jaringan lokal. Arsitektur ini efisien, hemat daya, dan mampu menangani ribuan perangkat.

Keunggulan LoRa RA-02

Modul LoRa RA-02 memiliki sejumlah keunggulan utama yang menjadikannya sangat ideal untuk berbagai aplikasi Internet of Things (IoT). Salah satu keunggulannya adalah jangkauan komunikasi yang sangat luas, jauh melampaui teknologi nirkabel lainnya seperti Wi-Fi, ZigBee, atau Bluetooth. Selain itu, modul ini hemat daya, sehingga sangat cocok untuk perangkat yang ditenagai oleh baterai dan membutuhkan masa pakai panjang. Tidak hanya itu, LoRa RA-02 juga memiliki skala penggunaan yang fleksibel dan mudah diintegrasikan ke dalam berbagai sistem, baik untuk keperluan rumah pintar, industri, pertanian, maupun kota cerdas.

Untuk melengkapi pemahaman teknis mengenai modul LoRa RA-02, berikut disajikan Tabel 2.9 yang memuat spesifikasi umum berdasarkan datasheet resmi sebagai acuan dalam perancangan dan implementasi sistem komunikasi LoRa.

Tabel 2. 9 Datasheet Module LoRa RA-02[31]

Parameter	Nilai
Frekuensi	410–525 MHz (umumnya 433)
Data Rate	0.018–300 kbps
Sensitivitas	–148 dBm
Tx Power	hingga +20 dBm
Tegangan	1.8–3.7 V (umumnya 3.3 V)
Arus Rx	±10–12 mA

Arus Tx (+20 dBm)	± 120 mA
Suhu	$-40^{\circ}\text{C} \dots +85^{\circ}\text{C}$

Spesifikasi tersebut menunjukkan bahwa modul LoRa RA-02 memiliki jangkauan komunikasi yang luas dan konsumsi daya rendah, sehingga sangat ideal untuk aplikasi transmisi data jarak jauh seperti sistem monitoring berbasis IoT.

2.2.17 Antena

Dalam sistem komunikasi nirkabel LoRa (Long Range), antena memiliki peran vital sebagai jembatan antara sinyal digital dari mikrokontroler dan gelombang elektromagnetik yang bergerak melalui udara. Proses ini bekerja secara dua arah: saat modul transmitter mengirimkan data dari sensor, antena berfungsi untuk memancarkan sinyal tersebut ke lingkungan sekitar. Sebaliknya, di sisi penerima, antena bertugas menangkap sinyal yang datang agar dapat diterjemahkan kembali menjadi data digital [32]. Untuk mendukung kestabilan dan jangkauan transmisi data pada sistem Weather Station, pemilihan dan penempatan antena harus dirancang secara tepat.

Sistem ini menggunakan dua jenis antena yang berbeda namun saling melengkapi, yaitu:

- Antena 12 dBi 433 MHz SMA Male, digunakan pada transmitter.
- Antena 8 dBi 433 MHz SMA Male, digunakan pada receiver.

Antena 12 dBi pada Transmitter



Gambar 2. 17 Antena 12DBI 433MHZ

Gambar 2.17 menunjukkan antena 12 dBi 433 MHz, yang termasuk jenis antena directional atau terarah. Antena ini memfokuskan sinyal ke satu arah dengan pola radiasi horizontal yang sempit, sehingga sangat efektif untuk komunikasi jarak jauh dalam sistem point-to-point. Dengan desain high-gain, antena ini mampu menjangkau lebih jauh dibandingkan antena omnidirectional, namun memerlukan penyelarasan arah yang presisi. Sudut pancarannya yang sempit, biasanya kurang dari 30 derajat, membuatnya harus dipasang pada posisi tinggi dan tegak lurus untuk menghindari gangguan sinyal dari objek sekitar dan memastikan sinyal diterima secara optimal.

Antena 8 dBi pada Receiver



Gambar 2. 18 Antena 8DBI 433MHZ

Gambar 2.18 memperlihatkan antena 8 dBi 433 MHz yang digunakan pada sisi penerima sistem LoRa. Antena ini bersifat semi-directional, artinya tetap memiliki penguatan sinyal cukup tinggi namun dengan pola radiasi yang lebih lebar dibanding antena directional. Dengan sudut tangkap sekitar 60° – 80° , antena ini lebih toleran terhadap perubahan posisi transmitter dan arah datang sinyal, sehingga cocok digunakan di lapangan terbuka yang dinamis. Selain itu, desainnya ramping dan lurus (rod-type) memudahkan pemasangan langsung pada modul mikrokontroler tanpa perlu struktur tambahan. Kombinasi antara antena 12 dBi directional di sisi pemancar dan antena 8 dBi semi-directional di sisi penerima menjadi strategi efektif untuk memperkuat jangkauan komunikasi LoRa, meningkatkan stabilitas sinyal, serta menjaga efisiensi daya dan kesederhanaan instalasi.

2.2.18 UPS Module Baterai



Gambar 2. 19 UPS Module 18650 5V 3A

UPS (Uninterruptible Power Supply) adalah perangkat yang menyediakan listrik cadangan saat terjadi gangguan pada sumber utama, menjaga kestabilan daya agar sistem tetap berjalan tanpa interupsi. Dalam sistem receiver stasiun cuaca, modul UPS berperan penting agar perangkat tetap aktif saat listrik padam, sekaligus memberikan portabilitas. Modul dengan output 5V dan arus hingga 3A cocok untuk mikrokontroler seperti ESP32 yang membutuhkan daya stabil dan efisien. Komponen utama UPS meliputi rectifier/charger, baterai, inverter, dan static switch, yang bekerja bersama untuk mengatur aliran daya dari sumber utama ke cadangan secara otomatis dan tanpa gangguan. [33]

Untuk mendukung perancangan sistem yang andal, Tabel 2.10 berikut menyajikan spesifikasi teknis dari modul UPS yang digunakan sebagai referensi utama dalam pengembangan sistem catu daya cadangan.

Tabel 2. 10 Spesifikasi Umum [33]

Parameter	Spesifikasi Umum (Waveshare UPS 3S)
Baterai	2 × 18650 Li-ion (seri)
Input Pengisian	12.6 V = 2 A adapter
Output Utama (5 V)	5 V = 5 A (USB / header)
Output 3.3 V	3.3 V = 0.3 A regulator onboard
Fitur Proteksi	Overcharge, over-discharge, over-current, short-circuit, reverse polarity
Komunikasi & Monitoring	I ² C (monitor tegangan, arus, status)

Dimensi	60 × 93 mm (board tanpa penutup)
Status Indikator	LED peringatan level baterai
Aplikasi Umum	Raspberry Pi, ESP32, IoT, sensor node

Spesifikasi tersebut menunjukkan bahwa modul UPS ini cukup andal untuk menjaga kestabilan suplai daya, terutama dalam sistem monitoring yang memerlukan operasi tanpa henti.

2.2.19 Adaptor 5V 3A Type C



Gambar 2. 20 Adaptor 5V Type C

Gambar 2.20 menunjukkan adaptor 5V Type C yang digunakan sebagai sumber daya utama dalam sistem stasiun cuaca. Adaptor ini berfungsi mengubah arus listrik AC dari jaringan rumah tangga menjadi arus DC 5V yang stabil, sesuai dengan kebutuhan perangkat elektronik seperti receiver berbasis mikrokontroler dan modul UPS. Dalam sistem ini, adaptor berperan ganda: sebagai penyedia daya langsung untuk unit receiver, sekaligus sebagai pengisi ulang baterai UPS agar sistem tetap aktif saat terjadi pemadaman listrik.

Proses kerja adaptor melibatkan tahapan konversi tegangan tinggi (110–240V AC) menjadi tegangan rendah 5V DC, dilanjutkan dengan penyearahan dan stabilisasi arus agar output tetap konsisten dan aman. Dengan kapasitas keluaran 5V/3A, adaptor ini mendukung kelancaran transmisi data serta menjamin baterai UPS selalu siap digunakan, menjadikannya komponen penting dalam menjaga keandalan sistem monitoring cuaca secara berkelanjutan.

2.2.20 Arduino IDE



Gambar 2. 21 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. [34]

Arduino IDE dikembangkan menggunakan bahasa pemrograman Java dan telah dilengkapi dengan library C/C++ (*wiring*). Library ini berfungsi untuk menyederhanakan interaksi dengan perangkat keras mikrokontroler, seperti:

- Pembacaan data dari sensor
- Pengendalian aktuator (motor, LED, relay, dll)
- Komunikasi serial antar perangkat

Fungsi Utama Arduino IDE

Beberapa fungsi utama dari Arduino IDE antara lain:

- Menulis dan menyusun kode program
- Mengompilasi kode menjadi format biner yang dapat dimengerti mikrokontroler
- Mengunggah (upload) program langsung ke board Arduino melalui koneksi USB

Arduino IDE mendukung berbagai jenis board seperti Arduino Uno, Mega, Nano, hingga ESP32, serta memungkinkan pengguna menambahkan board tambahan melalui fitur Board Manager.

1. Struktur Utama Pemrograman Arduino

Dalam pemrograman Arduino, terdapat tiga komponen utama yang menjadi dasar dalam penyusunan kode program, yaitu: struktur program, variabel, dan fungsi. Di antara ketiganya, struktur program merupakan bagian paling mendasar, yang terdiri atas dua bagian utama: `setup()` dan `loop()`.

Fungsi `setup()`

Fungsi `setup()` adalah bagian dari program yang dijalankan satu kali saja, yaitu saat Arduino pertama kali dinyalakan atau setelah dilakukan reset. Fungsi ini digunakan untuk melakukan inisialisasi awal terhadap perangkat keras atau komunikasi, seperti:

- Mengatur mode pin (sebagai input atau output)
- Memulai komunikasi serial (contoh: `Serial.begin(9600);`)
- Menyiapkan sensor, aktuator, atau perangkat tambahan lainnya

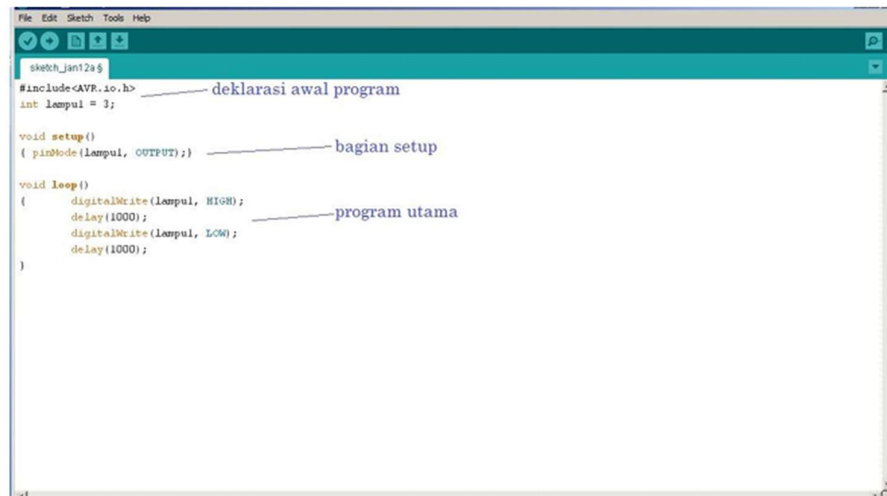
Walaupun tidak berisi instruksi apapun, fungsi `setup()` tetap wajib ada agar program dapat dikompilasi dan dijalankan dengan benar.

Fungsi `loop()`

Fungsi `loop()` merupakan bagian inti dari program yang akan dijalankan berulang kali secara terus-menerus selama Arduino menyala. Fungsi ini memungkinkan Arduino merespons masukan secara real-time dan melakukan berbagai tindakan berdasarkan logika yang telah ditentukan. Beberapa peran dari fungsi `loop()` antara lain:

- Membaca data dari sensor atau input lain
- Mengeluarkan output seperti menyalakan LED atau mengaktifkan motor
- Menjalankan logika perulangan, pengkondisian, serta komunikasi data

Setelah satu siklus eksekusi selesai, fungsi `loop()` akan langsung dimulai kembali dari awal, menjadikan program berjalan terus-menerus.



Gambar 2. 22 Struktur Program Arduino IDE

2. Variabel

Dalam pemrograman Arduino, variabel berfungsi sebagai tempat penyimpanan nilai yang dapat digunakan dan dimodifikasi selama program berlangsung. Penggunaan variabel sangat penting karena memungkinkan program menyimpan data sementara, seperti nilai pembacaan sensor, status logika, atau waktu proses. Hal ini membuat program menjadi lebih dinamis, fleksibel, dan efisien.

Setiap variabel harus dideklarasikan terlebih dahulu dengan tipe data tertentu, sesuai dengan jenis nilai yang akan disimpan. Berikut ini adalah jenis-jenis variabel yang umum digunakan dalam pemrograman Arduino, lengkap dengan karakteristik dan contohnya:

a. int (Integer)

Digunakan untuk menyimpan bilangan bulat tanpa angka desimal.

- Ukuran memori: 2 byte (16 bit)
- Rentang nilai: -32.768 hingga 32.767
- Contoh deklarasi:
int suhu = 25;

b. long

Dipakai ketika nilai bilangan bulat lebih besar dari yang bisa ditampung int.

- Ukuran memori: 4 byte (32 bit)
- Rentang nilai: $-2.147.483.648$ hingga $2.147.483.647$
- Contoh deklarasi:
`long totalWaktu = 100000;`

c. boolean

Tipe data logika yang hanya menyimpan dua nilai: true (benar) atau false (salah).

- Ukuran memori: 1 bit
- Fungsi: Sangat efisien untuk pengambilan keputusan logis
- Contoh deklarasi:
`boolean statusSensor = true;`

d. float

Digunakan untuk menyimpan bilangan desimal (floating point), seperti hasil pembacaan suhu atau tegangan.

- Ukuran memori: 4 byte (32 bit)
- Rentang nilai: $\pm 3.4028235 \times 10^{38}$
- Contoh deklarasi:
`float suhu = 26.75;`

e. char (Character)

Digunakan untuk menyimpan satu karakter tunggal berdasarkan kode ASCII.

- Ukuran memori: 1 byte (8 bit)
- Contoh karakter: 'A', '1', '?'
- Contoh deklarasi:
`char huruf = 'A';`

Fungsi-Fungsi Penting dalam Pemrograman Arduino

Dalam pemrograman Arduino, terdapat berbagai fungsi bawaan (*built-in functions*) yang dapat digunakan untuk mengakses fitur perangkat keras dan melakukan berbagai operasi. Fungsi-fungsi ini dibagi dalam beberapa kategori utama:

Fungsi Analog I/O

Fungsi-fungsi ini digunakan untuk membaca atau menghasilkan sinyal analog:

- `analogReference(type)`
Mengatur referensi tegangan untuk pembacaan analog.
- `int analogRead(pin)`
Membaca nilai analog dari pin input tertentu (nilai antara 0–1023).
- `analogWrite(pin, value)`
Menghasilkan sinyal PWM (Pulse Width Modulation) pada pin output, dengan nilai value antara 0–255.

Fungsi Waktu

Fungsi-fungsi ini digunakan untuk mengatur waktu jeda dan mengukur waktu berjalan:

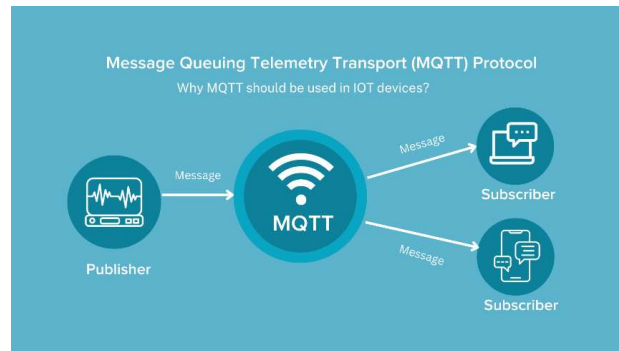
- `unsigned long millis()`
Mengembalikan waktu (dalam milidetik) sejak Arduino mulai dijalankan.
- `delay(ms)`
Memberhentikan eksekusi program selama waktu tertentu (milidetik).
- `delayMicroseconds(us)`
Menunda eksekusi dalam satuan mikrodetik.

Fungsi Matematika

Fungsi-fungsi ini digunakan untuk melakukan perhitungan dasar:

- `min(x, y)`
Mengembalikan nilai terkecil antara x dan y.
- `max(x, y)`
Mengembalikan nilai terbesar antara x dan y.
- `abs(x)`
Mengembalikan nilai absolut dari x.
- `sqrt(x)`
Mengembalikan akar kuadrat dari x.
- `pow(base, exponent)`
Mengembalikan nilai base pangkat exponent.

2.2.21 MQTT Broker



Gambar 2. 23 MQTT Broker

Gambar 2.23 berikut memperlihatkan skema kerja 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. MQTT berjalan di atas TCP/IP, sehingga mampu menjaga keandalan pengiriman data meskipun koneksi tidak stabil atau bandwidth terbatas. Dalam praktiknya, klien dapat mem-publish data ke suatu topik, atau subscribe ke topik tertentu untuk menerima data dari broker secara real-time. [35]

Struktur dan Cara Kerja MQTT

MQTT menggunakan struktur komunikasi berbasis *publish-subscribe*, yang terdiri dari tiga komponen utama:

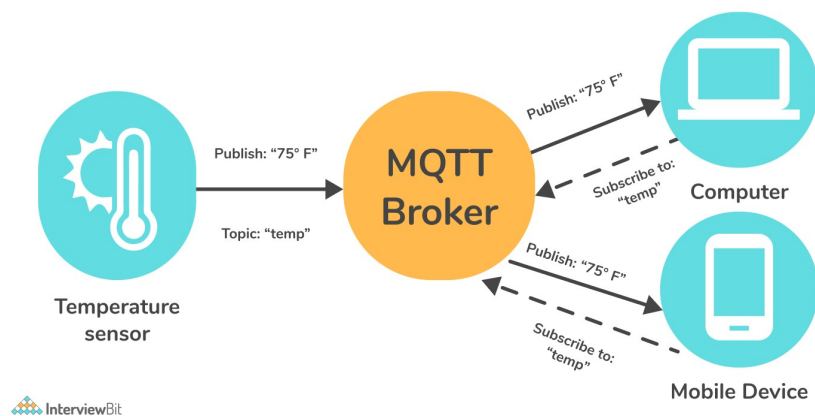
- *Publisher*: Perangkat atau aplikasi yang mengirimkan pesan ke broker dengan menggunakan topik tertentu.
- *Subscriber*: Perangkat atau aplikasi yang berlangganan pada topik tertentu dan akan menerima pesan dari broker saat ada pembaruan pada topik tersebut.
- *Broker*: *Server* pusat yang aktif menerima pesan dari *publisher*, kemudian mendistribusikannya ke seluruh *subscriber* yang berlangganan pada topik terkait.

- Topik (*Topic*): Merupakan label atau jalur klasifikasi pesan yang digunakan untuk mengelompokkan informasi, sehingga *subscriber* hanya menerima data yang sesuai dengan minat atau kebutuhannya.

Alur Kerja MQTT

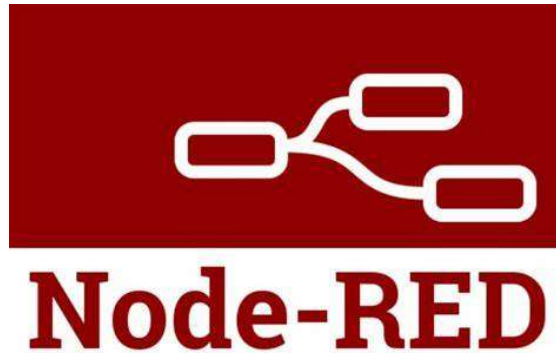
- Publisher mengirimkan pesan ke broker berdasarkan topik tertentu.
- Broker menerima pesan tersebut dan memeriksa daftar *subscriber* yang berlangganan pada topik tersebut.
- Broker kemudian mengirimkan pesan tersebut ke semua *subscriber* yang relevan.
- *Subscriber* menerima pesan tanpa harus mengetahui siapa pengirim (*publisher*)-nya.

Model ini memungkinkan pengiriman dan penerimaan data dilakukan tanpa koneksi langsung dan terus-menerus, baik dari sisi lokasi, waktu, maupun sinkronisasi. Dengan demikian, sistem komunikasi menjadi lebih fleksibel, efisien, dan mudah dikembangkan secara besar-besaran (skalabel).



Gambar 2. 24 MQTT Real Protocol

2.2.22 Node-Red



Gambar 2. 25 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).[36]

Setiap flow di dalam Node-RED terdiri dari kumpulan node yang saling terhubung dan bekerja secara berurutan. Masing-masing node memiliki fungsi spesifik, seperti membaca data dari sensor, memproses data, mengirim notifikasi, atau menyimpan informasi ke dalam basis data.

Meskipun awalnya dikembangkan untuk aplikasi IoT, Node-RED bersifat fleksibel dan dapat dimanfaatkan dalam berbagai jenis aplikasi lainnya, seperti otomasi rumah (*home automation*), integrasi sistem, analisis data, serta pengembangan layanan berbasis web.

Nama "Node" dalam Node-RED merujuk pada fakta bahwa alat ini dikembangkan menggunakan platform Node.js, yaitu sebuah lingkungan runtime JavaScript berbasis server. Dalam konteks ini, istilah "node" mengacu pada elemen-elemen yang membentuk alur kerja (flow), di mana setiap elemen bertindak sebagai titik logika atau eksekusi tugas tertentu.

1. Instal Node RED

Cara paling sederhana dan umum digunakan untuk menginstal Node-RED adalah melalui *Node Package Manager* (NPM), yaitu manajer paket bawaan dari Node.js. Dengan menggunakan NPM, proses instalasi dapat dilakukan dengan cepat melalui perintah terminal, dan memastikan semua dependensi terpasang dengan benar.

```
sudo npm install -g --unsafe-perm node-red
```

Anda tidak diwajibkan menggunakan NPM versi 1.x untuk menginstal Node-RED. Anda dapat memperbarui NPM ke versi 2.x atau versi terbaru dengan perintah berikut:

```
sudo npm install -g npm@2.x
```

Penggunaan `sudo` diperlukan apabila Anda menjalankan perintah ini sebagai pengguna non-root pada sistem operasi Linux atau macOS (OS X).

Jika Anda menggunakan Windows, jalankan perintah tersebut melalui *Command Prompt* (CMD) sebagai Administrator, tanpa perlu menggunakan perintah `sudo`.

2. Node dan Jenis-Jenisnya pada Node-RED

Node-RED menyediakan berbagai jenis node siap pakai yang memungkinkan pengguna mengembangkan aplikasi dengan cara yang lebih efisien dan produktif, tanpa harus menulis seluruh kode secara manual dari awal.

Sebagai contoh, pada Gambar 2.24 ditampilkan beberapa jenis node input dan output yang umum digunakan, antara lain:

- Node MQTT (input dan output): Digunakan untuk berlangganan (subscribe) dan menerima pesan dari suatu topik MQTT, serta untuk mengirimkan data ke broker MQTT yang sesuai.
- Node HTTP: Memungkinkan pengguna untuk membangun layanan berbasis web, dengan menangani permintaan (request) dan balasan (response) melalui protokol HTTP.
- Node TCP dan UDP: Digunakan untuk membangun server jaringan, menerima input dari koneksi TCP/UDP, dan mengirimkan data keluar menggunakan protokol TCP atau UDP.

Dengan berbagai jenis node ini, Node-RED sangat fleksibel dalam mengintegrasikan berbagai sumber data dan protokol komunikasi, sehingga cocok untuk berbagai aplikasi *Internet of Things* (IoT) dan otomasi sistem.



Gambar 2. 26 Input node dan output node di Node-RED