

BAB IV

PEMBUATAN ALAT RANCANG BANGUN SISTEM MONITORING LINGKUNGAN (CO, NO₂, PM_{2.5}, KELEMBAPAN) DENGAN SENSOR SEN0564, SEN0574, PMS5003, DHT22 SECARA REAL-TIME BERBASIS ESP32 DAN IOT MENGGUNAKAN LORA

4.1 Pembuatan Prototipe

Dalam proses perancangan alat dan pelaksanaan tugas akhir ini yang berjudul “*Rancang Bangun Sistem Monitoring Lingkungan (CO, NO₂, PM_{2.5}, Kelembapan Dengan Sensor SEN0564, SEN0574, PMS5003, DHT22 Secara Real-Time Berbasis ESP32 dan IoT Menggunakan LoRa*”, diperlukan metode penelitian yang sistematis untuk menghasilkan rancangan yang dihasilkan memiliki dasar konseptual yang kuat serta alur pengembangan yang terstruktur. Bab ini menjelaskan secara menyeluruh tahapan yang dilalui dalam proses perancangan hingga implementasi perangkat, mulai dari penyusunan konsep awal, pemilihan dan integrasi komponen yang tepat, perancangan perangkat keras dan perangkat lunak, agar sesuai dengan spesifikasi yang telah ditentukan. Proses pembuatan alat ini terbagi menjadi aspek utama, yaitu pembuatan perangkat keras (Hardware) dan pengembangan perangkat lunak (Software). Kedua aspek ini saling melengkapi dan membentuk satu kesatuan sistem monitoring lingkungan yang dapat beroperasi secara optimal sesuai dengan tujuan penelitian.

4.2 Alat dan Bahan

Dalam pelaksanaan proyek tugas akhir yang berfokus pada rancang bangun sistem monitoring lingkungan (CO, NO₂, PM_{2.5}, kelembapan dengan sensor SEN0564, SEN0574, PMS5003, DHT22 secara real-time berbasis ESP32 dan IoT menggunakan LoRa, diperlukan pemenuhan berbagai kebutuhan utama maupun kebutuhan pendukung agar proses pengembangan dapat berlangsung secara optimal. Tahap identifikasi kebutuhan ini menjadi sangat penting karena berfungsi sebagai dasar dalam menentukan komponen serta sumber daya yang akan digunakan.

Tabel 4.1 menyajikan daftar alat yang digunakan selama proses perakitan, sedangkan Tabel 4.2 menyajikan bahan dan komponen elektronik yang dibutuhkan untuk membangun perangkat keras. Daftar kebutuhan ini disusun untuk memastikan bahwa sistem yang dirancang sesuai dengan spesifikasi teknis yang telah ditentukan serta tujuan penelitian yang ingin dicapai. Dengan adanya identifikasi kebutuhan yang jelas dan terstruktur, potensi kesalahan dalam pemilihan komponen maupun pengalokasian sumber daya dapat diminimalisasi. Hal ini memungkinkan keseluruhan proses perancangan dan pembuatan perangkat berjalan lebih efisien, terarah, serta sesuai dengan rencana yang telah ditetapkan.

Tabel 4. 1 Daftar Peralatan Pendukung Buat Alat

No	Nama Alat	Jumlah
1	Besi	1 Set sepasang
2	Solder	1 buah
3	Tenol	1 buah
4	FeCl	1 bungkus
5	Mini drill	1 buah
6	Sedotan Timah	1 buah
7	Bor Listrik	1 buah
8	Mata Bor	1 set
9	Tang Cucut	1 buah
10	Tang Potong	1 buah
11	Tang kombinasi	1 buah
12	Multimeter	1 buah
13	Amplas	1 lembar
14	Kertas mika	1 lembar
15	Cutter	1 buah
16	Lem tembak	1 buah
17	Mur + Baut	secukupnya
18	spacer	secukupnya
19	Isolasi Kabel	1 buah

20	Gunting	1 buah
----	---------	--------

Tabel 4. 2 Daftar Bahan dan Komponen

No	Nama Bahan	Spesifikasi	Jumlah
1	Sensor CO	SEN0564	1 buah
2	Sensor NO2	SEN0574	1 buah
3	Sensor Kelembapan	DHT22	1 buah
4	Sensor PM2.5	PMS5003	1 buah
5	Mikrokontroler	ESP32 DevKit V1	2 buah
6	PLTS	30 Wp	1 buah
7	SCC	12V 10A	1 buah
8	Baterai	Aki 12V 7,5Ah	1 buah
9	LoRa	E220 400T22D	2 buah
10	Antena	433 MHz 12 dbi	2 buah
11	Adaptor	5V 3A	1 buah
12	LCD	16x2 I2C	2 buah
13	Terminal Block	3 pin 4 pin	Secukupnya
14	Resistor	4,7K Ohm	2 buah
15	Kabel AWG	Awg 24 3 jalur Awg 24 4 jalur	Secukupnya
16	Kabel Jumper	Male-Female Male-Male Female-Female	Secukupnya
17	Kabel JST	JST XH 2,54 mm	Secukupnya
18	Stepdown	LM 2596	1 buah
19	Volt Meter	Digital	1 buah
20	Panel Box	Outdoor 25 x 35 x 12	1 buah

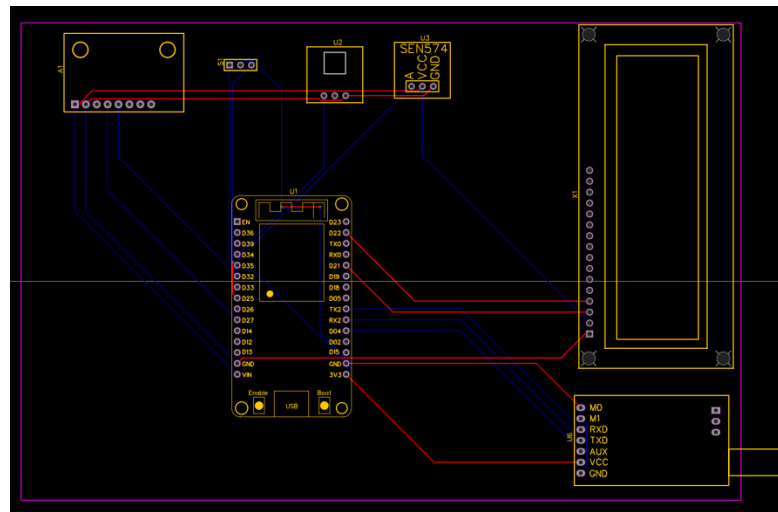
4.3 Desain Perangkat Keras (Hardware)

Proses perancangan perangkat keras merupakan tahap krusial dalam mewujudkan rancangan sistem monitoring menjadi sebuah prototipe fisik yang dapat digunakan. Pada Tugas Akhir ini, perangkat keras dikembangkan untuk mendukung pemantauan parameter lingkungan meliputi konsentrasi karbon monoksida (CO), nitrogen dioksida (NO₂), partikel debu halus (PM2.5), serta suhu dan kelembapan udara dengan basis mikrokontroler ESP32. Sistem ini dilengkapi modul komunikasi LoRa yang berfungsi sebagai media transmisi data secara real-time ke pusat pemantauan jarak jauh. Tahapan pembuatan perangkat keras meliputi perancangan rangkaian, pemilihan komponen sesuai kebutuhan, hingga proses perakitan agar perangkat mampu berfungsi secara optimal sesuai spesifikasi yang direncanakan.

4.3.1 Pembuatan PCB

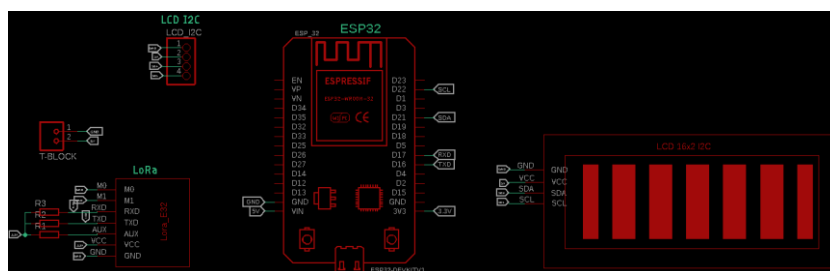
Perancangan perangkat keras dimulai dengan pembuatan desain PCB (Printed Circuit Board) sebagai landasan utama dalam penyusunan serta integrasi seluruh komponen elektronika. Desain PCB dibuat menggunakan perangkat lunak khusus agar jalur koneksi antar komponen dapat tersusun secara teratur, efisien, dan sesuai kebutuhan sistem monitoring. Tahap perancangan meliputi penentuan tata letak mikrokontroler ESP32, modul LoRa E220, sensor SEN0564, SEN0574, DHT22, dan PMS5003, sehingga setiap komponen ditempatkan pada posisi yang optimal guna mengurangi potensi interferensi. Selain itu, rancangan jalur catu daya dan sinyal juga diatur dengan baik untuk memastikan distribusi daya tetap stabil serta komunikasi data berlangsung lancar tanpa hambatan.

1. Membuat Desain PCB pada software EasyEDA



Gambar 4. 1 Desain Schematic Rangkaian Transmitter

Gambar 4.1 memperlihatkan skematik rangkaian transmitter yang dirancang untuk mengintegrasikan berbagai sensor lingkungan dengan mikrokontroler ESP32. Pada rangkaian ini, sensor SEN0564 digunakan untuk mendeteksi kadar karbon monoksida (CO), sensor SEN0574 untuk mengukur konsentrasi nitrogen dioksida (NO₂), sensor DHT22 untuk membaca suhu dan kelembapan udara, serta sensor PMS5003 untuk memantau konsentrasi partikel debu halus (PM2.5). Seluruh sensor tersebut terhubung ke ESP32 yang berperan sebagai pusat pengolahan data, kemudian hasil pembacaan dikirimkan melalui modul LoRa E220-400T22D sebagai media komunikasi nirkabel menuju perangkat penerima. Skematik ini menjadi acuan utama dalam perancangan PCB transmitter, sehingga integrasi antar komponen dapat berjalan optimal sebelum tahap perakitan perangkat keras dilakukan.



Gambar 4. 2 Desain Schematic Rangkaian Receiver

Gambar 4.2 menampilkan skematik rangkaian receiver yang dirancang sebagai penerima data pengukuran dari modul transmitter melalui komunikasi nirkabel LoRa E220-400T22D. Dalam rangkaian ini, mikrokontroler ESP32 berfungsi sebagai pusat pemrosesan yang menerima, mengolah, serta mengirimkan data ke server atau platform IoT seperti ThingSpeak secara real-time. Perancangan PCB receiver difokuskan pada integrasi antara modul LoRa dan ESP32, sekaligus memastikan jalur catu daya tersusun stabil agar perangkat dapat bekerja dengan andal. Skematik ini dijadikan acuan utama dalam pembuatan PCB receiver, sehingga semua komponen dapat terhubung secara teratur dan mendukung kelancaran komunikasi data dari transmitter menuju pusat monitoring.

2. Tahap berikutnya adalah memotong papan PCB sesuai dengan ukuran yang telah ditentukan pada desain.
3. Selanjutnya, desain rangkaian yang sudah dibuat dicetak dan ditempelkan pada permukaan PCB. Setelah itu, diberi sedikit cairan autan, ditutup menggunakan kertas mika, lalu digosok selama kurang lebih 3 menit. Proses berikutnya adalah merendam PCB ke dalam larutan FeCl hingga bagian tembaga yang tidak diperlukan larut, sehingga jalur rangkaian dapat terlihat dengan jelas.

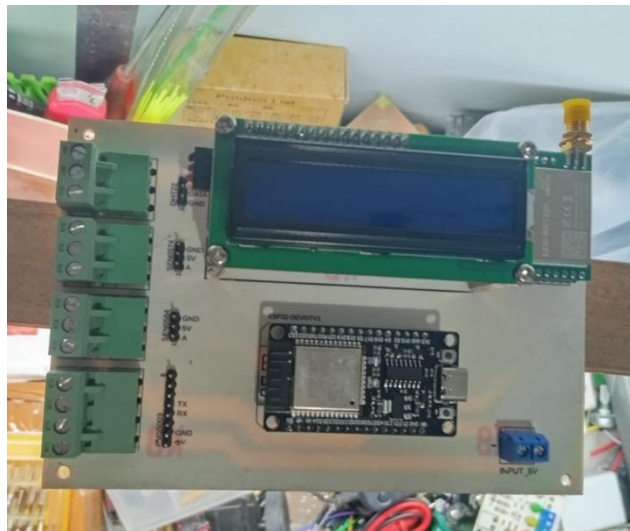


Gambar 4. 3 Proses Pencetakan PCB

4. PCB yang sudah dicetak selanjutnya siapkan semua komponen beserta alat bantu yang diperlukan.
5. Selanjutnya siapkan bor untuk melubangi pcb sesuai layout.
6. Setelah itu siapkan pin header dan terminal blok untuk dipasang ke pcb yang sudah di lubangi sebelumnya, pemasangan pin header dan terminal blok ini

supaya komponen-komponen termasuk sensor agar bisa gampang di lepas dan tidak permanen ke pcb supaya lebih aman.

7. Lakukan penyolderan pada seluruh pin yang sudah dipasang ke layout pcb.
8. Pasang semua komponen di pin header atau terminal blok mengikuti jalur sesuai wiring yang telah dirancang.



Gambar 4. 4 Hasil Cetak PCB

4.3.2 Desain Pembuatan Perangkat Keras (Hardware)



Gambar 4. 5 Desain Pembuatan Perangkat Keras (Hardware)

Gambar 4.5 menampilkan Visualisasi 3D menampilkan rancangan keseluruhan perangkat keras yang dikembangkan dalam penelitian ini. Desain tersebut menunjukkan integrasi sistem mulai dari rangkaian elektronik hingga susunan mekanik, sehingga memudahkan dalam membayangkan bentuk fisik perangkat sebelum tahap perakitan dilakukan. Pada rancangan ini, setiap komponen ditempatkan secara terorganisir agar perangkat memiliki bentuk yang ringkas, kuat, dan sesuai dengan kebutuhan operasional di lapangan. Tampilan 3D ini juga menjadi acuan penting untuk memastikan konfigurasi perangkat keras dapat direalisasikan secara tepat sekaligus mengurangi potensi kesalahan pada proses pembuatan.

4.3.3 Pembuatan Rangkaian Elektronika

Perakitan rangkaian elektronik pada tugas akhir sistem monitoring lingkungan terdiri dari beberapa komponen utama, yaitu sensor SEN0564, SEN0574, DHT22, PMS5003, serta modul LoRa transmitter dan receiver. Seluruh rangkaian disusun dan dirakit secara manual dengan menyolder komponen satu per satu sesuai skematik yang telah dirancang. Metode ini dipilih karena lebih efisien, fleksibel, serta memudahkan dalam proses pengujian maupun perbaikan. Proses perakitan dilakukan dengan teliti agar terhindar dari kesalahan jalur maupun hubungan pendek.



Gambar 4. 6 Proses Penyolderan

4.3.4 Pembuatan dan Pemasangan Rangkaian Mekanik

Menggerindra bagian sambungan besi agar permukaan lebih halus dan tidak menyisakan sisi tajam. Kegiatan menggerindra ini bertujuan untuk merapikan hasil sambungan, memperkuat estetika rangka, sekaligus meningkatkan faktor keamanan sehingga kerangka yang menopang sensor dan panel surya dapat digunakan dengan aman dan kokoh.



Gambar 4. 7 Proses Menggerindra Besi

Sesudah rangka selesai dirakit, permukaannya dilapisi cat untuk mencegah karat serta meningkatkan ketahanan terhadap kondisi cuaca. Tahap akhir dilakukan dengan memasang sensor, kabel, dan komponen pendukung lainnya pada rangka mekanik sehingga perangkat siap dioperasikan di lapangan.



Gambar 4. 8 Proses Pengecatan

Setelah desain dan seluruh komponen siap, tahap berikutnya adalah proses perakitan mekanik yang berfungsi untuk menyatukan setiap bagian fisik dari sistem. Gambar 4.9 menampilkan dokumentasi tahapan perakitan perangkat keras, dimulai dari pemasangan sensor hingga penempatan komponen pada struktur rangka.



Gambar 4. 9 Perakitan Rangkaian Mekanik

4.3.5 Perakitan Alat Pada Panel Box Transmitter

Rangkaian transmitter menjadi pusat dari sistem monitoring. Bagian ini terdiri atas komponen utama berupa ESP32 sebagai mikrokontroler, berbagai sensor lingkungan untuk pengukuran data, serta modul LoRa E220 400T22D yang berfungsi mengirimkan informasi ke unit penerima. Proses perakitan dimulai dari penyediaan catu daya, yaitu penggunaan modul step-down LM2596 untuk menurunkan tegangan 12 V dari baterai atau panel surya menjadi 5 V, kemudian dialirkan ke ESP32, sensor, dan LoRa. Untuk sensor yang memerlukan tegangan 3,3 V, ditambahkan regulator khusus agar tegangannya tetap stabil. Setelah itu, seluruh sensor dihubungkan sesuai konfigurasi pin input/output pada ESP32. Data hasil pembacaan sensor kemudian diolah oleh ESP32 dan dikirim secara real-time ke sisi penerima melalui modul LoRa yang dilengkapi antena eksternal. Perakitan seluruh komponen dalam panel box dilakukan secara bertahap melalui tahapan berikut:

1. Langkah pertama adalah menyiapkan alat dan bahan. Pada tahap ini dipersiapkan seluruh komponen utama seperti SCC, baterai aki, ESP32,

berbagai sensor, serta peralatan pendukung lain yang diperlukan untuk proses perakitan.

2. Langkah kedua adalah pemasangan komponen ke dalam panel box. Panel box berukuran sekitar 35 x 25 x 12 cm yang bersifat tahan air digunakan untuk melindungi perangkat dari kondisi luar ruangan. Di dalam panel tersebut dipasang SCC, baterai, modul step-down LM2596, serta PCB yang memuat ESP32, LCD I2C, LoRa E220, dan koneksi untuk sensor-sensor.
3. Langkah ketiga adalah menghubungkan panel surya dengan SCC. Panel surya 12V disambungkan ke terminal input SCC, sementara baterai dihubungkan ke terminal khusus baterai. Output “LOAD” dari SCC kemudian dimanfaatkan sebagai sumber daya utama, yang dialirkan ke modul step-down converter untuk diturunkan menjadi 5V atau 3,3V sesuai kebutuhan ESP32 dan sensor.
4. Langkah keempat adalah distribusi daya melalui jalur pada PCB. Tegangan keluaran dari step-down dialirkan ke jalur power pada PCB yang telah dirancang, mencakup koneksi suplai daya, ground, serta jalur komunikasi antara ESP32 dan sensor-sensor. Untuk menjaga kesederhanaan rangkaian, tidak ditambahkan saklar maupun indikator tambahan.
5. Langkah kelima adalah pengujian sistem untuk memastikan panel surya mampu mengisi baterai, serta perangkat tetap berfungsi saat malam hari maupun ketika cuaca mendung. Dengan konfigurasi ini, sistem transmitter dapat beroperasi secara otomatis, efisien, dan tetap andal di lingkungan luar ruangan.



Gambar 4. 10 Hasil Perakita Box Transmitter

Gambar 4.10 menampilkan hasil akhir perakitan panel box transmitter, di mana seluruh komponen seperti Solar Charge Controller (SCC), baterai, modul step-down, serta PCB telah dipasang dengan rapi dan terintegrasi. Tata letak komponen diatur sedemikian rupa untuk mempermudah proses pengujian, perawatan, serta menjamin kestabilan sistem saat digunakan di lapangan.

4.3.6 Perakitan Alat Pada Box Receiver

Receiver berperan sebagai unit penerima data dari transmitter. Pada bagian ini, ESP32 kembali digunakan untuk menerima data yang dikirim melalui modul LoRa, kemudian menampilkannya pada laptop maupun dashboard IoT. Proses perakitan diawali dari catu daya, di mana tegangan input diturunkan menggunakan adaptor DC 5 V. Selanjutnya, ESP32 dipasangkan dan dihubungkan ke modul LoRa E220 400T22D melalui komunikasi UART. Data yang diterima LoRa kemudian diolah oleh ESP32 dan ditampilkan pada serial monitor laptop, atau diteruskan ke platform IoT seperti ThingSpeak. Perakitan dalam box Receiver dilaksanakan melalui tahapan berikut:

1. Perakitan sistem LoRa Receiver dimulai dengan menyiapkan box plastik berukuran sekitar 150 x 90 x 60 mm sebagai wadah utama. Komponen yang

dipasang di dalamnya antara lain adaptor 5V 3A, LCD I2C, mikrokontroler ESP32, serta modul LoRa E220 400T22D.

2. Adaptor 5V dihubungkan ke terminal yang tersambung langsung ke input ESP32 sesuai dengan layout rancangan. LCD I2C akan aktif ketika saklar dinyalakan sebagai indikator bahwa sistem telah beroperasi.
3. ESP32 bersama modul LoRa ditempatkan di dalam box dan dihubungkan melalui jalur pin SPI, power, serta ground. Seluruh kabel ditata dengan rapi, sementara antena LoRa diarahkan keluar box menggunakan lubang atau gland karet. Setelah perakitan selesai, dilakukan pengujian dengan menyalakan adaptor untuk memastikan LCD I2C menyala serta ESP32 dan LoRa bekerja dengan baik. Sistem ini dirancang agar dapat beroperasi otomatis dengan suplai daya yang stabil, sehingga layak digunakan di lapangan.



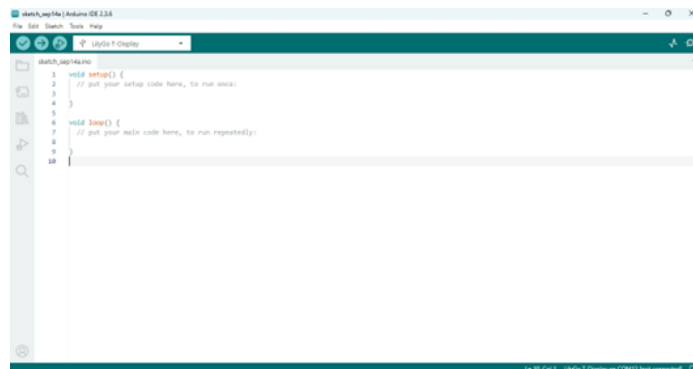
Gambar 4. 11 Hasil Perakitan Box Receiver

4.4 Pembuatan Perangkat Lunak (Software)

Pada tahap pengembangan perangkat lunak, mikrokontroler ESP32 diprogram menggunakan Arduino IDE. ESP32 berperan sebagai pusat kendali yang membaca data dari sensor SEN0564 (CO), SEN0574 (NO₂), PMS5003 (partikulat), serta DHT22 (suhu dan kelembapan). Data hasil pembacaan sensor kemudian dikirimkan melalui modul LoRa E220 400T22D menuju perangkat penerima. Informasi yang diterima selanjutnya diteruskan ke platform ThingSpeak untuk ditampilkan dalam bentuk grafik real-time melalui jaringan internet. Proses pemrograman ini menjadi krusial karena mengatur alur kerja sistem, mulai dari akuisisi data, pengolahan, hingga komunikasi nirkabel.

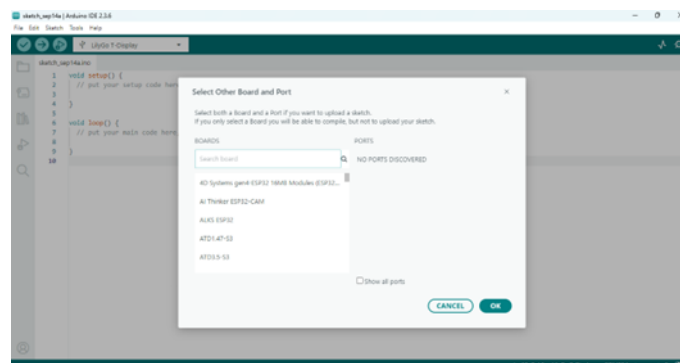
Proses pemrograman dilakukan secara bertahap, dimulai dari instalasi Arduino IDE, konfigurasi board ESP32, pemasangan library untuk sensor dan LoRa, penulisan kode program utama, hingga tahap pengujian komunikasi dengan ThingSpeak. Melalui perangkat lunak ini, seluruh perangkat keras yang telah dirakit dapat bekerja sesuai tujuan penelitian, yaitu melakukan monitoring karbon monoksida (CO), nitrogen dioksida (NO₂), partikulat (PM2.5), serta suhu dan kelembapan lingkungan secara real-time.

1. Buka aplikasi Arduino IDE, lalu masuk ke menu “File” dan pilih opsi “New Sketch” untuk membuat jendela program baru sebagaimana ditunjukkan pada gambar 4.12 berikut.



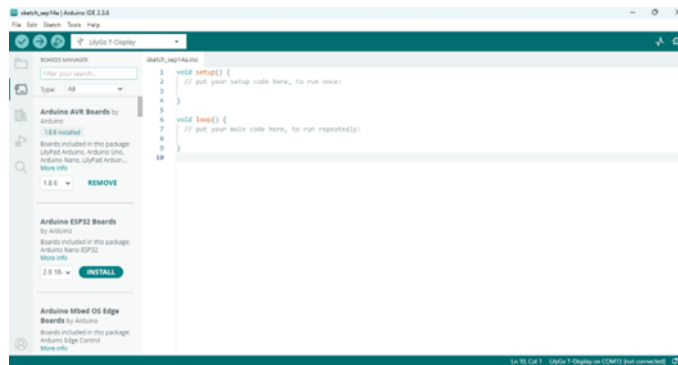
Gambar 4. 12 Tampilan Awal Aplikasi Arduino

2. Hubungkan Arduino IDE dengan board Arduino. Selanjutnya, buka menu Tools, pilih jenis board ESP32, lalu masuk ke menu Port dan tentukan port yang sesuai dengan koneksi kabel USB antara Arduino dan PC, seperti ditunjukkan pada Gambar 4.13



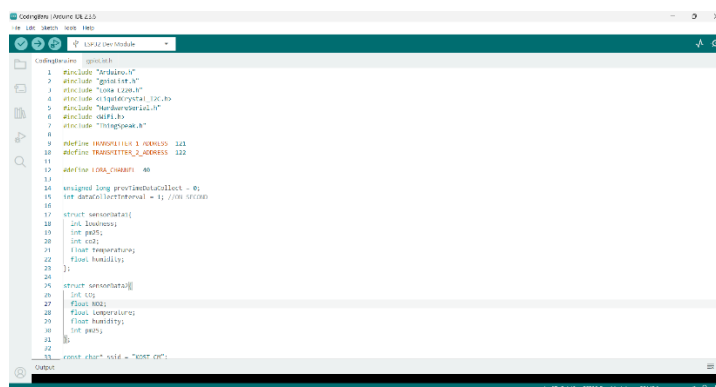
Gambar 4. 13 Memilih Port ESP32

3. Lakukan instalasi seluruh library yang dibutuhkan untuk pemrograman. Proses penambahan library dilakukan dengan membuka menu *Sketch*, memilih opsi *Include Library*, kemudian klik *Add .ZIP Library* seperti terlihat pada Gambar 4.14.



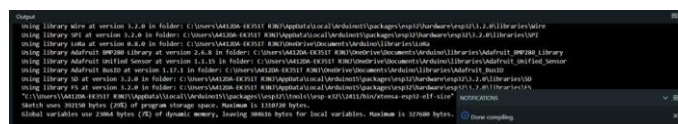
Gambar 4. 14 Proses Upload Library

4. Membuat program keseluruhan alat yang akan upload ke ESP 32 seperti gambar 4.15 berikut.



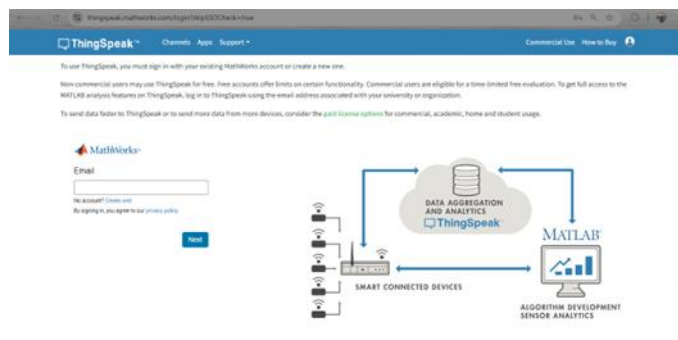
Gambar 4. 15 Membuat Program Untuk Board ESP32

5. Lakukan proses *compile* pada program yang telah dibuat dan pastikan tidak terjadi error selama proses tersebut. Jika compile berhasil, akan muncul notifikasi “Done Compiling” seperti ditunjukkan pada Gambar 4.16



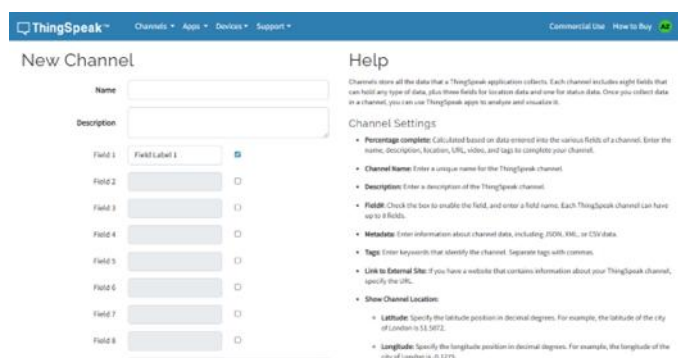
Gambar 4. 16 Tampilan Setelah Compile Berhasil

6. Unggah program ke mikrokontroler ESP32 dengan menekan menu Upload dan pastikan port yang dipilih sudah sesuai. Setelah proses unggah selesai, akan muncul notifikasi “Done Uploading”.
7. Program telah berhasil dimasukkan ke dalam sistem ESP32 dan siap diaplikasikan pada komponen lainnya.
8. Langkah berikutnya adalah membuat akun serta channel pada ThingSpeak. Caranya dengan membuka situs ThingSpeak terlebih dahulu, kemudian melakukan pendaftaran akun baru.



Gambar 4. 17 Tampilan Awal Pembuatan Akun ThingSpeak.

9. Langkah selanjutnya adalah membuat channel baru untuk proyek monitoring. Setelah itu, lakukan pengaturan pada Field 1–5 sesuai parameter yang digunakan, yaitu Field 1 = CO, Field 2 = NO₂, Field 3 = Suhu (Temperature), Field 4 = Kelembapan, dan Field 5 = PM2.5.



Gambar 4. 18 Tampilan Untuk Pembuatan Channel Baru

10. Masukkan API Key dari channel ThingSpeak ke dalam program ESP32, kemudian tambahkan kode agar data dapat dikirim secara berkala ke server ThingSpeak melalui protokol HTTP.

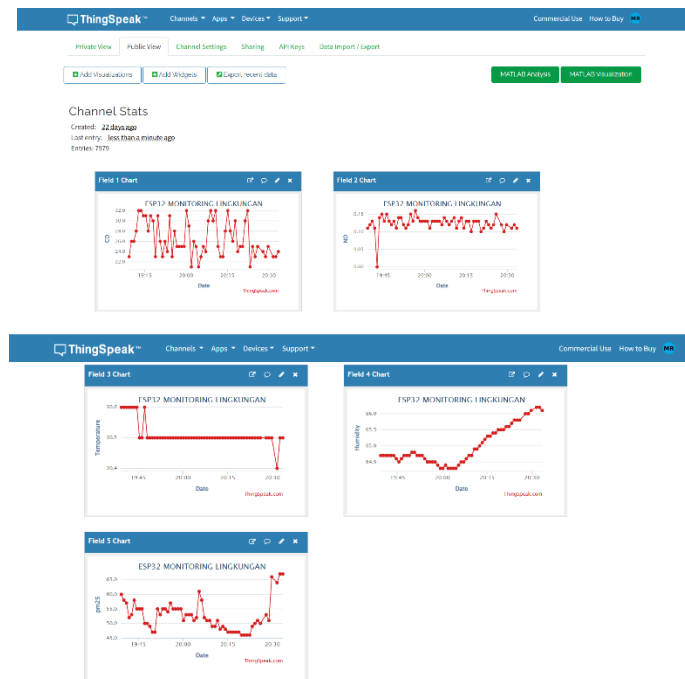
```

DATA2SPEAK.setField(1, DATA2.CO);
DATA2SPEAK.setField(2, DATA2.NO2);
DATA2SPEAK.setField(3, DATA2.temperature);
DATA2SPEAK.setField(4, DATA2.humidity);
DATA2SPEAK.setField(5, DATA2.pm25);
x = DATA2SPEAK.writeFields(DATA2_CHANNEL, DATA2_API_KEY);
if(x == 200) Serial.println("Channel DATA2 update successful.");
else Serial.println("Problem updating channel. HTTP error code " + String(x));
lcd.clear();
lcd.setCursor(0,0);
lcd.print("FINISH SENDING");
delay(500);

```

Gambar 4. 19 Program ThingSpeak Ke ESP32

11. Setelah sistem terhubung, jalankan perangkat dan periksa apakah data dari sensor berhasil terkirim ke ThingSpeak. Selanjutnya, buka dashboard ThingSpeak untuk memantau grafik real-time dari CO, NO₂, suhu, kelembapan, serta PM2.5.



Gambar 4. 20 Tampilan Dashbooard ThingSpeak Monitoring Lingkungan