

BAB IV

PEMBUATAN ALAT RANCANG BANGUN SISTEM MONITORING CO₂, PM_{2.5}, KELEMBAPAN, KEBISINGAN LINGKUNGAN SECARA REAL-TIME BERBASIS ESP32 DAN IOT MENGGUNAKAN LORA

4.1 Pembuatan Prototipe

Dalam proses perancangan dan pelaksanaan tugas akhir ini yang berjudul “Rancang Bangun Sistem Monitoring CO₂, PM_{2.5}, Kelembapan, dan Kebisingan Lingkungan Secara Real-Time Berbasis ESP32 dan IoT Menggunakan LoRa”, diperlukan metode penelitian yang sistematis untuk memastikan 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 dua 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 CO₂, PM_{2.5}, kelembapan, dan kebisingan lingkungan 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

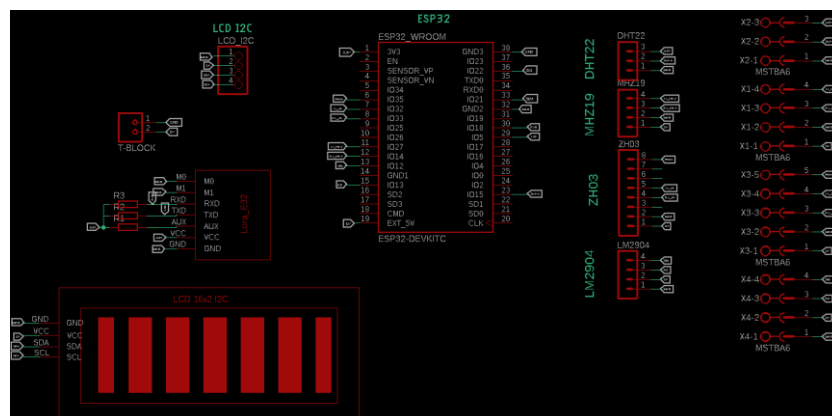
No	Nama Bahan	Spesifikasi	Jumlah
1	Sensor CO2	MHZ19C	1 buah
2	Sensor PM2.5	ZH02B	1 buah
3	Sensor Kelembapan	DHT22	1 buah
4	Sensor Kebisingan	Grove Sensor LM2904	1 buah
5	Mikrokontroler	ESP32 WROOM	2 buah
6	PLTS	30 Wp	1 buah
7	SCC	12V 10A	1 buah
8	Baterai	Aki 12V 7,5Ah	1 buah
9	LoRa	E220 400T22D	2 buah
10	Antena	433 MHz 12 dbi	2 buah
11	Adaptor	5V 3A	1 buah
12	LCD	16x2 I2C	2 buah
13	Terminal Block	2 pin 3 pin 4 pin	Secukupnya
14	Resistor	4,7K Ohm	2 buah
15	Kabel AWG	Awg 24 3 jalur Awg 24 4 jalur Awg 24 5 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 Pembuatan Perangkat Keras (*Hardware*)

Proses pembuatan perangkat keras merupakan tahapan penting dalam mengubah rancangan sistem monitoring menjadi prototipe fisik yang dapat dioperasikan. Pada Tugas Akhir ini, perangkat keras dirancang untuk mendukung pemantauan parameter lingkungan, yaitu kadar CO₂, konsentrasi partikel debu (PM2.5), kelembapan udara, serta tingkat kebisingan dengan basis mikrokontroler ESP32. Sistem ini dilengkapi dengan modul komunikasi LoRa sebagai media transmisi data jarak jauh secara real-time menuju pusat pemantauan. Tahapan pembuatan perangkat keras meliputi proses desain rangkaian, pemilihan komponen sesuai kebutuhan, hingga perakitan keseluruhan perangkat agar mampu bekerja secara optimal di lapangan sesuai spesifikasi yang telah ditentukan.

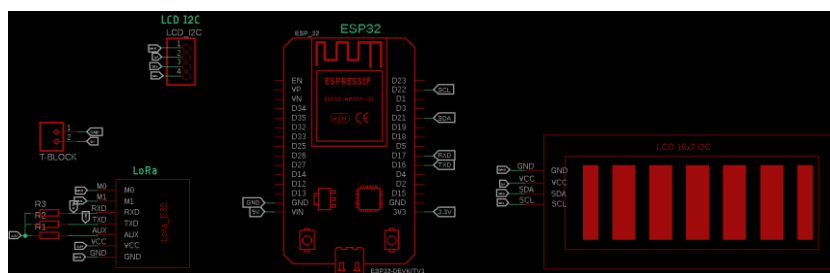
4.3.1 Desain Perangkat Keras (*Hardware*)

Perancangan sistem perangkat keras diawali dengan proses desain PCB (Printed Circuit Board) sebagai dasar dalam penyusunan dan integrasi seluruh komponen elektronika. Pembuatan desain PCB dilakukan menggunakan perangkat lunak khusus agar jalur koneksi antar komponen dapat tersusun rapi, efisien, dan sesuai dengan kebutuhan sistem monitoring. Proses perancangan ini mencakup penentuan tata letak mikrokontroler ESP32, modul LoRa E220, sensor MH-Z19, ZH03B, DHT22, serta Loudness Sensor LM2904, sehingga setiap komponen memiliki posisi yang optimal dan meminimalkan risiko interferensi. Selain itu, jalur catu daya dan sinyal dirancang sedemikian rupa agar distribusi listrik stabil dan komunikasi data berlangsung tanpa gangguan.



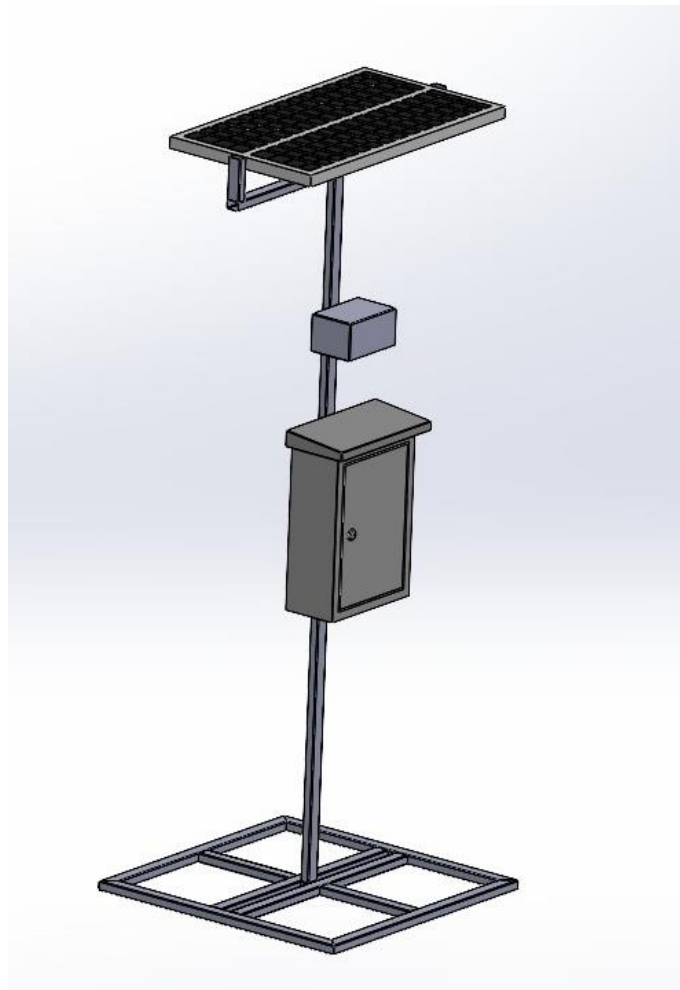
Gambar 4. 1 Desain Schematic Rangkaian Transmitter

Gambar 4.1 menampilkan skematik rangkaian transmitter yang dirancang khusus untuk mengintegrasikan seluruh sensor lingkungan dengan mikrokontroler ESP32. Pada rangkaian ini, sensor MH-Z19 digunakan untuk mendeteksi konsentrasi CO₂, sensor ZH03B untuk mengukur kadar partikel debu halus (PM2.5), sensor DHT22 untuk membaca suhu serta kelembapan, dan sensor LM2904 untuk memantau tingkat kebisingan. Seluruh sensor tersebut dihubungkan ke ESP32 yang berfungsi sebagai pusat pengolah data, kemudian data hasil pembacaan dikirimkan melalui modul LoRa E220 400T22D sebagai media komunikasi nirkabel ke perangkat penerima. Skematik ini menjadi acuan penting dalam pembuatan PCB transmitter, memastikan integrasi antar komponen berjalan optimal sebelum proses perakitan perangkat keras dilakukan.



Gambar 4. 2 Desain Schematic Rangkaian Receiver

Gambar 4.2 memperlihatkan skematik rangkaian receiver yang berfungsi sebagai penerima data hasil pengukuran dari modul transmitter melalui komunikasi LoRa E220 400T22D. Pada rangkaian ini, mikrokontroler ESP32 berperan sebagai pusat pemrosesan untuk menerima, mengolah, dan meneruskan data ke server atau platform IoT seperti ThingSpeak secara real-time. Desain PCB receiver difokuskan pada integrasi modul LoRa dengan ESP32 serta penyediaan jalur catu daya yang stabil guna memastikan kinerja perangkat tetap andal. Skematik ini menjadi acuan penting dalam proses pembuatan PCB receiver, sehingga seluruh komponen dapat terhubung secara sistematis dan mendukung alur komunikasi data dari transmitter ke pusat monitoring.



Gambar 4. 3 Desain Pembuatan Perangkat Keras (Hardware)

Gambar 4.3 menampilkan desain 3D keseluruhan perangkat keras yang dirancang dalam penelitian ini. Desain menyeluruh ini menggambarkan integrasi sistem mulai dari rangkaian elektronik hingga tata letak mekanik, sehingga memudahkan visualisasi bentuk fisik perangkat sebelum proses perakitan dilakukan. Dalam rancangan ini, setiap bagian ditempatkan secara terstruktur agar perangkat memiliki bentuk yang ringkas, kokoh, serta sesuai dengan kebutuhan operasional di lapangan. Visualisasi 3D ini juga berfungsi sebagai acuan utama dalam memastikan bahwa konfigurasi perangkat keras dapat diwujudkan dengan tepat, sekaligus meminimalisir kesalahan pada tahap realisasi.

4.3.2 Perancangan Rangkaian

Perancangan sistem monitoring lingkungan ini dilakukan secara bertahap mulai dari pembuatan papan rangkaian (PCB), perakitan rangkaian transmitter, perakitan rangkaian receiver, hingga tahap akhir berupa perakitan mekanik di dalam box panel yang dilengkapi dengan panel surya sebagai sumber energi. Setiap tahapan dikerjakan secara hati-hati agar alat dapat berfungsi dengan baik, mengingat sistem ini terdiri dari berbagai sensor, mikrokontroler ESP32, serta modul komunikasi jarak jauh LoRa. Dengan adanya tahapan yang runtut, perancangan tidak hanya menghasilkan alat yang berfungsi sesuai tujuan, tetapi juga memberikan pemahaman mendalam terhadap integrasi antar komponen, sistem catu daya, serta proteksi mekanik agar alat dapat bekerja dalam kondisi lapangan.

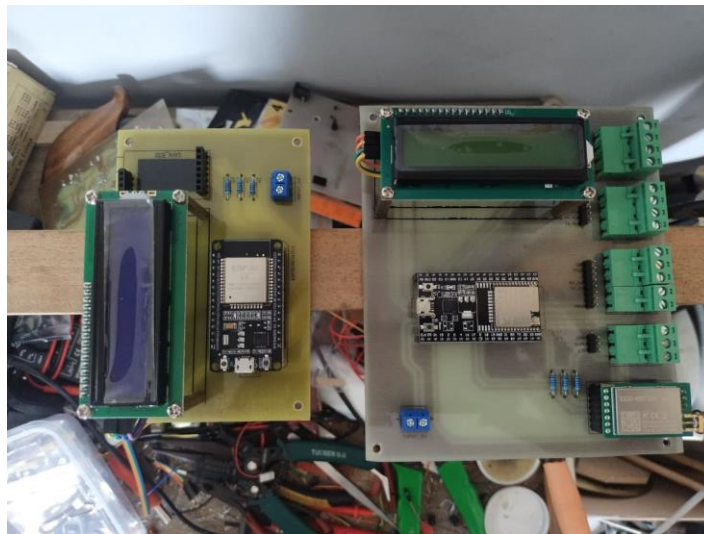
1. Percetakan PCB

Tahap pertama adalah merancang jalur rangkaian elektronik menggunakan software desain PCB menggunakan EasyEDA. Rangkaian skematik dibuat berdasarkan integrasi ESP32 dengan sensor MH-Z19 (CO₂), ZH03B (PM2.5), DHT22 (suhu dan kelembapan), serta sensor kebisingan berbasis LM2904. Modul LoRa E220 400T22D juga digambarkan dalam skematik dengan jalur komunikasi UART. Proses pembuatan PCB melalui beberapa tahapan berikut:

1. Membuat desain skematik rangkaian pada software EasyEDA.
2. Setelah skematik selesai, dilanjutkan dengan pembuatan layout komponen pada PCB agar jalur tidak saling bertumpukan.
3. Layout ini kemudian diekspor menjadi Gerber file dan dicetak menjadi PCB.
4. PCB yang sudah dicetak selanjutnya siapkan semua komponen beserta alat bantu yang diperlukan.
5. Selanjutnya siapkan bor untuk lubangin pcb sesuai layout yang sudah dibuat.
6. Setelah itu siapkan pin header dan terminal blok untuk dipasang ke pcb yang sudah di lubanginya, 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 Receiver dan Transmitter

Gambar 4.4 menampilkan rancangan rangkaian transmitter dan receiver yang digunakan dalam penelitian ini. Rangkaian transmitter terdiri dari sensor MH-Z19, ZH03B, DHT22, serta modul sensor kebisingan berbasis LM2904 dan LCD I2C yang dihubungkan dengan mikrokontroler ESP32, kemudian dikoneksikan ke modul LoRa E220 400T22D untuk mengirimkan data secara real-time. Sementara itu, rangkaian receiver dirancang dengan modul LoRa E220 400T22D dan LCD I2C yang terhubung ke ESP32 sebagai penerima, lalu diteruskan ke media tampilan atau server IoT untuk proses monitoring. Kedua rangkaian ini digambarkan secara detail agar mudah dipahami alur kerjanya, sekaligus menjadi acuan penting dalam proses perakitan. Dengan adanya rancangan ini, integrasi sistem antara transmitter dan receiver dapat divisualisasikan lebih jelas sehingga meminimalisir kesalahan saat tahap implementasi perangkat keras.

2. Perakitan Alat Pada Box Transmitter

Rangkaian transmitter merupakan pusat dari sistem monitoring. Komponen utama pada bagian ini adalah ESP32 yang berfungsi sebagai mikrokontroler pengendali, sensor lingkungan yang melakukan pengukuran, serta modul LoRa E220 400T22D yang bertugas mengirimkan data ke sisi penerima. Perakitan diawali dari sistem catu daya menggunakan modul step-down LM2596 untuk menurunkan tegangan 12 V dari baterai atau panel surya menjadi 5 V, kemudian disalurkan ke ESP32, sensor, dan LoRa. Untuk sensor tertentu yang membutuhkan 3,3 V, digunakan regulator tambahan agar stabil. Setelah itu, seluruh sensor dipasang sesuai dengan pin input/output pada ESP32. Hasil bacaan sensor diproses oleh ESP32 lalu dikirimkan secara real-time ke receiver melalui modul LoRa yang dilengkapi antena eksternal. Proses perakitan dalam panel box dilakukan dengan tahapan berikut:

1. Pertama persiapan Alat dan Bahan. Tahap awal dimulai dengan menyiapkan seluruh komponen dan alat, seperti SCC, baterai Aki, ESP32, sensor-sensor, serta peralatan pendukung lain yang dibutuhkan dalam perakitan.
2. Pemasangan Komponen ke Panel Box. Digunakan panel box tahan air berukuran $\pm 35 \times 25 \times 12$ cm untuk melindungi perangkat dari cuaca luar ruangan. Di dalamnya dipasang SCC, baterai, modul step-down LM2596, serta PCB yang berisi ESP32, LCD I2C, LoRa E220, dan pin sensor-sensor.
3. Koneksi Panel Surya dan SCC. Panel surya 12V dihubungkan ke terminal input SCC, sedangkan baterai ke terminal baterai. Output “LOAD” dari SCC digunakan sebagai sumber daya utama, yang dialirkan ke step-down converter untuk diturunkan menjadi 5V atau 3.3V sesuai kebutuhan ESP32 dan sensor.
4. Distribusi Daya dan Jalur PCB. Tegangan dari step-down disalurkan ke jalur power pada PCB yang sudah dirangkai. Jalur ini mencakup koneksi daya, ground, dan jalur komunikasi antara ESP32 dengan sensor-sensor. Tidak digunakan saklar atau indikator tambahan untuk menyederhanakan rangkaian.

5. Setelah selesai, sistem diuji untuk memastikan panel surya dapat mengisi baterai dan sistem dapat tetap aktif saat malam hari atau cuaca mendung. Konfigurasi ini mendukung sistem transmiter bekerja otomatis, efisien, dan tahan terhadap lingkungan luar ruangan.



Gambar 4. 5 Hasil Perakitan Panel Box Transmitter

Gambar 4.5 menunjukkan hasil akhir dari proses perakitan panel box transmiter, di mana seluruh rangkaian dan komponen seperti Solar Charge Controller (SCC), baterai, modul step-down, dan PCB telah terpasang dengan rapi dan terintegrasi. Penempatan komponen disusun sedemikian rupa agar memudahkan pengujian, perawatan, dan memastikan sistem dapat beroperasi stabil dalam kondisi lapangan.

3. Perakitan Alat Pada Box Receiver

Receiver berfungsi sebagai penerima data dari transmitter. Pada bagian ini, ESP32 digunakan kembali untuk menerima data yang dikirim oleh transmitter melalui modul LoRa, kemudian menampilkannya pada laptop atau dashboard IoT. Perakitan dimulai dari catu daya, di mana tegangan input diturunkan menggunakan adaptor DC 5 V. Setelah itu, ESP32 dipasang dan dihubungkan ke modul LoRa

E220 400T22D melalui komunikasi UART. Data yang diterima oleh LoRa diproses oleh ESP32 dan ditampilkan pada serial monitor laptop, atau dikirim ke aplikasi IoT seperti ThingSpeak. Proses perakitan dalam box Receiver dilakukan dengan tahapan berikut:

1. Perakitan sistem LoRa Receiver diawali dengan menyiapkan box plastik berukuran $\pm 150 \times 90 \times 60$ mm sebagai wadah utama. Komponen yang digunakan meliputi adaptor 5V 3A, LCD I2C, mikrokontroler ESP32, dan modul LoRa E220 400T22D.
2. Adaptor 5V disambungkan ke Terminal yang terhubung langsung ke input ESP32 sesuai layout desain. LCD I2C akan menyala saat saklar aktif sebagai tanda sistem menyala.
3. ESP32 dan LoRa dipasang di dalam box, kemudian dikoneksikan sesuai jalur pin SPI, power, dan ground. Kabel-kabel dirapikan dan antenna LoRa diarahkan keluar box melalui lubang atau gland karet. Setelah semua terpasang, sistem diuji dengan menyalakan adaptor, memastikan LCD I2C aktif serta ESP32 dan LoRa berfungsi normal. Sistem ini dirancang agar berjalan otomatis dengan catu daya stabil, cocok untuk penggunaan lapangan.



Gambar 4. 6 Hasil Perakitan Box Receiver

Gambar 4.6 menunjukkan hasil akhir dari proses perakitan sistem LoRa Receiver, yang terdiri atas ESP32, modul LoRa E220, adaptor 5V3A, dan LCD I2C, yang semuanya terpasang rapi di dalam box plastik tahan air dan siap digunakan di lapangan.

4. Perakitan Mekanik di Box Panel dan Panel Surya

Tahap terakhir adalah perakitan mekanik, yaitu menempatkan seluruh komponen ke dalam box panel yang tahan terhadap kondisi luar ruangan. Penempatan komponen dilakukan dengan mempertimbangkan fungsi sensor agar tidak terganggu. Sensor MH-Z19 dan ZH03B diposisikan pada area dengan ventilasi sehingga dapat membaca kualitas udara dengan baik. Sensor DHT22 ditempatkan pada lubang ventilasi khusus yang dilindungi dengan pelindung radiasi untuk mengurangi pengaruh panas matahari. Sensor kebisingan berbasis LM2904 dengan mikrofon elektret dipasang diposisikan pada area ventilasi. Panel surya diletakkan di atas box panel dengan kemiringan sekitar 30–45° agar penyinaran lebih optimal, kemudian dihubungkan ke solar charge controller yang bertugas mengatur pengisian baterai. Semua kabel dipastikan dulu agar lebih rapi dan terlindungi dari air. Proses perakitan mekanik dilakukan dengan tahapan berikut:

1. Pertama pastikan besi yang akan digunakan sebagai bahan utama untuk kerangka. Besi ini dipotong sesuai ukuran yang dibutuhkan untuk menyusun dudukan panel surya dan tempat pemasangan sensor.
2. Setelah itu, dilanjutkan dengan proses pengelasan untuk menyambung potongan potongan besi menjadi satu rangka utuh. Rangka ini akan menjadi struktur utama yang menopang sensor dan panel surya. Agar hasil sambungan terlihat rapi dan tidak tajam, maka dilakukan penghalusan bagian sambungan menggunakan mesin gerinda.
3. Tahapan berikutnya adalah pengeboran pada dudukan sensor, yaitu membuat lubang-lubang untuk pemasangan baut sensor agar terpasang dengan kuat. Setelah semua bagian rangka selesai dibuat, dilakukan proses perakitan atau pencomponan, yaitu menyusun dan menggabungkan seluruh bagian ke dalam satu kesatuan rangkaian mekanik.
4. Setelah perakitan selesai, rangka diberikan lapisan cat agar tidak mudah berkarat dan tahan terhadap cuaca. Terakhir, dilakukan perakitan akhir, yaitu memasang sensor, kabel, dan perangkat lainnya ke dalam rangkaian mekanik agar siap digunakan di lapangan.

5. Setelah seluruh desain dan komponen selesai, tahap selanjutnya adalah proses perakitan mekanik yang bertujuan untuk menyatukan semua bagian fisik dari sistem.



Gambar 4. 7 Perakitan Rangkaian Mekanik

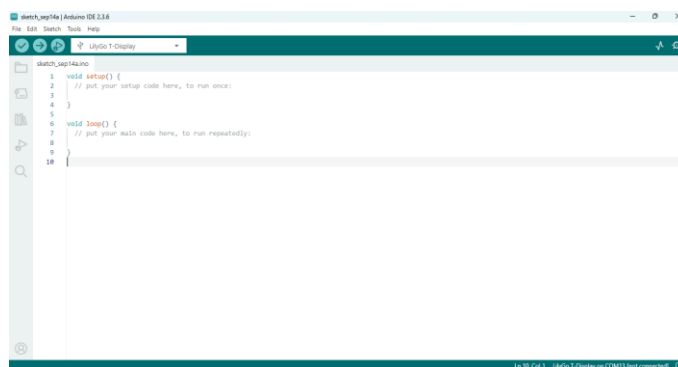
Gambar 4.7 berikut menunjukkan dokumentasi proses perakitan mekanik perangkat keras yang dilakukan secara bertahap, mulai dari pemasangan sensor hingga penempatan komponen ke dalam struktur rangkaian.

4.4 Pembuatan Perangkat Lunak (Software)

Pada tahap pembuatan perangkat lunak, mikrokontroler ESP32 diprogram menggunakan aplikasi Arduino IDE. ESP32 berfungsi sebagai pusat kendali yang akan membaca data dari sensor MH-Z19, ZH03B, DHT22, dan LM2904, kemudian mengirimkan data tersebut melalui modul LoRa E220 400T22D menuju perangkat penerima. Data yang sudah diterima selanjutnya dikirimkan ke platform ThingSpeak agar dapat ditampilkan dalam bentuk grafik real-time melalui jaringan internet. Tahap pemrograman ini menjadi sangat penting karena menentukan alur kerja sistem mulai dari akuisisi data, pengolahan data, hingga proses komunikasi nirkabel.

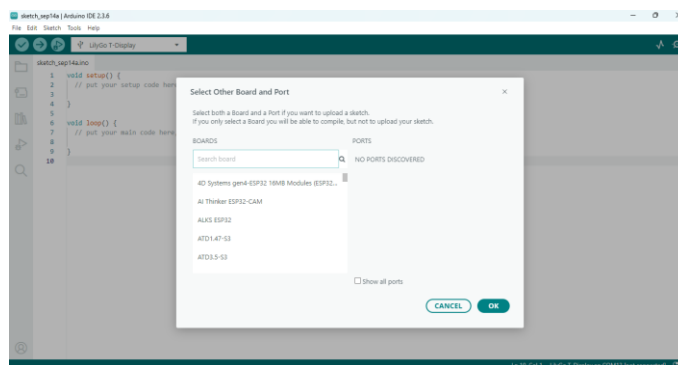
Proses pemrograman dilakukan secara bertahap mulai dari instalasi Arduino IDE, konfigurasi board ESP32, instalasi library sensor dan LoRa, penulisan kode program utama, hingga pengujian komunikasi dengan ThingSpeak. Dengan adanya perangkat lunak ini, seluruh perangkat keras yang telah dirakit dapat berfungsi sesuai tujuan penelitian, yaitu melakukan monitoring CO₂, PM2.5, kelembapan, dan kebisingan lingkungan secara real-time.

1. Buka aplikasi Arduino IDE, kemudian pilih menu “file” klik “New Sketch” untuk membuat halaman program baru seperti pada gambar 4.8 berikut.



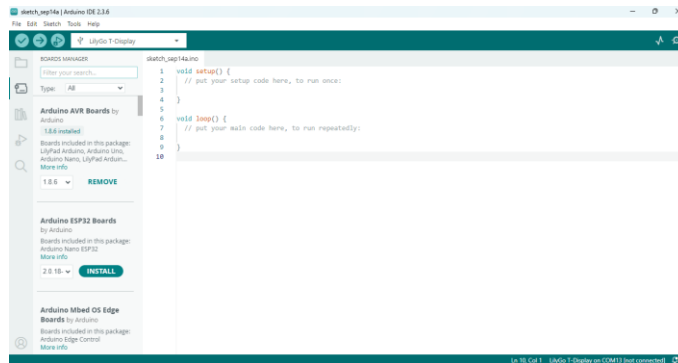
Gambar 4. 8 Tampilan Awal Aplikasi Arduino IDE

2. Koneksikan Arduino IDE dengan board Arduino. Klik menu Tools lalu pilih board ESP32, kemudian pilih menu port dan pilih port sesuai koneksi kabel USB dari Arduino pada PC seperti gambar 4.9 berikut.



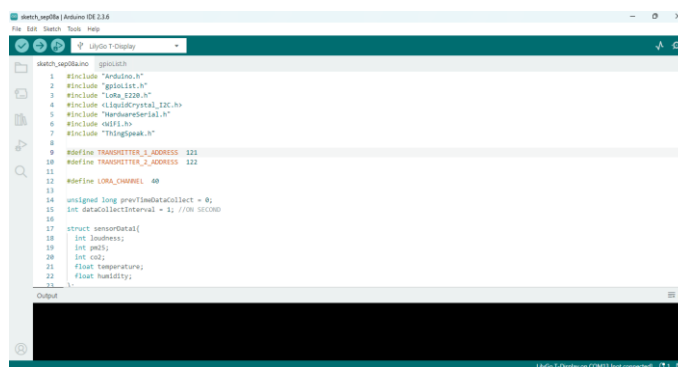
Gambar 4. 9 Memilih Port ESP32

3. Install semua library yang diperlukan untuk pemograman. Upload library dilakukan dengan meilih menu “sketch”, klik “Include Library”, dan pilih “Add.ZIP library” seperti yang ditampilkan pada gambar 4.10 berikut.



Gambar 4. 10 Proses Upload Library

4. Mengetikan program keseluruhan alat yang akan di upload ke Esp32 seperti gambar 4.11 berikut.



Gambar 4. 11 Membuat Program untuk Board Esp32

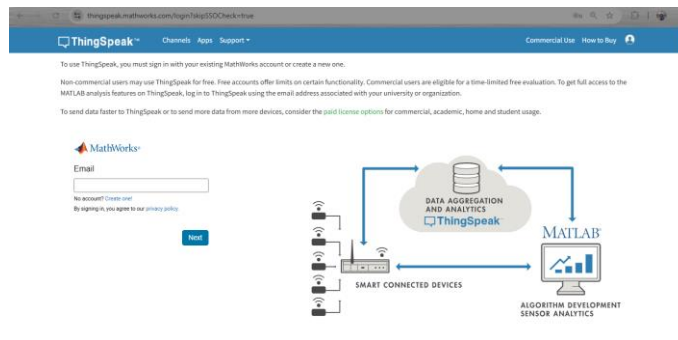
5. Compile program yang sudah dibuat tadi dan pastikan tidak terdapat error dalam proses compiling. Setelah proses compiling selesai, maka akan muncul pemberitahuan”done compiling” seperti pada gambar 4.12 berikut.



Gambar 4. 12 Tampilan Setelah Compile Berhasil

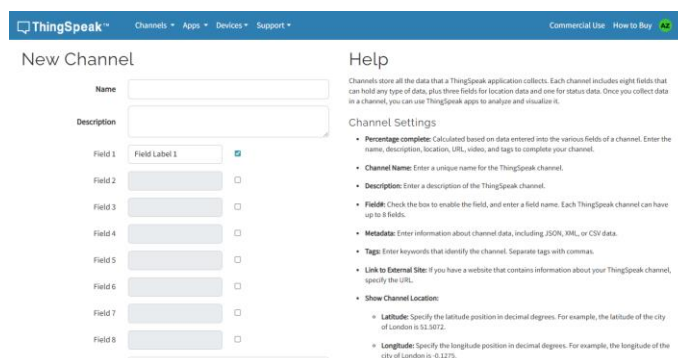
6. Melakukan uploading program ke mikrokontroler Esp32 dengan menekan menu upload dan pastikan sesuai port yang telah dipilih sebelumnya. Setelah uploading selesai, maka akan muncul pemberitahuan”done uploading”.

7. Program sudah masuk ke dalam sistem Esp32 dan bisa diaplikasikan pada komponen yang lainnya.
8. Kemudian selanjutnya membuat akun dan channel di ThingSpeak. Pertama buka situs ThingSpeak lalu daftar akun baru.



Gambar 4. 13 Tampilan Buat Akun Baru ThingSpeak

9. Buat channel baru untuk proyek monitoring. Kemudian, atur Field 1–5 sesuai parameter (Field 1 = Loudness, Field 2 = PM2.5, Field 3 = CO₂, Field 4 = Suhu (Temperature), Field 5 = Kelembapan).



Gambar 4. 14 Tampilan Buat Channel Baru

10. Masukkan API key dari channel ThingSpeak ke dalam program ESP32, lalu Tambahkan kode untuk mengirim data ke server ThingSpeak secara berkala menggunakan protokol HTTP.

```
DATA1SPEAK.setField(1, DATA1.loudness);
DATA1SPEAK.setField(2, DATA1.pm25);
DATA1SPEAK.setField(3, DATA1.co2);
DATA1SPEAK.setField(4, DATA1.temperature);
DATA1SPEAK.setField(5, DATA1.humidity);
int x = DATA1SPEAK.writeFields(DATA1_CHANNEL, DATA1_API_KEY);
if(x == 200) Serial.println("Channel DATA1 update successful.");
else Serial.println("Problem updating channel. HTTP error code " + String(x));
delay(5000);
```

Gambar 4. 15 Program ThingSpeak ke ESP32

11. Setelah terhubung coba jalankan sistem, kemudian amati apakah data dari sensor berhasil terkirim ke ThingSpeak. Buka dashboard ThingSpeak untuk melihat grafik real-time dari CO₂, PM2.5, suhu/kelembapan, dan kebisingan.



Gambar 4. 16 Tampilan Dashboard ThingSpeak Monitoring Lingkungan