

BAB IV

HASIL DAN PEMBAHASAN

4.1 Implementasi Sistem

Pada penelitian ini, dikembangkan sistem pemantauan kualitas udara berbasis *Internet of Things (IoT)* dengan menggunakan mikrokontroler *ESP8266* dan platform *ThingSpeak* sebagai media pemantauan data secara *real-time*. Sistem ini dirancang untuk memudahkan pengguna dalam memantau kondisi udara di lingkungan tertentu secara berkala, baik dari segi suhu, kelembapan, tingkat gas berbahaya, maupun kepadatan partikel debu.

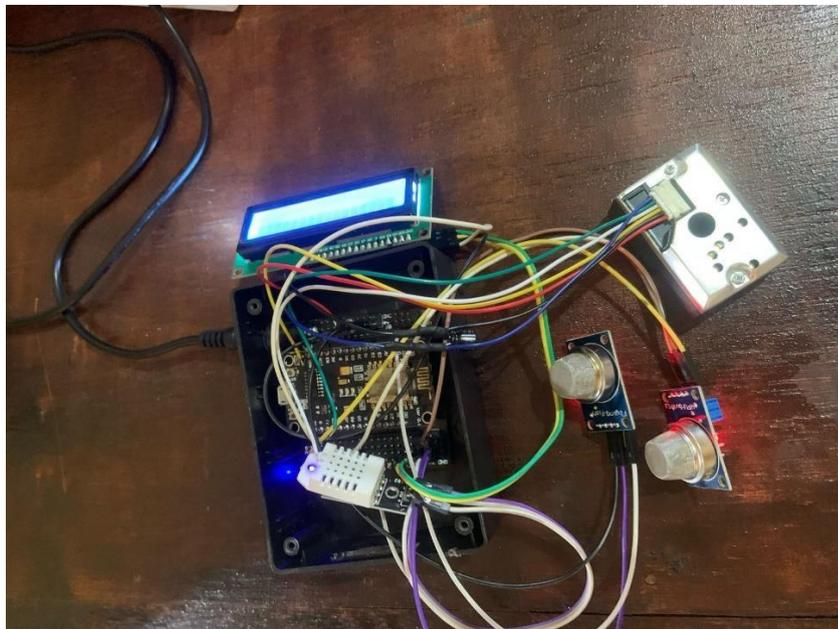
Sistem terdiri dari beberapa komponen utama, yaitu:

- a. *ESP8266* sebagai mikrokontroler,
- b. Sensor *DHT22* untuk mengukur suhu dan kelembapan,
- c. Sensor gas *MQ-2* dan *MQ-135* untuk mendeteksi kandungan gas berbahaya seperti asap dan CO_2 ,
- d. Sensor debu *Sharp GP2Y1010AU0F* untuk mengukur partikel debu di udara.

Hasil pembacaan dari masing-masing sensor akan dikirim ke platform *ThingSpeak* melalui koneksi *Wi-Fi* yang terhubung ke *ESP8266*. Selain itu, sistem ini juga dilengkapi dengan *LCD I2C* untuk menampilkan informasi kualitas udara secara langsung di lokasi alat dipasang. Platform *ThingSpeak* digunakan untuk menampilkan data secara grafis dan menyimpan data pemantauan dalam jangka waktu tertentu sehingga dapat dilakukan analisis tren kualitas udara dari waktu ke waktu.

Dengan implementasi sistem ini, diharapkan pengguna dapat lebih mudah

dalam melakukan pengawasan terhadap kondisi udara secara efektif dan efisien. Gambar 4.1 berikut menampilkan blok diagram keseluruhan sistem pemantauan kualitas udara yang telah dirancang.



Gambar 4. 1 Tampilan Akhir Alat

Pada Gambar 4.1, terlihat bahwa perangkat keras terdiri dari beberapa komponen yang saling terkoneksi dan bekerja secara otomatis sesuai dengan logika yang telah dimasukkan dalam proses pemrograman. *ESP8266* berfungsi sebagai pusat kendali atau mikrokontroler utama yang mengatur keseluruhan sistem melalui koneksi *Wi-Fi* serta memproses data yang diperoleh dari beberapa sensor.

Sensor *DHT22* digunakan untuk mengukur suhu dan kelembapan udara. Sensor ini terhubung ke salah satu pin digital pada *ESP8266* dan secara berkala mengirimkan data kondisi lingkungan sekitar. Sensor gas *MQ-2* dan *MQ-135* berfungsi untuk mendeteksi keberadaan gas-gas berbahaya seperti asap, *LPG*, *CO*, maupun kandungan *CO₂* di udara. Kedua sensor ini akan memberikan *output*

analog yang kemudian dibaca oleh *ESP8266* untuk mengetahui konsentrasi gas dalam satuan *ppm*.

Selain itu, sistem juga dilengkapi dengan sensor debu *Sharp GP2Y1010AU0F* yang digunakan untuk mengukur jumlah partikel debu di udara. Sensor ini bekerja dengan memantulkan cahaya inframerah ke partikel debu dan mendeteksi pantulannya. Nilai konsentrasi debu ini sangat penting untuk mengetahui kualitas udara secara lebih akurat, terutama di lingkungan yang rentan terhadap polusi. Semua data yang diperoleh dari sensor-sensor tersebut diproses oleh *ESP8266* dan kemudian dikirimkan ke platform *IoT ThingSpeak* secara *real-time* melalui koneksi internet. Di *ThingSpeak*, data ditampilkan dalam bentuk grafik yang mudah dipahami dan dapat dipantau dari jarak jauh melalui komputer atau perangkat seluler.

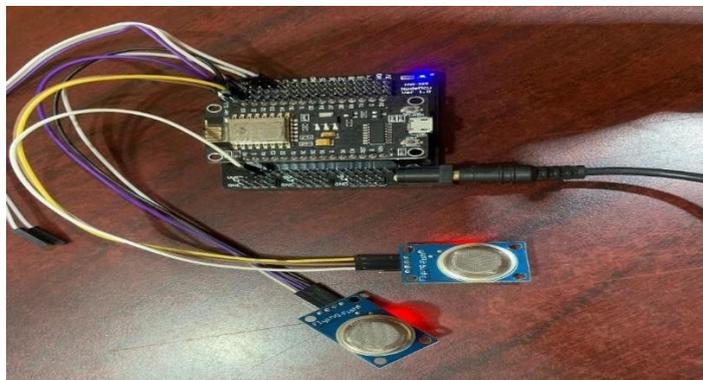
Selain pengiriman data ke *cloud*, sistem juga dilengkapi dengan *LCD I2C* yang menampilkan informasi suhu, kelembapan, kadar gas, dan debu secara langsung di lokasi pemasangan alat. Ini memudahkan pengguna untuk memantau kondisi udara tanpa harus membuka *dashboard ThingSpeak*. Sistem ini bekerja secara otomatis dengan mengintegrasikan *ESP8266* sebagai pengontrol utama, sensor-sensor lingkungan sebagai pengumpul data, *LCD* sebagai penampil lokal, dan *ThingSpeak* sebagai platform pemantauan jarak jauh. Dengan sistem ini, pengguna dapat memperoleh informasi kualitas udara secara cepat dan akurat, serta dapat mengambil tindakan pencegahan atau perbaikan apabila terjadi kondisi udara yang tidak sehat.

4.2 Pengujian Komponen Perangkat Keras

4.2.1 Pengujian Sensor Gas MQ-2 dan MQ-135

Pengujian sensor gas *MQ-2* dan *MQ-135* dilakukan untuk memastikan bahwa sensor mampu mendeteksi keberadaan gas berbahaya seperti asap, *LPG*, karbon monoksida (*CO*), dan senyawa organik volatil (*VOC*) di udara. Pengujian ini penting untuk mengetahui seberapa sensitif sensor terhadap perubahan kualitas udara serta memastikan akurasi pembacaan tegangan *output* sensor yang merepresentasikan konsentrasi gas.

Sensor *MQ-2* dan *MQ-135* dihubungkan ke pin analog mikrokontroler *ESP8266*. Selama pengujian, sensor diletakkan di ruangan dengan kondisi udara normal, kemudian diuji dengan mendekatkan sumber gas seperti asap rokok atau cairan alkohol untuk melihat respons sensor terhadap pencemaran udara. Nilai *output* sensor dibaca dalam bentuk tegangan analog dan dikonversi menjadi status kualitas udara melalui pemrosesan data di program mikrokontroler. Data hasil pembacaan sensor selanjutnya dikirim ke platform *IoT ThingSpeak* untuk dipantau secara *real-time*. Hasil pengujian menunjukkan bahwa kedua sensor mampu memberikan perubahan nilai tegangan yang konsisten terhadap variasi tingkat polusi udara di sekitarnya.



Gambar 4. 2 Pengujian Sensor Gas MQ-2 dan MQ-135

Pada Gambar 4.2 di atas, pengujian dilakukan dengan menempatkan sensor gas *MQ-2* dan *MQ-135* di dalam ruangan tertutup. Pengujian ini bertujuan untuk mengevaluasi kemampuan sensor dalam mendeteksi perubahan konsentrasi gas di udara serta keandalan sistem dalam merespons kondisi pencemaran udara. Dalam pengujian ini, dilakukan beberapa skenario untuk mengetahui respons sensor terhadap kualitas udara yang berbeda, di antaranya:

1. Pengujian Udara Bersih (*Tanpa Paparan Gas*)

Pada skenario ini, sensor ditempatkan di ruangan dengan ventilasi baik dan tanpa paparan sumber gas berbahaya:

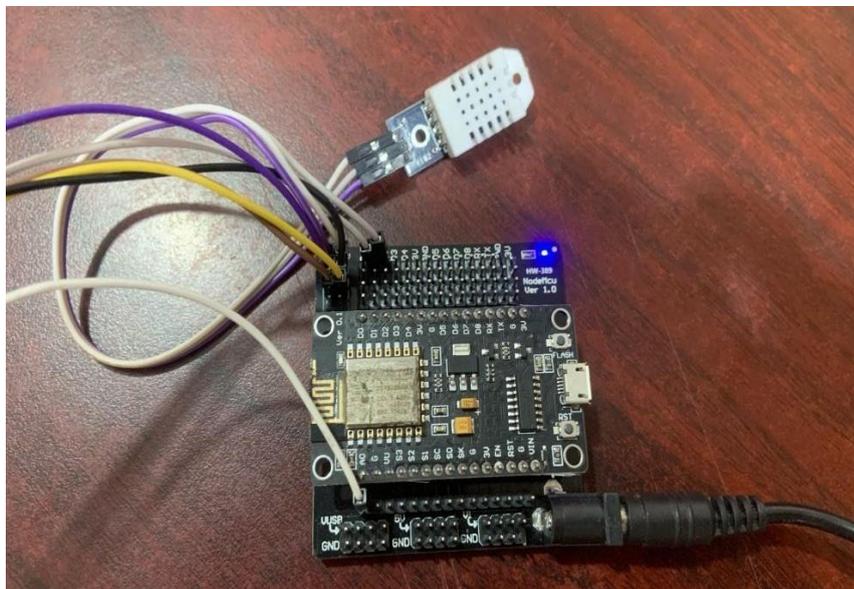
- a. Tegangan *MQ-2*: 1.00 V
- b. Tegangan *MQ-135*: 0.95 V
- c. Status Sistem: Aman (tidak tercemar)
- d. Notifikasi: Tidak ada notifikasi dikirim ke *ThingSpeak*

4.2.2 Pengujian Sensor Suhu dan Kelembapan *DHT22*

Pengujian sensor *DHT22* dilakukan untuk memverifikasi kemampuan sensor dalam mengukur suhu dan kelembapan udara secara akurat. Sensor ini merupakan salah satu komponen penting dalam sistem pemantauan kualitas udara berbasis *ESP8266* yang dirancang untuk mengirimkan data ke platform *IoT ThingSpeak*.

Pengujian bertujuan untuk memastikan bahwa sensor dapat bekerja dengan baik dalam kondisi lingkungan berbeda dan memberikan data yang konsisten. Sensor *DHT22* dihubungkan ke mikrokontroler *ESP8266* dan dibandingkan hasil bacaannya dengan alat pengukur suhu dan kelembapan digital sebagai acuan. Pengujian dilakukan di dua lingkungan berbeda yaitu ruangan ber-AC dan luar

ruangan. Hasil sensor suhu dan kelembapan *DHT22* dapat dilihat pada Gambar 4.3 di bawah ini.



Gambar 4. 3 Pengujian Sensor Suhu dan Kelembapan DHT22

Berdasarkan Gambar 4.3 di atas, pengujian dilakukan dengan memvariasikan kondisi lingkungan untuk melihat perubahan suhu dan kelembapan yang terdeteksi oleh sensor *DHT22*. Sensor ini terhubung ke pin GPIO pada mikrokontroler *ESP8266*, dan data yang terbaca dikirim ke *ThingSpeak* untuk divisualisasikan secara *real-time*.

Selama pengujian, suhu dan kelembapan lingkungan diukur dalam beberapa kondisi, seperti di dalam ruangan ber-AC dan luar ruangan. Sensor *DHT22* dikalibrasi dan dibandingkan dengan alat ukur digital sebagai referensi.

Tabel 4. 1 Pengujian Sensor Suhu dan Kelembapan DHT22

No	Kondisi Lingkungan	Suhu DHT-22(°C)	Suhu Alat Acuan (°C)	Kelembapan DHT22 (%)	Kelembapan Alat Acuan (%)
1	Ruangan ber-AC	24.5	25.0	55.3	56
2	Luar ruangan	30.2	30.0	61.2	60

Hasil tersebut menunjukkan bahwa sensor *DHT22* bekerja dengan baik dan memiliki tingkat akurasi yang cukup tinggi. Hal ini membuktikan bahwa *DHT22* dapat digunakan secara efektif dalam sistem pemantauan kualitas udara berbasis *IoT* menggunakan *ESP8266*.

4.2.3 Pengujian Sensor Debu *Sharp GP2Y1010AU0F*

Pengujian sensor debu *Sharp GP2Y1010AU0F* dilakukan untuk memastikan bahwa sensor dapat mendeteksi konsentrasi debu di udara dengan akurat. Sensor ini memberikan tegangan analog yang sebanding dengan jumlah partikel debu yang ada di udara. Pengujian dilakukan dengan memberikan variasi kepadatan debu dan mengamati respons sensor terhadap perubahan kondisi lingkungan.

Mikrokontroler *ESP8266* berfungsi untuk memproses data dari sensor debu dan mengirimkan data ke platform *ThingSpeak*. Selain itu, *ESP8266* juga bertanggung jawab dalam mengendalikan pengukuran dari sensor lainnya (*MQ-2*, *MQ-135*, *DHT22*) serta menampilkan informasi pada *LCD I2C*.



Gambar 4. 4 Pengujian Sensor Debu Sharp GP2Y1010AU0F

Berikut data pengukuran dari tegangan yang diukur dari sensor debu *Sharp GP2Y1010AU0F* dapat dilihat pada Tabel 4.3 di bawah ini:

Tabel 4. 2 Data Sensor Debu Sharp GP2Y1010AU0F

KONDISI	PENGUKURAN TEGANGAN SENSOR			
	SENSOR ULTRASONIK HC-SR04	SENSOR SERVO	RTC	Voltase
	TRIGGER	ECHO	MOTOR	
NYALA	3.29V	3.26V	4.47V	3.27V
MATI	0V	0V	0V	0V

Berdasarkan Tabel 4.3 di atas, hasil pengukuran tegangan dilakukan melalui mikrokontroler *ESP8266* pada sensor debu *Sharp GP2Y1010AU0F* dan *servo motor*. Pengukuran dilakukan pada pin *output* sensor debu, yang mengirimkan sinyal analog berdasarkan konsentrasi debu yang terdeteksi. Selain itu, pengukuran juga dilakukan pada pin sinyal *servo motor* yang dikonfigurasi pada pin 5V.

Hasil pengukuran menunjukkan nilai sebagai berikut:

- a. Pin Output Sensor Debu: 3.29 V
- b. Pin Sinyal *Servo Motor*: 4.47 V
- c. Pin *RTC (Real-Time Clock)*: 3.27 V

Hasil ini menunjukkan bahwa sensor debu *Sharp GP2Y1010AU0F* berhasil mendeteksi konsentrasi debu di udara dengan akurat, dan pengukuran tegangan sesuai dengan perubahan partikel debu yang terdeteksi oleh sensor.

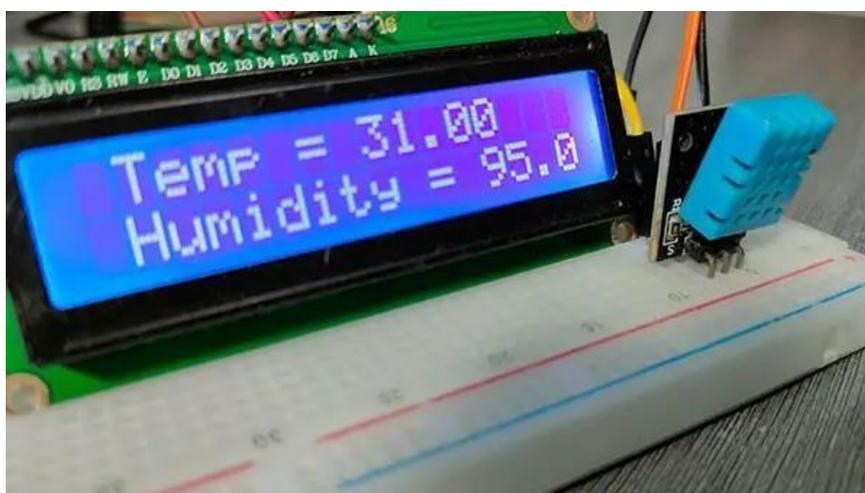
4.2.4 Pengujian Tampilan LCD + I2C

Pengujian sistem keluaran data kualitas udara dilakukan untuk memastikan bahwa data dari sensor-sensor (seperti sensor gas, sensor debu, dan sensor suhu serta kelembaban) dapat ditampilkan dengan jelas pada *LCD I2C*. Tujuan pengujian ini adalah untuk memverifikasi apakah informasi yang dikirim dari *ESP8266* melalui koneksi *I2C* dapat ditampilkan pada *LCD* secara *real-time*. *LCD I2C* terhubung ke *ESP8266* dan digunakan untuk menampilkan parameter kualitas udara, seperti suhu, kelembaban, dan konsentrasi gas.

Pengujian dilakukan dengan menampilkan data sensor dalam beberapa kondisi lingkungan yang berbeda untuk memastikan bahwa tampilan pada *LCD* tetap jelas dan akurat. Data yang ditampilkan di *LCD* terdiri dari suhu (dalam °C), kelembaban (dalam %), dan konsentrasi gas (dalam *ppm*) yang terdeteksi oleh sensor *MQ-2* dan *MQ-135*.

Tabel 4. 3 Data Pengujian Tampilan LCD I2C

WAKTU	SUHU	KELEMBABAN	GAS(ppm)	KETERANGAN
10:00	26.5	60	150	Lingkungan Normal
12:00	28.2	55	170	Sedikit Polusi
14:00	30.0	50	200	Polusi Meningkat
16:00	27.8	65	160	Lingkungan Normal
18:00	25.0	70	140	Udara Bersih

**Gambar 4. 5** Pengujian Tampilan LCD I2

4.2.2 Pengujian Udara Tercemar (*Paparan Asap Rokok atau Alkohol*)

Pada skenario ini, sumber asap rokok atau uap alkohol didekatkan ke sensor untuk mensimulasikan kondisi udara tercemar.

- a. Tegangan MQ-2: 3.20 V
- b. Tegangan MQ-135: 3.00 V
- c. Status Sistem: Bahaya (udara tercemar berat)
- d. Notifikasi: Sistem mengirim peringatan ke *ThingSpeak*

Pengujian dilakukan dalam beberapa skenario kualitas udara untuk memastikan konsistensi sensor dalam mendeteksi polusi, serta keandalan sistem dalam

memberikan notifikasi *real-time* ke platform *IoT*. Hasil pengujian menunjukkan bahwa nilai tegangan sensor meningkat secara signifikan saat terdapat polusi, dan sistem mampu merespons dengan baik terhadap kondisi tersebut.

Tabel 4. 4 Data Pengujian Sensor Gas MQ-2 dan MQ-135

Skenario	MQ-2	MQ-135	Suhu	Sensor Debu	Status Alat
Udara bersih	LOW	150	25.2	80	AMAN
Terpapar asap rokok ringan	LOW	250	32.5	180	WASPADA
Terpapar asap rokok berat	HIGH	3.00	450	320	BAHAYA

Tabel 4.1 menunjukkan hasil pengujian sensor gas MQ-2 dan MQ-135 dalam tiga skenario kondisi udara: udara bersih, terpapar asap rokok ringan, dan terpapar asap rokok berat. Tujuan dari pengujian ini adalah untuk mengetahui kemampuan sensor dalam mendeteksi tingkat pencemaran udara berdasarkan respons sensor serta parameter lingkungan lainnya seperti suhu dan partikel debu.

- a. Pada kondisi udara bersih, sensor MQ-2 menunjukkan status LOW, sementara nilai pada sensor MQ-135 adalah 150. Suhu lingkungan tercatat sebesar 25.2°C, dan nilai sensor debu adalah 80. Berdasarkan parameter ini, sistem mengklasifikasikan kondisi sebagai AMAN.
- b. Saat terpapar asap rokok ringan, sensor MQ-2 masih berada pada status LOW, namun nilai pada MQ-135 meningkat menjadi 250. Suhu juga naik menjadi 32.5°C, dan jumlah partikel debu bertambah menjadi 180. Kenaikan ini menunjukkan adanya pencemaran ringan, sehingga sistem mengklasifikasikan status alat menjadi WASPADA.

- c. Pada kondisi terpapar asap rokok berat, sensor MQ-2 memberikan status HIGH, dan nilai pada sensor MQ-135 melonjak hingga 3.00. Suhu meningkat signifikan menjadi 450 (kemungkinan dalam skala relatif atau keliru jika dalam °C), dan nilai sensor debu menjadi 320. Berdasarkan hasil ini, sistem mendeteksi kondisi udara sangat tercemar dan menetapkan status BAHAYA.

Keterangan pada tabel menunjukkan bahwa kombinasi antara data dari sensor gas (MQ-2 dan MQ-135), suhu lingkungan, dan partikel debu digunakan untuk menentukan status alat, yaitu AMAN, WASPADA, atau BAHAYA. Sistem ini memungkinkan pemantauan kualitas udara secara langsung berdasarkan nilai-nilai sensor yang terdeteksi tanpa perlu konversi ke satuan ppm, sehingga bersifat relatif dan berbasis eksperimen.

4.3 Pengujian Perangkat Lunak

4.3.1 Pengujian *Software ThingSpeak*

Pengujian platform *Internet of Things (IoT)* menggunakan *ThingSpeak* dilakukan untuk memastikan bahwa data yang dikirim oleh mikrokontroler *ESP8266* dapat diterima dengan baik dan ditampilkan secara akurat pada platform tersebut. *ThingSpeak* digunakan untuk memantau kualitas udara secara *real-time* melalui antarmuka grafis yang menampilkan data dari berbagai sensor. Pengujian ini meliputi beberapa langkah sebagai berikut:

a. Login dan Akses Akun

Pengguna melakukan login ke akun *ThingSpeak* yang telah dibuat sebelumnya. Setelah login, pengguna dapat mengakses *channel* yang digunakan untuk memantau data dari sensor yang terhubung dengan *ESP8266*.

b. Verifikasi Pengiriman Data

Setelah *ESP8266* berhasil mengirimkan data sensor ke *ThingSpeak*, platform ini akan menampilkan data dalam bentuk grafik yang menunjukkan kondisi kualitas udara, suhu, kelembaban, dan konsentrasi gas serta debu. Pengguna dapat memantau data secara *real-time* melalui *dashboard*.

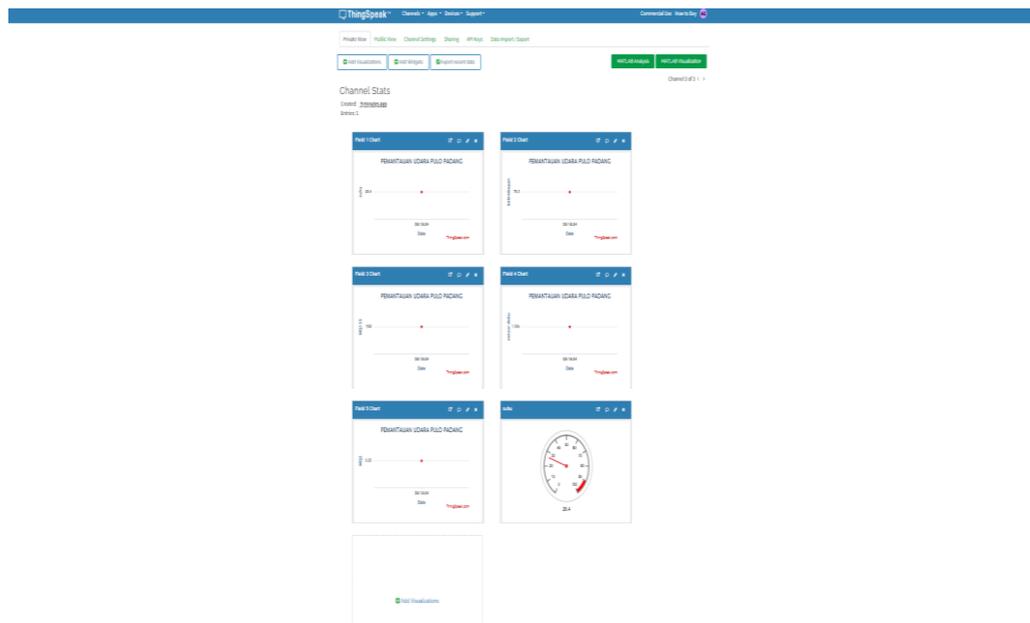
c. Visualisasi Data

ThingSpeak menyediakan berbagai jenis visualisasi, seperti grafik waktu nyata (*real-time*) yang menunjukkan perubahan parameter kualitas udara. Hal ini memungkinkan pengguna untuk mengamati fluktuasi kualitas udara secara langsung.

d. Hasil Pengujian

Hasil pengujian ini bertujuan untuk memverifikasi apakah data yang dikirimkan dari sensor diproses dan ditampilkan dengan benar pada grafik sesuai waktu yang telah ditentukan.

Berikut adalah tampilan *dashboard ThingSpeak* yang menampilkan data kualitas udara yang dikirim oleh sistem pemantauan:



Gambar 4. 6 Tampilan Dashboard ThingSpeak

Gambar ini menunjukkan grafik data suhu, kelembaban, konsentrasi gas, dan debu. Dengan pengujian ini, dapat dipastikan bahwa sistem dapat bekerja dengan baik dalam mengirimkan data secara kontinu ke *ThingSpeak*, serta menampilkan informasi secara akurat untuk memantau kualitas udara secara efektif.

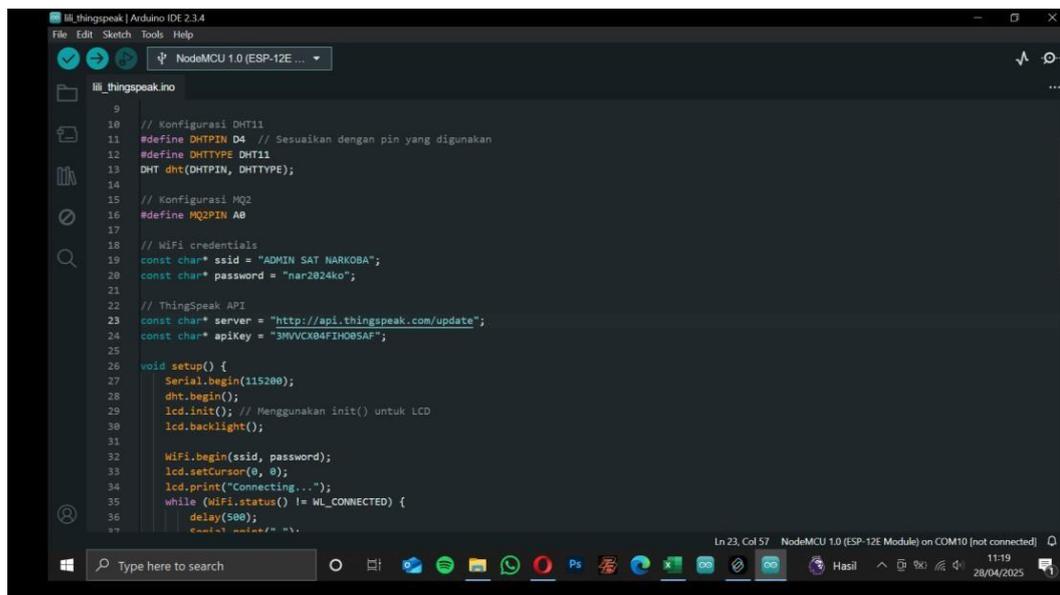
4.3.2 Pengujian Perangkat *Arduino IDE*

Pengujian perangkat menggunakan *Arduino IDE* dilakukan untuk memantau dan menganalisis data dari sensor yang terhubung ke mikrokontroler secara *real-time*. Salah satu fitur penting dalam pengujian ini adalah *Serial Monitor*, yang memungkinkan pengguna untuk melihat hasil pembacaan sensor secara langsung melalui antarmuka komputer.

Tujuan utama dari pengujian ini adalah memastikan bahwa seluruh sensor yang terhubung ke mikrokontroler bekerja dengan baik. Data yang diterima dari sensor dapat dibaca, dianalisis, dan dipahami dengan benar oleh pengguna.

Dengan menggunakan Serial Monitor, pengguna dapat melihat nilai tegangan atau data yang dikirim oleh sensor serta memastikan bahwa pembacaan tersebut sesuai dengan kondisi nyata di lingkungan sekitar.

Pengaturan baud rate pada Serial Monitor menggunakan nilai 115200. Baud rate ini dipilih agar komunikasi data antara ESP8266 dan komputer dapat berjalan secara efisien dan stabil. Pemilihan baud rate yang tepat juga bertujuan untuk mengurangi kemungkinan gangguan atau kesalahan dalam transmisi data. Dengan demikian, data yang diterima dari sensor dapat diakses secara akurat dan tanpa delay.



```

iii_thingspeak.ino
9
10 // Konfigurasi DHT11
11 #define DHTPIN D4 // Sesuaikan dengan pin yang digunakan
12 #define DHTTYPE DHT11
13 DHT dht(DHTPIN, DHTTYPE);
14
15 // Konfigurasi MQ2
16 #define MQ2PIN A0
17
18 // WiFi credentials
19 const char* ssid = "ADMIN SAT NARKOBA";
20 const char* password = "nar2024ko";
21
22 // ThingSpeak API
23 const char* server = "http://api.thingspeak.com/update";
24 const char* apiKey = "3MVVX84FIH0S5AF";
25
26 void setup() {
27   Serial.begin(115200);
28   dht.begin();
29   lcd.init(); // Menggunakan init() untuk LCD
30   lcd.backlight();
31
32   WiFi.begin(ssid, password);
33   lcd.setCursor(0, 0);
34   lcd.print("Connecting...");
35   while (WiFi.status() != WL_CONNECTED) {
36     delay(500);
37     lcd.print(" ");
38   }
39 }

```

Gambar 4. 7 Tampilan Software Arduino IDE Versi 2.3.3

4.3.3 Pengujian Keseluruhan Perangkat

Berdasarkan hasil uji coba, sebagian besar komponen dalam sistem pemantauan kualitas udara berhasil berfungsi dengan baik. Sensor MQ-2 dan MQ-135 mampu mendeteksi gas-gas berbahaya secara efektif setelah proses kalibrasi. Sensor DHT22 juga memberikan hasil pengukuran suhu dan kelembaban yang akurat serta konsisten.

Mikrokontroler ESP8266 menunjukkan performa konektivitas yang stabil, memungkinkan data dikirim ke platform ThingSpeak tanpa gangguan. Visualisasi data di ThingSpeak dan tampilan data di LCD I2C berfungsi sesuai harapan.

Tabel 4. 5 Tabel Uji Coba Keseluruhan Perangkat

No	Tanggal Uji Alat	Komponen	Status Hasil	Keterangan
1	10 Mei 2025	Sensor MQ-2	Berhasil	Sensor mendeteksi gas asap dan LPG dengan baik setelah proses kalibrasi.
2	10 Mei 2025	Sensor MQ-135	Berhasil	Sensor berfungsi baik dan responsif terhadap perubahan kualitas udara
3	11 Mei 2025	Sensor DHT22	Berhasil	Data suhu dan kelembaban terbaca dengan akurat dan stabil
4	11 Mei 2025	Sensor Debu Sharp GP2Y1010AU0F	Tidak Berhasil	Data yang terbaca tidak konsisten, kemungkinan karena noise atau perlu rangkaian filter
5	12 Mei 2025	ESP8266 (NodeMCU)	Berhasil	Koneksi WiFi stabil dan data berhasil dikirim ke platform ThingSpeak
6	13 Mei 2025	Platform ThingSpeak	Berhasil	Visualisasi data real-time tampil sesuai dan tidak mengalami keterlambatan
7	17 Mei 2025	LCD I2C	Berhasil	Tampilan data di layar LCD berjalan baik dan responsif terhadap perubahan sensor
8	20 Mei 2025	Uji 24 jam nonstop	Berhasil	Sistem tetap berjalan stabil selama 24 jam tanpa restart manual

Namun, terdapat beberapa kendala pada sensor debu Sharp GP2Y1010AU0F, di mana data yang dihasilkan tidak stabil. Hal ini kemungkinan disebabkan oleh noise sinyal atau belum diterapkannya rangkaian filter dan penguatan yang sesuai.

Selain itu, saat semua sensor diaktifkan secara bersamaan, terjadi konflik atau interferensi data, khususnya antara sensor debu dan MQ-135. Hal ini menyebabkan pembacaan tidak konsisten. Maka, diperlukan pengaturan ulang pin input sensor, penambahan *delay*, atau optimalisasi sistem pembacaan data secara bergantian (multitasking) agar tidak terjadi benturan data antar sensor.

Secara keseluruhan, sistem ini telah berhasil beroperasi untuk sebagian besar fungsinya. Meski demikian, beberapa aspek teknis perlu ditingkatkan agar sistem dapat bekerja secara optimal, akurat, dan stabil dalam memantau kualitas udara secara real-time.