

BAB II

LANDASAN TEORI

2.1 Tinjauan Pustaka

Gagasan dan mengenai penulisan 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. Sistem Monitoring Lingkungan Berbasis Mikrokontroler

Sistem monitoring lingkungan berbasis mikrokontroler adalah suatu perangkat yang dirancang untuk mendeteksi, mencatat, dan menginformasikan kondisi lingkungan di suatu area tertentu secara otomatis. Sistem ini memiliki kemampuan untuk memantau berbagai parameter lingkungan seperti suhu, kelembabpan, kadar gas berbahaya (CO dan NO) serta konsentrasi partikel udara seperti PM2.5. Data tersebut sangat penting dalam mendukung upaya menjaga kesehatan lngkungan dan kualitas hidup manusia. Dalam sistem ini, mikrokontroler bertindak sebagai otak dari keseluruhan rangkaian, mengelola input dari sensor-sensor yang terhubung, mengolah data, dan mengirimkan informasi hasil pemantauan ke perangkat output atau penyimpanan data, baik secara local maupun melalui jaringan nirkabel. Mikrokontroler seperti ESP32 digunakan karena memiliki konektivitas Wi-Fi dan Bluetooth, serta memiliki performa tinggi dengan konsumsi daya yang rendah. Sistem monitoring lingkungan dapat membantu pemantauan kualitas udara di daerah padat penduduk karena bisa digunakan sebagai sistem peringatan dini [3].

2. Penggunaan Internet of Things (IoT) dan PLTS untuk sistem monitoring lingkungan

Internet of Things (IoT) dalam system monitoring lingkungan telah berkembang pesat karena kemampuannya dalam melakukan pemantauan secara real-time dan pengambilan data otomatis dari berbagai sensor. Dengan mengintegrasikan IoT dan sumber energi terbarukan seperti Pembangkit Listrik tenaga Surya (PLTS), sistem monitoring menjadi lebih mandiri dan efisien, terutama untuk Lokasi yang tidak terjangkau jaringan listrik konvesional. Sistem

monitoring berbasis IoT juga dapat dipadukan dengan modul sensor arus dan tegangan untuk memantau performa panel surya. Sistem dapat menghitung efisiensi kerja panel surya harian berdasarkan data arus dan tegangan yang masuk ke beban. Penggunaan PLTS sebagai sumber energi memastikan perangkat monitoring tetap aktif meskipun tidak ada pasokan listrik dari PLN [4]

3. Transmisi Data Sistem Monitoring Menggunakan LoRa

Sistem monitoring lingkungan modern sangat bergantung pada kemampuan transmisi data jarak jauh secara efisien dan andal. Teknologi komunikasi yang banyak digunakan untuk keperluan ini adalah LoRa (Long Range Radio). LoRa merupakan nikabel berbasis modulasi spread spectrum yang memungkinkan dapat mengirimkan data dalam jarak jauh (hingga 10 km di area terbuka) dengan konsumsi daya yang rendah. Dalam monitoring lingkungan LoRa digunakan untuk mengirimkan data dari sensor yang di proses ESP32, ke gateway atau pusat untuk di finalisasi dan ditampilkan [5]

2.2 Dasar Teori

2.2.1 Lingkungan

Lingkungan merupakan kesatuan ruang yang mencakup semua benda, daya, kondisi, dan makhluk hidup, termasuk manusia dan perilakunya, yang memengaruhi kelangsungan hidup serta kesejahteraan manusia dan makhluk lainnya. Salah satu komponen penting dalam lingkungan adalah udara, yang kualitasnya sangat mempengaruhi kesehatan dan kenyamanan makhluk hidup. Kualitas udara ditentukan oleh konsentrasi polutan di atmosfer, seperti gas karbon monoksida (CO), nitrogen dioksida (NO₂), dan partikel-partikel halus seperti PM_{2.5}. Paparan jangka panjang terhadap polutan ini dapat menyebabkan gangguan pernapasan, penyakit kardiovaskular, dan berbagai dampak negatif lainnya pada kesehatan manusia. Oleh karena itu, pemantauan kualitas udara secara real-time menjadi penting untuk mendeteksi dan mencegah risiko tersebut sedini mungkin [1]

2.2.2 Gas Karbon Monoksida (CO)

Karbon monoksida (CO) Merupakan gas yang tidak memiliki warna, bau, maupun rasa sehingga keberadaannya sulit terdeteksi secara inderawi. Gas ini

dihasilkan dari proses pembakaran bahan bakar fosil yang tidak berlangsung sempurna, seperti bensin, solar, kayu, maupun Batubara. Sumber emisi CO yang umum berasal dari kendaraan bermotor, peralatan rumah tangga berbahan bakar gas, serta aktivitas industri [1]

Paparan gas CO dalam konsentrasi tertentu dapat sangat berbahaya bagi Kesehatan manusia karena CO memiliki afinitas yang tinggi terhadap hemoglobin, yang menghambat kemampuan darah untuk mengangkut oksigen keseluruhan tubuh. Akibatnya organ vital seperti otak dan jantung dapat mengalami kekurangan oksigen, yang dapat menyebabkan gejala ringan seperti sakit kepala dan mual hingga gangguan serius seperti kehilangan kesadaran bahkan kematian [1]

Menurut standar buku mutu udara ambien untuk CO berdasarkan WHO & EPA. Penjelasan terkait besaran konsentrasi gas CO pada udara dapat dilihat dari tabel 2.1 berikut.

Tabel 2. 1 Dampak Kesehatan Berdasarkan Konsentrasi CO

Kategori (PPM)	Keterangan
0 – 9	Aman
10 – 30	Menyebabkan gejala ringan
31 – 70	Menyebabkan sakit kepala ringan, kelelahan, dan pusing
71 – 150	Meyebabkan mual, pusing, penglihatan kabur
151 – 400	Meyebabkan disorientasi, kebingungan, mual berat, dan kemungkinan pisan
> 400 ppm	Menyebabkan kerusakan otak permanen dan kematian

2.2.3 Nitrogen Dioksida (NO₂)

Nitrogen Dioksida (NO₂) adalah gas berwarna coklat kemerahan, berbau menyengat, dan bersifat toksik yang terbentuk sebagai hasil dari proses pembakaran pada suhu tinggi, seperti yang terjadi pada mesin kendaraan bermotor, pembangkit listrik, serta proses industri. NO₂ termasuk dalam kelompok gas nitrogen oksida, yang merupakan salah satu pencemar utama udara dan dapat menimbulkan dampak buruk terhadap kesehatan manusia serta lingkungan [6]

Dari segi kesehatan, paparan nitrogen dioksida dapat menyebabkan gangguan pada sistem pernapasan, terutama pada kelompok rentan seperti anak-anak, lansia, serta penderita asma atau penyakit paru-paru kronis. Dalam konsentrasi tinggi, gas ini dapat menimbulkan iritasi pada saluran pernapasan, penurunan fungsi paru-paru, peningkatan kerentanan terhadap infeksi pernapasan, hingga risiko terjadinya penyakit paru-paru kronis [6]

Menurut standar baku mutu udara ambien untuk NO₂ yang ditetapkan oleh WHO dan EPA, penjelasan mengenai batas konsentrasi gas NO₂ di udara dapat dilihat pada Tabel 2.2 berikut.

Tabel 2. 2 Dampak Kesehatan Berdasarkan Konsentrasi NO₂

Kategori (PPM)	Keterangan
0 – 0.05	Aman
0.06 – 0.10	Menyebabkan iritasi pada pernapasan bagi penderita asma atau paru - paru
0.11 – 0.20	Menyebabkan gangguan paru – paru ringan, batuk, serta peningkatan reaktivitas bronkus
0.21 – 0.50	Menyebabkan peradangan paru dan gejala akut, terutama pada paparan berulang
> 0.50	Berisiko menyebabkan gangguan paru berat, keracunan sistemik, dan dampak kardiovaskular serius

2.2.4 Particulate Matter 2.5 (PM_{2.5})

Particulate Matter 2.5 (PM_{2.5}) adalah partikel udara yang berdiameter kurang dari atau sama dengan 2.5 mikrometer. Karena ukurannya yang sangat kecil — sekitar 1/30 dari lebar sehelai rambut manusia — partikel ini mampu masuk hingga ke bagian terdalam paru-paru dan bahkan dapat menembus ke dalam aliran darah. PM_{2.5} terdiri dari campuran berbagai komponen, termasuk senyawa organik, logam berat, debu, jelaga, dan garam anorganik yang dihasilkan dari pembakaran bahan bakar fosil, proses industri, kebakaran hutan, serta aktivitas rumah tangga [7]

Paparan PM_{2.5} dalam jangka pendek maupun panjang telah dikaitkan dengan berbagai dampak kesehatan yang serius. Dalam jangka pendek, paparan dapat menyebabkan iritasi saluran pernapasan, batuk, dan gangguan fungsi paru. Sementara itu, paparan kronis dapat meningkatkan risiko penyakit kardiovaskular, gangguan pernapasan kronis, dan kematian dini, terutama pada kelompok rentan seperti anak-anak, lansia, dan penderita penyakit jantung atau paru-paru [7]

PM 2.5 adalah partikel udara yang berukuran lebih kecil atau sama dengan 2,5 μm (mikrometer). Sumber utama PM 2.5 berasal dari lalu lintas dan industri termasuk pembakaran bahan bakar dari pembangkit listrik, dan lain – lain. PM 2.5 termasuk kedalam PM yang kurang dari 10 μm , sehingga dapat merugikan manusia khususnya bagi masalah kesehatan manusia[7] Tabel 2.3 menjelaskan keterangan dari besar konsentrasi PM 2.5 di udara, standar ini didapatkan berdasarkan penjelasan tingkat konsentrasi PM 2.5 di udara oleh BMKG.

Tabel 2. 3 Keterangan Konsentrasi PM 2.5 di Udara

Konsentrasi PM 2.5	Keterangan
0 – 15.5 $\mu\text{g}/\text{m}^3$	Baik
15.6 – 55.4 $\mu\text{g}/\text{m}^3$	Sedang
55.5 – 150.4 $\mu\text{g}/\text{m}^3$	Tidak Sehat
150.5 – 250.4 $\mu\text{g}/\text{m}^3$	Sangat Tidak Sehat
>250.4 $\mu\text{g}/\text{m}^3$	Berbahaya

2.2.5 Parts Per Million

Parts Per Million (PPM) adalah satuan konsentrasi yang umum digunakan untuk menyatakan jumlah zat tertentu dalam sejuta bagian dari suatu campuran. Dalam konteks pemantauan kualitas udara, PPM digunakan untuk mengukur konsentrasi gas-gas tertentu di atmosfer, seperti karbon monoksida (CO), nitrogen monoksida (NO), dan gas berbahaya lainnya. Nilai 1 PPM berarti terdapat satu bagian volume gas polutan dalam satu juta bagian volume udara [8]

2.2.6 Suhu dan Kelembapan

Suhu dan kelembapan merupakan dua parameter fisik utama yang menggambarkan kondisi atmosfer suatu lingkungan. Suhu udara adalah ukuran

tingkat panas atau energi termal di udara, yang sangat memengaruhi berbagai proses fisik, biologis, dan kimia, termasuk aktivitas manusia, pertumbuhan tanaman, serta kestabilan sistem elektronik dan mekanis. Fluktuasi suhu yang ekstrem dapat menyebabkan gangguan kenyamanan hingga risiko kesehatan, terutama dalam ruang tertutup atau lingkungan kerja [9]

Sementara itu, kelembapan udara menunjukkan banyaknya uap air yang terkandung dalam atmosfer. Parameter ini umumnya dinyatakan dalam bentuk kelembapan relatif (relative humidity), yaitu perbandingan antara jumlah uap air yang ada dengan kapasitas maksimum yang dapat ditampung oleh udara pada suhu tertentu. Kelembapan yang terlalu tinggi dapat menimbulkan korosi, pertumbuhan jamur, serta ketidaknyamanan termal, sedangkan kelembapan yang terlalu rendah dapat menyebabkan kulit kering dan gangguan pernapasan [9]

2.2.7 Sistem Monitoring

Sistem monitoring adalah suatu sistem yang dirancang untuk melakukan proses pengamatan dan pencatatan terhadap suatu kondisi atau variabel secara berkala dan berkesinambungan. Tujuan utama dari sistem ini adalah untuk memperoleh data atau informasi secara real-time maupun periodik, yang nantinya dapat digunakan sebagai dasar pengambilan keputusan, evaluasi, ataupun tindakan korektif [8]

Dalam implementasinya, sistem monitoring terdiri dari beberapa komponen utama, yaitu sensor sebagai alat penginderaan, unit pemrosesan (seperti mikrokontroler atau komputer mini), serta media penyimpanan atau pengiriman data. Sensor bertugas mendeteksi perubahan fisik atau kimia di lingkungan, lalu hasil pengukuran tersebut dikirim ke unit pemrosesan untuk dianalisis, ditampilkan, atau dikirim ke sistem penyimpanan dan komunikasi [8]

2.2.8 Sensor SEN0564



Gambar 2. 1 Sensor SEN0564

Sensor SEN0564 merupakan modul sensor gas karbon monoksida (CO) berbasis teknologi MEMS (Micro-Electro-Mechanical Systems) yang dirancang untuk mendeteksi konsentrasi gas CO dalam rentang 5 hingga 5000 bagian per sejuta (ppm). Sensor ini memiliki ukuran yang kompak, konsumsi daya yang rendah, dan memberikan output analog yang proporsional terhadap kadar CO yang terdeteksi di lingkungan sekitarnya. Sebagai sensor jenis breakout board, SEN0564 dikembangkan oleh DFRobot dan cocok untuk aplikasi sistem monitoring udara, terutama pada perangkat yang membutuhkan pemantauan kualitas lingkungan secara real-time. Sensor ini bekerja dengan mendeteksi perubahan konsentrasi gas CO di udara melalui elemen MEMS internal, yang kemudian menghasilkan tegangan analog sebagai sinyal keluarannya. Tegangan ini perlu dikonversi ke satuan ppm dengan perhitungan kalibrasi tertentu yang sesuai dengan karakteristik sensor. Karakteristik lengkap sensor SEN0564 tertera pada tabel berikut [10]

Tabel 2. 4 Spesifikasi Sensor SEN0564

Keterangan SEN0564		Spesifikasi
Tegangan Operasi		3.3 – 5.0 V DC
Konsumsi Arus		<20mA
Taarget Gas		Karbon Monoksida (CO)
Sinyal Keluaran		Analog
Standar Deteksi	Kondisi	PPM: 5 – 5000 Temp: –10 °C hingga +50 °C
		Kelembapan: 15% – 90% RH

Ukuran Sensor SEN0564 termasuk kecil karena berukuran $\pm 13 \text{ mm} \times 13 \text{ mm} \times 2.5 \text{ mm}$, namun SEN0564 telah dirancang dalam bentuk siap pakai dengan konektor dan papan sirkuit bawaan bentuk Sensor SEN0564

Tabel 2. 5 Keterangan Pin Sensor SEN0564

Pin	Keterangan	Fungsi Pin
1	VCC	Pin ini digunakan untuk memasok tegangan listrik ke sensor (3.3 – 5V), sehingga sensor dapat terhubung ke sumber daya dan beroperasi
2	GND	Pin ini berperan penting untuk menjaga kestabilan tegangan dan memastikan sensor bekerja dengan benar serta aman
3	AOUT	Pin output analog ini memberikan sinyal analog yang merepresentasikan kadar gas yang terdeteksi secara kontinu

2.2.9 Sensor SEN0574



Gambar 2. 2 Sensor SEN0574

Sensor SEN0574 merupakan sensor gas elektrokimia yang dirancang untuk mendeteksi konsentrasi gas nitrogen dioksida (NO_2) di udara. Sensor ini bekerja berdasarkan prinsip reaksi elektrokimia, di mana gas NO_2 yang masuk ke dalam sensor akan bereaksi dengan elektroda internal, menghasilkan arus listrik yang sebanding dengan konsentrasi gas tersebut. Arus keluaran ini kemudian dapat diolah menjadi data digital oleh mikrokontroler untuk dianalisis lebih lanjut. SEN0574 memiliki sensitivitas tinggi terhadap gas NO_2 serta tingkat konsumsi daya yang rendah, sehingga sangat cocok diaplikasikan dalam sistem monitoring kualitas

udara yang bersifat portabel maupun berbasis Internet of Things (IoT). Sensor ini juga dilengkapi dengan antarmuka komunikasi I2C, yang memudahkan integrasinya dengan mikrokontroler seperti ESP32 [11]

Tabel 2. 6 Spesifikasi Sensor SEN0574

Keterangan SEN0574	Spesifikasi
Tegangan Operasi	3.3 – 5.0 V DC
Konsumsi Arus	<5mA
Taarget Gas	Nitrogen Dioksida (NO ₂)
Sinyal Keluaran	Analog
Standar Deteksi	PPM: 0 – 10 Temp: –10 °C hingga +50 °C
Kondisi	Kelembapan: 15% – 90% RH

Ukuran Sensor SEN0564 termasuk kecil karena berukuran $\pm 13 \text{ mm} \times 13 \text{ mm} \times 2.5 \text{ mm}$, namun SEN0574 telah dirancang dalam bentuk siap pakai dengan konektor dan papan sirkuit bawaan bentuk Sensor SEN0574 ditunjukkan oleh 2.2

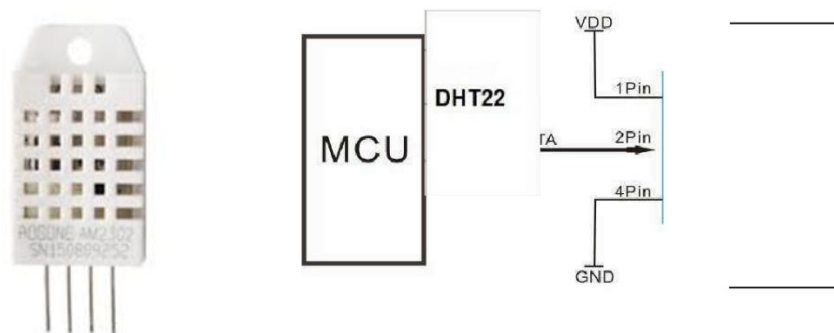
Tabel 2. 7 Keterangan Pin Sensor SEN0574

Pin	Keterangan	Fungsi Pin
1	VCC	Pin ini digunakan untuk memasok tegangan listrik ke sensor (3.3 – 5V), sehingga sensor dapat terhubung ke sumber daya dan beroperasi
2	GND	Pin ini berperan penting untuk menjaga kestabilan tegangan dan memastikan sensor bekerja dengan benar serta aman
3	AOUT	Pin output analog ini memberikan sinyal analog yang merepresentasikan kadar gas yang terdeteksi secara kontinu

2.2.10 DHT22

Sensor DHT22, yang juga dikenal dengan nama AM2302, merupakan salah satu jenis sensor digital yang digunakan untuk mengukur suhu dan kelembapan udara secara bersamaan. Sensor ini banyak digunakan dalam berbagai aplikasi monitoring lingkungan karena memiliki tingkat akurasi yang cukup tinggi dan konsumsi daya yang rendah. Secara teknis, DHT22 menggunakan sensor

kelembapan tipe kapasitif dan termistor sebagai elemen pengukurnya. Data pengukuran dikirimkan dalam bentuk sinyal digital melalui jalur komunikasi satu kawat (single-wire interface), sehingga tidak memerlukan konversi analog-ke-digital tambahan dari mikrokontroler. Sensor ini memiliki kemampuan untuk mengukur suhu dalam rentang -40°C hingga $+80^{\circ}\text{C}$ dengan akurasi sekitar $\pm 0.5^{\circ}\text{C}$, serta kelembapan relatif dari 0% hingga 100% RH dengan akurasi $\pm 2-5\%$ RH. Interval pembacaan data pada sensor ini adalah satu kali setiap dua detik (0.5 Hz) [12].



Gambar 2. 3 Sensor DHT22

Pada Tabel 2.8 memberikan penjelasan terkait keterangan spesifikasi oleh sensor suhu dan kelembapan DHT-22, dan di Tabel 2.9 menjelaskan terkait fungsi – fungsi dari pin yang terdapat pada Sensor DHT-22.

Tabel 2. 8 Spesifikasi Sensor DHT22

Keterangan DHT22	Spesifikasi
Sumber Tegangan	3,3 – 6 Volt DC
Konsumsi Arus	1 – 1,5 mA
Rentang Operasi Kelembapan dan suhu	0 – 100% RH dan $-40^{\circ}\text{C} \sim +80^{\circ}\text{C}$
Sinyal Keluaran	Digital
Sensing Period	2 Detik
Akurasi	H= $\pm 2\%$ RH(Max $\pm 5\%$ RH); T = $\pm 0,5^{\circ}\text{C}$

Tabel 2. 9 Keterangan Pin Sensor DHT22

Pin	Keterangan	Fungsi Pin
1	VDD-Power Supply	Pin memberikan tegangan operasional ke sensor agar komponen internal seperti kapasitor polimer dan termistor dapat berfungsi.
2	Data-Signal	Pin ini mengirimkan data hasil pengukuran secara digital ke mikrokontroler
3	NULL	Pada sensor 4 pin, pin ini tidak digunakan.
4	GND	Pin ini berperan penting untuk menjaga kestabilan tegangan dan memastikan sensor bekerja dengan benar serta aman

2.2.11 Sensor PMS5003



Gambar 2. 4 Sensor PMS5003

Sensor PMS5003 adalah sensor partikel (Particulate Matter Sensor) yang berfungsi untuk mendeteksi dan mengukur konsentrasi partikel debu di udara, khususnya partikel berukuran PM1.0, PM2.5, dan PM10. Sensor ini dikembangkan oleh perusahaan Plantower, dan banyak digunakan dalam sistem pemantauan kualitas udara karena keakuratannya yang tinggi serta kemampuannya bekerja secara real-time. Sensor ini bekerja menggunakan metode laser scattering (hamburan cahaya laser). Di dalam sensor terdapat sumber cahaya laser dan sebuah kipas kecil untuk mengalirkan udara ke dalam ruang pengukuran. Ketika partikel-partikel udara seperti debu, asap, atau polutan lainnya melewati berkas laser, cahaya akan dipantulkan (terhambur) oleh partikel tersebut. Intensitas dan pola hamburan

cahaya ini akan ditangkap oleh detektor internal dan diolah untuk menentukan jumlah serta ukuran partikel di udara [7]

PMS5003 menghasilkan data digital melalui antarmuka UART (Universal Asynchronous Receiver Transmitter) atau I²C, sehingga sangat mudah diintegrasikan dengan mikrokontroler seperti ESP32, Arduino, dan platform IoT lainnya. Data keluaran berupa konsentrasi partikel dalam satuan $\mu\text{g}/\text{m}^3$ (mikrogram per meter kubik), yang dibagi dalam tiga kategori utama. PM1.0: Partikel sangat halus. PM2.5: Partikel halus yang dapat masuk ke saluran pernapasan bagian dalam. PM10: Partikel kasar yang dapat menyebabkan iritasi saluran napas [7]

Tabel 2. 10 Spesifikasi Sensor PMS5003

Paramater PMS5003	Spesifikasi
Tegangan Operasi	4.5 V – 5.5 V DC
Arus Rata - Rata	100 mA (aktif)
Antarmuka Komunikasi	UART (baudrate 9600) atau I ² C
Rentang Pengukuran	0 – 500 $\mu\text{g}/\text{m}^3$
Ukuran Partikel Terdeteksi	0.3 μm hingga 10 μm
Metode Deteksi	Laser scattering (hamburan cahaya laser)

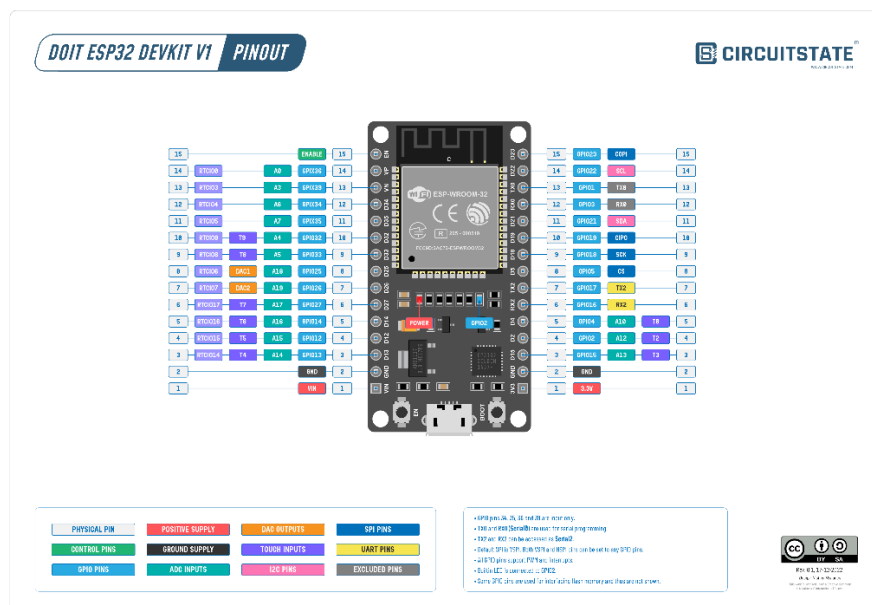
Pada Tabel 2.10 menjelaskan terkait spesifikasi dari sensor PMS5003, sedangkan pada tabel 2.11 memberikan penjelasan terkait Pin dan fungsi – fungsi pin yang ada pada sensor PMS5003.

Tabel 2. 11 Keterangan Pin Sensor PMS5003

Pin	Keterangan	Fungsi Pin
1	VCC	Tegangan suplai utama sensor (5V DC). Menyediakan daya untuk sirkuit dan kipas.
2	GND	Ground atau negatif dari sumber daya. Harus terhubung ke ground sistem.
3	SET	Pin kendali mode kerja sensor. LOW = aktif; HIGH = mode tidur.

4	RX	Pin penerima data serial dari mikrokontroler. Digunakan untuk mode pasif.
5	TX	Pin pengirim data serial ke mikrokontroler. Digunakan untuk pembacaan data.
6	Reset	Pin ini digunakan untuk mereset sensor secara manual. Jika di- <i>pull low</i> selama beberapa milidetik, sensor akan restart dan menginisialisasi ulang seluruh fungsi internal.
7	NC	Keempat pin terakhir pada konektor sensor ini tidak digunakan (NC). Tidak ada fungsi khusus yang diberikan oleh pabrikan.
8	NC	Keempat pin terakhir pada konektor sensor ini tidak digunakan (NC). Tidak ada fungsi khusus yang diberikan oleh pabrikan.

2.2.12 ESP32 DEVKIT V1



Gambar 2. 5 Board ESP32 DEVKIT V1

ESP32 DEVKIT V1 merupakan salah satu modul mikrokontroler yang banyak digunakan dalam pengembangan sistem berbasis Internet of Things (IoT).

Modul ini menggunakan chip ESP32 yang dikembangkan oleh Espressif Systems, dan dilengkapi dengan berbagai fitur seperti konektivitas Wi-Fi, Bluetooth, serta GPIO (General Purpose Input Output) yang beragam, sehingga sangat ideal digunakan untuk membangun sistem monitoring lingkungan secara real-time. ESP32 DEVKIT V1 memiliki arsitektur dual-core Xtensa 32-bit LX6, dengan kecepatan prosesor hingga 240 MHz. Selain itu, modul ini memiliki kapasitas SRAM hingga 520 KB, serta mendukung antarmuka komunikasi digital seperti UART, I2C, SPI, ADC, dan PWM, yang memungkinkan koneksi dengan berbagai jenis sensor dan perangkat tambahan. Salah satu keunggulan dari ESP32 DEVKIT V1 adalah kemampuannya untuk melakukan pemrosesan data secara lokal sebelum data dikirimkan, sehingga mengurangi beban jaringan dan meningkatkan efisiensi sistem. Selain itu, konsumsi daya yang relatif rendah serta fleksibilitas dalam pemrograman menggunakan Arduino IDE atau PlatformIO menjadikan modul ini sangat populer dalam pengembangan sistem monitoring berbasis IoT [13]

Dari sisi teknis, ESP32 DevKit V1 menyediakan sekitar 30 pin GPIO yang dapat dikonfigurasi sesuai kebutuhan, dengan sebagian besar pin mendukung lebih dari satu fungsi. Namun demikian, dalam implementasinya perlu diperhatikan bahwa tidak semua pin bersifat fleksibel. Sebagai contoh, GPIO 6 hingga GPIO 11 terhubung langsung dengan chip flash internal sehingga tidak disarankan untuk digunakan sebagai input/output, dan GPIO 34–39 hanya mendukung fungsi input saja tanpa kemampuan output. Dengan mempertimbangkan keunggulan teknis, fleksibilitas, serta kemampuan komunikasi nirkabel yang dimiliki, ESP32 DevKit V1 menjadi solusi yang sangat tepat untuk diimplementasikan dalam sistem [13]

Tabel 2. 12 Konfigurasi Pin ESP32 DEVKIT V1

Pin	Fungsi Utama	Cara Kerja
3.3V (VCC)	Pin suplai tegangan 3.3Volt	Pin ini memberikan daya stabil ke modul ESP32 dan komponen terkait.
GND	Ground (Referensi tegangan nol)	Menjadi jalur Kembali arus Listrik dan referensi tegangan untuk kestabilan rangkain.

GPIO (Generan Purpose Input Output)	Pin input/output digital umum	Bisa dikonfigurasi sebagai input atau output digital, digunakan untuk membaca sensor atau mengendalikan actuator. Beberapa GPIO juga mendukung fungsi khusus seperti ADC, DAC, PWM, dan komunikasi serial.
ADC Pins	Analog to Digital Converter	Pin ini mengubah sinyal analog dari sensor menjadi data digital yang dapat diproses mikrokontroler.
DAC Pins	Digital to Analog Converter	Pin ini menghasilkan sinyal analog dari data data digital unuk mengendalikan perangkat analog.
UART Pins	Serial Communication	Pin ini digunakan untuk komunikasi serial dengan perangkat lain seperti computer atau modul lain.
SPI Pins	Serial Peripheral Interface	Pin ini merupakan antarmuka komunikasi cepat untuk sensor dan modul eksternal.
I2C Pins	Inter-Integrated Circuit	Antarmuka komunikasi dua kabel untuk sensor dan perangkat lain.

Berikut contoh pin GPIO dan fungsinya:

1. GPIO 0, 2, 4, 5, 12-19, 21-23, 25-27, 32, 33: Pin ini dapat digunakan sebagai input maupun output digital, serta mendukung fungsi ADC dan PWM pada beberapa pin tertentu.
2. GPIO 34, 35, 36, 39: Pin ini hanya berfungsi sebagai input dan tidak memiliki internal pull-up, biasanya digunakan untuk input sensor analog.
3. Pin UART (GPIO 1, 3, 16, 17): Digunakan untuk komunikasi serial data, misalnya menghubungkan ESP32 dengan computer atau modul lain.
4. Pin I2C (GPIO 21 sebagai SDA, GPIO 22, sebagai SCL): Digunakan untuk komunikasi dengan sensor atau modul I2C.

Setiap pin GPIO dapat diprogram untuk berfungsi sebagai input atau output. Sebagai input, pin dapat membaca status logika HIGH atau LOW dari sensor atau tombol. Sebagai output, pin dapat mengendalikan perangkat seperti LED, relay atau motor dengan mengirimkan sinyal HIGH atau LOW. Pin yang mendukung ADC dapat membaca nilai tegangan analog dan mengubahnya menjadi data digital untuk pemrosesan lebih lanjut. Pin PWM dapat menghasilkan sinyal pulsa dengan lebar variable untuk mengatur kecepatan motor atau kecerahan LED [13]

2.2.13 Pembangkit Listrik Tenaga Surya



Gambar 2. 6 Panel Surya

Pembangkit Listrik Tenaga Surya (PLTS) merupakan salah satu bentuk pemanfaatan energi terbarukan yang mengonversi energi radiasi matahari menjadi energi listrik melalui proses fotovoltaiik. Sistem ini bekerja berdasarkan prinsip bahwa sel surya (solar cell) yang tersusun dalam panel surya mampu menghasilkan tegangan listrik saat terkena sinar matahari. Secara umum, PLTS terdiri dari beberapa komponen utama, yaitu panel surya (solar panel), pengatur daya (solar charge controller), baterai penyimpanan (accumulator), dan inverter untuk mengubah arus searah (DC) menjadi arus bolak-balik (AC). Panel surya akan menyerap energi cahaya matahari dan mengubahnya menjadi energi listrik dalam bentuk arus searah, yang kemudian disimpan di dalam baterai atau langsung digunakan untuk beban. Pemanfaatan PLTS sangat relevan dalam pengembangan sistem monitoring lingkungan karena tidak hanya menyediakan sumber energi yang

ramah lingkungan, tetapi juga dapat digunakan di wilayah terpencil yang belum terjangkau jaringan listrik konvensional [14]

Tabel 2. 13 Spesifikasi Umum Panel Surya

Parameter	Spesifikasi Umum
Jenis Sel	Monocrystalline / Polycrystalline
Daya Puncak (Pmax)	30 Wp – 550 Wp
Tegangan Maksimum (Vmp)	17 – 40 V
Arus Maksimum (Imp)	1 – 13 A
Tegangan Tanpa Beban (Voc)	21 – 50
Dimensi	30 × 30 cm (30 Wp) sampai 110 × 180 cm (550 Wp)
Efisiensi	15 – 22%

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:

1. Estimasi Energi Harian Sistem

Digunakan untuk menghitung total konsumsi energi perangkat setiap harinya:

$$E_L = \sum(P_i x t_i)$$

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

$$E_{panel} = P_{panel} \times H_t$$

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 Monitoring Lingkungan dapat beroperasi mandiri dan berkelanjutan.

2.2.14 Solar Charge Controller (SCC) Tipe PWM



Gambar 2. 7 Solar Charge Controller

Solar Charge Controller (SCC) adalah perangkat elektronik yang berfungsi untuk mengatur arus dan tegangan listrik yang masuk dari panel surya menuju baterai, dengan tujuan melindungi baterai dari kondisi *overcharging* (pengisian berlebih) maupun *overdischarging* (pengosongan berlebih). SCC juga berperan menjaga umur pakai baterai agar lebih panjang dengan mengontrol proses pengisian dan pelepasan daya secara efisien. Salah satu jenis SCC yang banyak digunakan adalah SCC tipe Pulse Width Modulation (PWM). Teknologi PWM bekerja dengan cara mengatur lebar pulsa (*duty cycle*) dari sinyal listrik yang dialirkan ke baterai. Saat tegangan panel surya lebih tinggi daripada tegangan baterai, SCC tipe PWM akan mengatur aliran energi dengan memutus dan menyambungkan arus secara cepat. Mekanisme ini memungkinkan baterai menerima arus pengisian yang lebih stabil dan aman. Karakteristik utama SCC tipe PWM adalah kemampuannya menyesuaikan tegangan keluaran mendekati tegangan baterai. Hal ini berarti

efisiensi pengisian akan menurun apabila tegangan panel surya jauh lebih tinggi dari tegangan nominal 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 tercepat.

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. 14 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
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 kendala sistem PLTS.

2.2.15 Aki 12V 7AH



Gambar 2. 8 Aki 12V 7AH

Aki atau accumulator merupakan salah satu jenis sumber energi listrik yang bersifat secondary cell, yaitu dapat diisi ulang (rechargeable). Aki 12V 7Ah termasuk dalam kategori aki kering atau sealed lead acid (SLA), yang banyak digunakan pada sistem kelistrikan skala kecil hingga menengah, seperti perangkat elektronik, sistem cadangan daya (UPS), sistem tenaga surya, hingga aplikasi kendaraan ringan. Spesifikasi 12V 7Ah menunjukkan bahwa aki tersebut memiliki tegangan nominal sebesar 12 volt dan kapasitas penyimpanan energi sebesar 7 ampere-hour. Kapasitas 7Ah berarti aki mampu menyuplai arus sebesar 7 ampere selama satu jam, atau arus lebih kecil dalam jangka waktu yang lebih lama. Hal ini menjadikan aki tipe ini cukup andal sebagai sumber daya portabel maupun sebagai cadangan energi ketika suplai listrik utama terputus [15]

Prinsip kerja aki didasarkan pada reaksi elektrokimia antara elektroda timbal dan elektrolit asam sulfat. Saat aki digunakan (discharge), energi kimia diubah menjadi energi listrik, sedangkan saat diisi ulang (charge), energi listrik dikonversi kembali menjadi energi kimia. Kelebihan aki SLA tipe 12V 7Ah adalah perawatannya relatif mudah, lebih aman karena tertutup rapat, tidak memerlukan penambahan air aki, serta memiliki tingkat kebocoran yang sangat rendah. Dalam aplikasi sistem monitoring atau perangkat berbasis IoT, aki 12V 7Ah sering digunakan sebagai penyimpanan energi yang terhubung dengan sistem panel surya (PLTS) maupun adaptor. Kombinasi tegangan yang stabil serta kapasitas yang

cukup membuatnya cocok dijadikan sumber daya pada perangkat yang membutuhkan suplai listrik kontinu dengan konsumsi arus sedang [15]

Tabel 2. 15 Spesifikasi Aki 12V 7AH

Parameter	Nilai Umum
Jenis	SLA / GEL / AGM / LiFePO4
Tegangan Nominal	12 V / 24 V / 48 V
Kapasitas Umum	20 Ah – 200 Ah (Disesuaikan kebutuhan)
Tipe Deep Cycle	Rekomendasi PLTS

Dengan konfigurasi ini, baterai aki SLA 12 V memberikan suplai daya yang stabil, aman, dan dapat diandalkan, sehingga sangat cocok digunakan pada sistem monitoring lingkungan berbasis ESP32 dan LoRa yang memerlukan sumber daya berkelanjutan untuk pengoperasian sensor, modul komunikasi, dan unit kontrol secara real-time.

Kapasitas Energi Baterai:

$$\text{Kapasitas baterai (Ah)} = \frac{\text{Tegangan baterai (V)}}{\text{Energi harian (Wh)}}$$

Keterangan:

Ah : Kapasitas baterai (Ampere-hour)

V : Tegangan Baterai (Volt)

Wh : Energi Harian (Watt-hour)

2.2.16 LM 2596 Step Down



Gambar 2. 9 LM2596

LM2596 merupakan modul konverter DC-DC tipe *step-down* yang digunakan untuk menurunkan tegangan input menjadi tegangan output yang lebih rendah dengan efisiensi tinggi. Modul ini berbasis pada IC regulator switching LM2596 yang dirancang untuk bekerja pada frekuensi switching sekitar 150 kHz, sehingga memungkinkan penggunaan komponen eksternal berukuran kecil, seperti induktor dan kapasitor. Secara prinsip kerja, LM2596 memanfaatkan metode buck converter, di mana tegangan input (V_{in}) diubah menjadi pulsa berfrekuensi tinggi menggunakan transistor switching internal. Pulsa tersebut kemudian dihaluskan melalui rangkaian LC (*inductor* dan *capacitor*) sehingga menghasilkan tegangan DC stabil di sisi output. Proses ini membuat LM2596 memiliki efisiensi konversi yang dapat mencapai 75% hingga 90%, jauh lebih baik dibandingkan regulator linear yang membuang energi dalam bentuk panas [16]

Modul LM2596 umumnya dilengkapi dengan potensiometer trimpot yang digunakan untuk mengatur besar tegangan keluaran (V_{out}). Tegangan input yang dapat diterima modul ini berkisar antara 4,5 V hingga 40 V, dengan tegangan output yang dapat disesuaikan mulai dari 1,25 V hingga 37 V, tergantung pada tegangan input dan pengaturan potensiometer. Arus keluaran maksimum yang dapat diberikan umumnya mencapai 3 A, namun disarankan untuk penggunaan berkelanjutan tidak melebihi 2 A agar suhu modul tetap stabil [16]

Keunggulan LM2596:

1. Efisiensi tinggi sehingga mengurangi panas berlebih
2. Rentang tegangan input yang luas
3. Dapat memberikan arus cukup besar untuk berbagi aplikasi elektronik
4. Pengaturan output yang fleksibel sesuai kebutuhan beban

Tabel 2. 16 Spesifikasi LM2596 Stepdown

Parameter	Nilai
Rentang Input	3 V – 40 V (4 V – 40 V) pada modul Praktis
Rentang Output	1.23 V – 37 V (Versi Adjustable) atau tetap (3.3 V / 5 V / 12 V)
Arus Output	Maksimal 3 A (Dengan pendinginan memadai)
Efisiensi	Hingga 92% (Tergantung selisih $V_{in} - V_{out}$)
Komponen Eksternal	Hanya memerlukan 4 komponen: induktok, dioda, kapasitor input / output

2.2.17 LoRa

LoRa (*Long Range*) adalah teknologi komunikasi nirkabel berbasis modulasi chirp spread spectrum (CSS) yang dirancang untuk transmisi data jarak jauh dengan konsumsi daya yang sangat rendah. Teknologi ini dikembangkan oleh perusahaan Semtech dan banyak digunakan dalam jaringan Low Power Wide Area Network (LPWAN), khususnya untuk aplikasi Internet of Things (IoT). Secara prinsip, LoRa bekerja dengan menyebarkan sinyal informasi ke dalam rentang frekuensi yang lebih luas daripada yang dibutuhkan, sehingga meningkatkan ketahanan terhadap gangguan (*interference*) dan memungkinkan komunikasi tetap stabil meskipun pada jarak yang jauh atau dalam kondisi lingkungan yang tidak ideal. Frekuensi kerja LoRa berbeda di setiap wilayah sesuai regulasi, seperti 433 MHz, 868 MHz (Eropa), dan 915 MHz (Amerika dan Asia) [5]

Karakteristik teknis LoRa yang relevan untuk sistem monitoring lingkungan dengan jarak jangkauan 2 – 15 Km (tergantung kondisi dan daya pancar, serta kecepatan data LoRa antara 0.3 bps hingga 50 bps, tergantung pada kombinasi antara Spreading Factor dan bandwidth kanal yang digunakan. 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 [5]

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

Tabel 2. 17 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	Ziebee	0 – 1500 meter	250 KB/s	Rendah
6	LoRa	0 – 15 kilometer	600 KB/s (teoritis)	Rendah

2.2.18 LoRa E220-400T22D



Gambar 2. 10 LoRa E220-400T22D

LoRa E220-400T22D adalah perangkat komunikasi nirkabel yang menggunakan teknologi LoRa (Long Range) dengan frekuensi kerja di sekitar 410–

441 MHz. Modul ini diproduksi oleh Ebyte dan dirancang untuk mendukung komunikasi jarak jauh dengan konsumsi daya rendah, sehingga sangat sesuai untuk aplikasi Internet of Things (IoT), sistem monitoring, telemetri, dan kontrol jarak jauh. Teknologi LoRa yang digunakan dalam modul ini memanfaatkan teknik modulasi Chirp Spread Spectrum (CSS) yang mampu mempertahankan kualitas transmisi data meskipun pada kondisi sinyal lemah atau terdapat gangguan interferensi. Dengan demikian, E220-400T22D dapat digunakan pada lingkungan dengan jarak komunikasi hingga puluhan kilometer dalam kondisi ideal [17]

Karakteristik LoRa E220-400T22D:

1. Frekuensi Operasi: 410 – 493 MHz
2. Jarak Komunikasi: 5 Km
3. Tegangan Operasi: 5.5 V
4. Data Rate: 62 Kbps

Keunggulan LoRa E220-400T22D

Modul LoRa E220-400T22D memiliki sejumlah keunggulan yang menjadikannya pilihan ideal untuk sistem komunikasi jarak jauh berbasis Internet of Things (IoT). Dengan teknologi modulasi *Chirp Spread Spectrum* (CSS), modul ini mampu menjangkau jarak komunikasi hingga 5–8 kilometer pada kondisi *Line of Sight* (LOS) dan 2–3 kilometer di lingkungan perkotaan, sekaligus mempertahankan kestabilan sinyal meskipun berada di area yang memiliki banyak interferensi. Konsumsi daya yang rendah, terutama berkat dukungan mode *sleep*, membuatnya sangat efisien untuk digunakan pada perangkat bertenaga baterai maupun sistem berbasis energi terbarukan. Selain itu, LoRa E220-400T22D memiliki fleksibilitas tinggi karena parameter seperti frekuensi kerja, daya pancar, dan mode komunikasi dapat diatur dengan mudah melalui perintah AT atau perangkat lunak konfigurasi. Antarmuka UART (3,3 V TTL) yang digunakan kompatibel dengan berbagai mikrokontroler populer seperti ESP32, Arduino, STM32, maupun Raspberry Pi, sehingga memudahkan integrasi dalam berbagai aplikasi. Modul ini juga mendukung mode *transparent transmission* untuk pengiriman data langsung tanpa pengaturan alamat, dan mode *fixed transmission*

untuk komunikasi yang lebih terarah dengan ID perangkat tertentu, sehingga dapat diaplikasikan baik pada jaringan *point-to-point* maupun *point-to-multipoint* [17]

Dirancang untuk bekerja pada rentang suhu -40°C hingga $+85^{\circ}\text{C}$, modul ini tahan digunakan di lingkungan ekstrem dan mendukung berbagai kecepatan transmisi dari 0,3 kbps hingga 19,2 kbps, yang dapat disesuaikan untuk mengoptimalkan jangkauan maupun kecepatan komunikasi. Dengan kombinasi jangkauan luas, konsumsi daya rendah, ketahanan terhadap interferensi, dan kemudahan integrasi, LoRa E220-400T22D menjadi solusi yang handal untuk implementasi sistem monitoring lingkungan, pertanian cerdas, dan berbagai aplikasi IoT lainnya [17]

Tabel 2. 18 Datasheet Modul Lora E220-400T22D

Parameter	Nilai
Frekuensi	410 – 493 MHz
Data Rate	2.4 – 62 Kbps
Sensitivitas	-148 dBm
Tx Power	22 dBm
Tegangan	5.5 V
Arus Rx	168 mA
Arus Tx	110 mA
Suhu	-40°C $+85^{\circ}\text{C}$

2.2.19 Antena

P/N: DB-R195-433M



Gambar 2. 11 Antena 433 MHz

Antena merupakan perangkat penting dalam sistem komunikasi nirkabel yang berfungsi untuk mengubah sinyal listrik menjadi gelombang elektromagnetik saat proses transmisi, dan sebaliknya mengubah gelombang elektromagnetik menjadi sinyal listrik saat proses penerimaan. Dalam konteks sistem monitoring lingkungan berbasis LoRa, antena berperan besar dalam menentukan jangkauan dan kualitas transmisi data antara modul LoRa yang terpasang pada perangkat sensor dan penerima di pusat monitoring. Kinerja antena sangat dipengaruhi oleh beberapa parameter utama, di antaranya frekuensi kerja, gain antena, polaritas, dan VSWR (Voltage Standing Wave Ratio). Frekuensi kerja antena harus sesuai dengan frekuensi operasi modul komunikasi, misalnya 433 MHz atau 915 MHz pada modul LoRa, agar proses transmisi dan penerimaan sinyal dapat berlangsung optimal. Nilai gain antena, yang dinyatakan dalam dBi, menunjukkan kemampuan antena dalam memfokuskan energi gelombang ke arah tertentu. Semakin tinggi gain, maka semakin besar pula jarak jangkauan komunikasi yang dapat dicapai, meskipun sudut penyebaran sinyal menjadi lebih sempit [18]

Dalam implementasinya, antena dibedakan menjadi beberapa jenis seperti antena monopole, dipole, dan helical. Antena monopole dan dipole banyak digunakan karena memiliki pola radiasi omnidirectional yang memungkinkan sinyal tersebar ke segala arah, cocok untuk komunikasi di area luas tanpa perlu

pengaturan arah antena. Sedangkan antena directional seperti Yagi atau panel digunakan untuk aplikasi yang membutuhkan jangkauan jarak jauh dengan arah transmisi yang lebih fokus. Faktor penting lainnya adalah penyesuaian impedansi antara antena dan perangkat pemancar/penerima, yang umumnya berada pada 50 ohm. Penyesuaian impedansi yang tepat akan mengurangi kehilangan daya akibat pantulan sinyal, sehingga efisiensi transmisi meningkat. Selain itu, posisi dan ketinggian pemasangan antena juga mempengaruhi performa. Pemasangan antena pada posisi yang lebih tinggi dan bebas dari penghalang fisik seperti dinding atau pepohonan dapat mengurangi redaman sinyal dan memperluas jangkauan komunikasi [18].

2.2.20 Adaptor 5V 3A



Gambar 2. 12 Adaptor 5V 3A

Adaptor merupakan perangkat elektronik yang berfungsi untuk mengubah tegangan listrik dari sumber daya utama, seperti listrik PLN dengan tegangan 220V AC, menjadi tegangan DC yang lebih rendah dan stabil sesuai kebutuhan perangkat elektronik. Pada sistem monitoring lingkungan berbasis LoRa, adaptor digunakan untuk menyuplai daya pada mikrokontroler, modul komunikasi, serta sensor-sensor yang digunakan. Salah satu spesifikasi adaptor yang umum digunakan adalah 5V 3A. Adaptor 5V 3A memiliki keluaran tegangan tetap sebesar 5 volt DC dengan kapasitas arus maksimum 3 ampere. Tegangan 5V merupakan standar yang digunakan pada banyak perangkat berbasis mikrokontroler seperti ESP32, Arduino, dan Raspberry Pi. Kapasitas arus 3A menunjukkan bahwa adaptor ini mampu

menyediakan daya hingga 15 watt (hasil perkalian antara tegangan dan arus), sehingga dapat digunakan untuk memasok daya beberapa modul sekaligus tanpa mengalami penurunan performa [19]

Prinsip kerja adaptor 5V 3A biasanya mengandalkan teknologi *switching power supply* yang memanfaatkan rangkaian konversi elektronik berfrekuensi tinggi untuk mengubah tegangan AC menjadi DC dengan efisiensi tinggi dan ukuran yang relatif kecil. Teknologi ini memungkinkan adaptor menghasilkan tegangan yang stabil, minim panas, dan efisien dalam penggunaan energi. Kestabilan tegangan dari adaptor sangat penting untuk menjaga kinerja sistem monitoring. Tegangan yang terlalu rendah dapat menyebabkan perangkat tidak berfungsi dengan baik atau bahkan mati, sedangkan tegangan yang terlalu tinggi dapat merusak komponen elektronik. Oleh karena itu, adaptor berkualitas biasanya dilengkapi dengan fitur perlindungan seperti *over-voltage protection (OVP)*, *over-current protection (OCP)*, dan *short-circuit protection (SCP)* [19]

2.2.21 LCD 16 x 2



Gambar 2. 13 LCD 16 x 2

LCD 16x2 (*Liquid Crystal Display 16x2*) merupakan modul tampilan berbasis teknologi kristal cair yang mampu menampilkan karakter alfanumerik pada dua baris, dengan masing-masing baris berkapasitas 16 karakter. Teknologi kristal cair bekerja dengan memanfaatkan sifat optik molekul cair yang dapat diatur orientasinya oleh medan listrik, sehingga memungkinkan pengendalian cahaya yang melewatinya. Modul LCD 16x2 umumnya menggunakan *controller* seperti HD44780 atau kompatibelnya, yang memudahkan integrasi dengan berbagai mikrokontroler, termasuk Arduino, melalui antarmuka paralel maupun antarmuka I²C. Mode paralel biasanya memerlukan beberapa pin data dan kontrol, sedangkan

mode I²C hanya memerlukan dua jalur komunikasi (*SDA* dan *SCL*), sehingga lebih efisien dalam penggunaan pin mikrokontroler.

LCD 16x2 mampu menampilkan berbagai karakter ASCII, simbol khusus, maupun karakter yang dibuat secara kustom melalui *Character Generator RAM (CGRAM)*. Modul ini dilengkapi dengan *backlight* untuk meningkatkan keterbacaan pada kondisi pencahayaan rendah. Tegangan kerja yang umum digunakan adalah 5 V DC, dengan konsumsi arus relatif rendah, sehingga cocok untuk aplikasi portabel maupun perangkat hemat daya. Keunggulan LCD 16x2 terletak pada konsumsi daya yang rendah, kemudahan penggunaan, dan biaya yang relatif terjangkau. Oleh karena itu, modul ini banyak digunakan dalam sistem monitoring, perangkat elektronik portabel, maupun prototipe berbasis mikrokontroler yang memerlukan tampilan sederhana namun informatif.

2.2.22 Arduino IDE

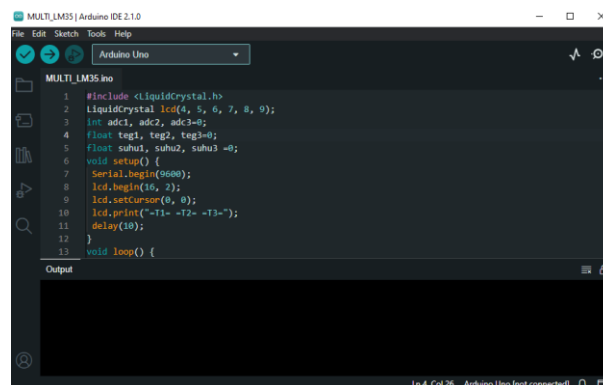


Gambar 2. 14 Arduino IDE

Arduino IDE (*Integrated Development Environment*) merupakan perangkat lunak yang digunakan untuk menulis, mengompilasi, dan mengunggah program ke papan mikrokontroler Arduino. Lingkungan pemrograman ini bersifat *open-source*, sehingga dapat digunakan secara gratis dan dikembangkan oleh komunitas. Arduino IDE menyediakan antarmuka yang sederhana dan ramah pengguna, sehingga memudahkan pemula maupun pengembang berpengalaman dalam merancang aplikasi berbasis mikrokontroler. Dalam Arduino IDE, bahasa pemrograman yang digunakan merupakan turunan dari bahasa C/C++ dengan beberapa penyesuaian agar lebih mudah dipahami. Struktur program pada Arduino umumnya terdiri dari dua bagian utama, yaitu fungsi `setup()` yang dijalankan sekali

pada awal eksekusi untuk inisialisasi, dan fungsi `loop()` yang dijalankan berulang-ulang selama papan Arduino mendapatkan catu daya.

Arduino IDE dilengkapi dengan *compiler* bawaan yang menerjemahkan kode program menjadi bahasa mesin yang dapat dimengerti oleh mikrokontroler. Selain itu, Arduino IDE juga mendukung berbagai pustaka (*library*) yang memudahkan pengendalian sensor, aktuator, maupun modul komunikasi tanpa perlu menulis kode dari awal. Fitur unggah program ke papan mikrokontroler dilakukan melalui koneksi USB atau jalur komunikasi serial lainnya. Keunggulan Arduino IDE terletak pada kemudahan penggunaan, dukungan lintas platform (Windows, macOS, Linux), serta ketersediaan pustaka dan komunitas pengguna yang luas. Hal ini menjadikan Arduino IDE sebagai salah satu perangkat lunak utama dalam pengembangan sistem berbasis Internet of Things (IoT), otomasi, maupun proyek-proyek prototipe elektronika lainnya.



Gambar 2. 15 Arduino IDE

2.2.23 Voltmeter



Gambar 2. 16 Voltmeter

Voltmeter merupakan alat ukur yang digunakan untuk mengetahui besar tegangan listrik pada suatu sumber daya atau rangkaian. Dalam konteks aki (accumulator), voltmeter berfungsi untuk mengukur tegangan terminal aki yang mencerminkan kondisi kapasitas dan kesehatan aki tersebut. Prinsip kerjanya didasarkan pada pengukuran beda potensial listrik antara kutub positif dan negatif aki. Aki sebagai sumber arus searah (DC) umumnya memiliki tegangan nominal 12 volt. Nilai tegangan aki dapat berubah tergantung pada kondisi pemakaian, tingkat pengisian, maupun kerusakan yang mungkin terjadi. Misalnya, aki 12V yang sehat biasanya menunjukkan tegangan sekitar 12,6 – 12,8 volt saat penuh, sementara jika terbaca di bawah 11,8 volt menandakan bahwa aki dalam kondisi lemah atau perlu dilakukan pengisian ulang [20]

Voltmeter untuk pengukuran aki biasanya dihubungkan secara paralel dengan terminal aki. Hal ini dilakukan agar voltmeter dapat membaca langsung beda potensial yang dihasilkan aki tanpa memutus arus utama yang digunakan oleh beban. Untuk menjaga keakuratan hasil pengukuran, voltmeter yang digunakan harus memiliki resistansi internal tinggi, sehingga arus yang ditarik ke alat ukur sangat kecil dan tidak memengaruhi tegangan aki. Dalam penggunaannya, voltmeter dapat berbentuk analog maupun digital. Voltmeter analog menggunakan jarum penunjuk pada skala, sedangkan voltmeter digital menampilkan hasil pengukuran dalam bentuk angka pada layar LCD atau LED. Saat ini, voltmeter

digital lebih banyak digunakan karena memberikan pembacaan yang cepat, akurat, serta mudah dipahami. Pengukuran tegangan aki dengan voltmeter sangat penting dalam bidang kelistrikan otomotif maupun sistem tenaga cadangan (backup power). Dengan mengetahui tegangan aki secara berkala, dapat dilakukan tindakan perawatan atau penggantian aki sebelum terjadi kegagalan fungsi, sehingga keandalan sistem tetap terjaga [20]

2.2.24 ThingSpeak



Gambar 2. 17 ThingSpeak

ThingSpeak merupakan sebuah platform layanan Internet of Things (IoT) berbasis cloud yang digunakan untuk mengumpulkan, menyimpan, menganalisis, dan memvisualisasikan data sensor secara daring. Platform ini memungkinkan perangkat IoT mengirimkan data melalui protokol komunikasi seperti HTTP atau MQTT, sehingga data dapat diakses dan diolah secara real-time dari berbagai lokasi. ThingSpeak menyediakan Application Programming Interface (API) yang memudahkan pengembang dalam melakukan integrasi antara perangkat keras, seperti mikrokontroler atau single-board computer, dengan sistem penyimpanan dan analisis data di *cloud*. Selain itu, ThingSpeak juga mendukung pengolahan data menggunakan MATLAB Analytics, yang memungkinkan pengguna melakukan analisis statistik, pengolahan sinyal, atau penerapan algoritma prediksi secara langsung di dalam platform [21]

Keunggulan ThingSpeak terletak pada kemampuannya untuk menampilkan data dalam bentuk grafik interaktif, melakukan data logging secara otomatis, dan mendukung trigger atau perintah otomatis berdasarkan kondisi tertentu. Hal ini menjadikan ThingSpeak banyak digunakan dalam penelitian, sistem monitoring

lingkungan, otomasi, dan pengembangan prototipe IoT yang membutuhkan pemantauan jarak jauh. Sebagai platform open API, ThingSpeak dapat digunakan secara gratis dengan batasan tertentu atau melalui paket berbayar untuk kebutuhan skala besar. Ketersediaan dokumentasi yang lengkap dan komunitas pengguna yang luas membuat ThingSpeak menjadi salah satu pilihan populer dalam pengembangan sistem IoT berbasis cloud [21]