

BAB V

PENGUJIAN DAN ANALISA ALAT

Pada bagian ini akan dibahas mengenai hasil dari pengujian dan analisis sistem pemantauan yang telah dirancang dan dibangun untuk mengawasi kadar CO₂, NH₃, suhu, kelembapan, dan PM 2.5 di udara secara langsung. Sistem ini dirancang menggunakan mikrokontroler ESP32 yang terintegrasi dengan platform Arduino IOT Cloud serta berbagai sensor untuk mendeteksi parameter-parameter yang relevan. Uji coba dilakukan untuk memastikan apakah sistem berfungsi sesuai dengan standar yang ditetapkan dan apakah data yang disampaikan akurat. Selain itu, analisis dilakukan untuk mengevaluasi kinerja sistem guna menentukan apakah sistem tersebut dapat diandalkan, stabil, dan responsif dalam kondisi nyata. Di bagian ini, akan dijelaskan secara mendetail mengenai metode pengujian yang diterapkan, parameter yang diuji, hasil dari pengujian, serta penilaian terhadap hasil yang diperoleh. Uji ini mencakup evaluasi terhadap kinerja perangkat keras dan perangkat lunak, pengujian konektivitas IoT, serta analisis tingkat akurasi sensor dalam memantau parameter lingkungan. Hasil dari pengujian ini akan menjadi dasar untuk menyimpulkan apakah sistem sudah siap untuk digunakan secara optimal atau masih memerlukan pengembangan lebih lanjut.

5.1 Prosedur Pengujian dan Pengukuran

Pengukuran dan pengujian alat dalam penelitian ini dilakukan menggunakan sampel asap pembakaran, dan cairan NH₃ sebagai sumber pengujian. Untuk memastikan validitas dan akurasi data, hasil pengukuran yang diperoleh dari alat yang dirancang dibandingkan dengan hasil pembacaan alat komersial. Hasil bacaan dari alat pemantau komersial digunakan sebagai verifikasi hasil yang diperoleh dari rancang bangun alat, bertujuan untuk mengukur seberapa akurat sensor yang digunakan dalam hasil pemantauan ini apakah hasilnya konsisten dengan alat pengukuran standar. Berikut langkah – langkah prosedur pengukuran yang dilakukan.

5.1.1 Langkah – langkah Pengujian

Pengerjaan rancang bangun tugas akhir ini dilakukan dengan mempersiapkan semua perangkat keras dan perangkat lunak yang digunakan dalam sistem pemantauan kualitas udara, yaitu sensor MQ135, DHT22, DSM501A, modul ESP32, RTC DS3231, serta koneksi IoT. Memastikan semua komponen terpasang sesuai dengan rancangan rangkaian dan perangkat dalam kondisi baik. Adapun langkah – langkah dalam proses pengukuran dan pengujian sistem pemantauan kualitas udara adalah sebagai berikut:

1. Mempersiapkan segala perihal kelengkapan alat, serta memastikan segala komponen sudah terletak sesuai dengan rancangan.
2. Mempersiapkan alat ukur komersial yang akan digunakan pada uji coba sensor secara individual yang digunakan pada rancang bangun tugas akhir.
3. Memastikan dengan pengujian koneksi sistem dengan Arduino IOT Cloud apakah data tercatat dengan baik dan dapat diakses untuk analisa lebih lanjut.
4. Mencatat semua hasil pengujian secara rinci yang sudah dilakukan pengujian.

5.1.2 Peralatan Pengujian

Untuk memastikan sistem pemantauan kualitas udara berfungsi secara optimal, alangkah awal yang harus dilakukan adalah mengkalibrasi sensor yang terlibat dengan standar alat pemantau kualitas udara komersial. Sistem ini juga dilengkapi dengan logging data berbasis IoT menggunakan platform Arduino IOT Cloud.

Tabel 5. 1 Alat Ukur Kualitas Udara Komersial

No	Peralatan	Gambar
1	Alat Ukur Komersial CO2 dan PM2.5 (Air Quality Detector)	

No	Peralatan	Gambar
2	Alat Ukur Temperatur	

5.2 Pengujian dan Analisa Alat

Pengukuran dan pengujian alat pada sistem pemantauan kualitas udara dilakukan dengan tujuan untuk mengevaluasi akurasi dan kehandalan perangkat yang telah di rancang. Proses pengujian menggunakan asap pembakaran sebagai sumber CO₂ dan PM_{2.5}, dan uap cairan NH₃ sebagai sumber gas NH₃. Hasil pengujian dari pengukuran perangkat dibandingkan dengan hasil pembacaan alat komersial pendeteksi kualitas udara.

5.2.1 Pengujian Sensor MQ135

Pengujian sensor MQ135 dilakukan untuk memastikan bahwa sensor MQ135 yang digunakan dapat mengukur konsentrasi gas CO₂ dan NH₃ yang berada di udara dengan akurasi yang memadai serta pembacaanya sesuai dengan standar alat ukur komersial. Sensor MQ135 dipilih karena kemampuannya dalam mendeteksi berbagai jenis gas berbahaya, termasuk gas CO₂ dan NH₃, yang merupakan parameter penting dalam pemantauan kualitas udara. Pengujian dilakukan dengan membandingkan hasil pengukuran MQ135 dengan alat ukur kualitas udara komersial untuk memverifikasi kemampuan sensor MQ135 dalam mendeteksi gas CO₂ dan NH₃ secara real time. Dalam pengujian ini, diperlukan beberapa alat dan bahan, diantaranya:

1. Alat ukur kualitas udara khusus nya CO₂
2. Sensor MQ135 sebagai sensor yang akan di uji
3. Sumber gas CO₂ yaitu asap pembakaran

4. Sumber NH₃ menggunakan cairan amonia yang menguap ke udara

Dalam pengujian ini menggunakan sumber CO₂ dan NH₃ diposisikan berada di sekitar sensor MQ135, dengan hasil pengukuran seperti tabel 5.2 dan 5.3 berikut.

Tabel 5. 2 Hasil Pengujian Sensor MQ135 untuk Gas CO₂

No	Kondisi	Hasil Sensor MQ135 untuk CO ₂ (PPM)	Alat Ukur Komersial	Selisih
1	Udara bercampur dengan asap pembakaran	825	815	10
2	Udara sebelum bercampur asap	420	410	10

Setelah dilakukan pengukuran gas CO₂ oleh Sensor MQ135 dan alat ukur komersial, kemudian mencari nilai error dari pengukuran, dihitung berdasarkan persentase eror menggunakan persamaan 5.1. Hasil perhitungan dari nilai kesalahan sensor MQ135 yang didapat sebagai berikut:

1. Pada saat pengujian sensor MQ135 dengan udara bercampur asap pembakaran, pembacaan sensor MQ135 adalah sebesar 825 dan pembacaan menggunakan alat ukur komersial sebesar 815, maka:

$$\text{Error \%} = \frac{825-815}{815} \times 100\% = 1,22\%$$

2. Pada saat pengujian sensor MQ135 dengan udara yang tidak bercampur dengan asap pembakaran, pembacaan sensor MQ135 adalah sebesar 420 dan pembacaan menggunakan alat ukur komersial sebesar 410, maka:

$$\text{Error \%} = \frac{420-410}{410} \times 100\% = 2,43\%$$

Dari kedua nilai eror yang didapat, rata – rata nilai eror dari pembacaan sensor MQ135 adalah

$$\text{Rata – rata nilai Error \%} = \frac{3,65\%}{2} \times 100\% = 1,82\%$$

Hasil perhitungan menunjukkan bahwa pada gas CO₂ ketika udara bercampur dengan asap pembakaran, nilai yang diukur oleh sensor sebesar 825, sedangkan nilai dari alat komersial sebesar 815, sehingga diperoleh eror sebesar 1,22%. Sedangkan ketika udara belum bercampur dengan asap pembakaran, nilai yang diukur oleh sensor sebesar 420, dan alat ukur komersial mengukur sebesar 410. Dari data tersebut nilai erorr sebesar 2,43%. Dari kedua kondisi tersebut didapatkan nilai rata – rata eror sebesar 1,82%. Nilai selisih pembacaan dapat disebabkan oleh beberapa faktor, seperti kalibrasi sensor yang kurang sempurna, kondisi lingkungan selama pengujian, ataupun respon sensor terhadap suhu lingkungan.

Walaupun nilai eror yang berbeda tiap sampel kondisi, sensor MQ135 menunjukkan konsistensi yang stabil dalam pengukuran dan memiliki waktu yang reponsif. Dengan rata – rata eror yang relatif kecil, sensor ini dapat digunakan untuk pemantauan kualitas konsentrasi CO₂. Namun, untuk meningkatkan keakuratan disaankan untuk melakukan kalibrasi berkala dengan menggunakan nilai referensi yang lebih presisi.

Tabel 5. 3 Hasil Pengujian MQ135 untuk Gas NH₃

NO	Kondisi	Hasil Sensor MQ135 untuk NH ₃ (PPM)
1	Udara sebelum tercampur uap cairan NH ₃	1
2	Udara tercampur uap cairan NH ₃	2,1

Tabel 5.3 menunjukkan hasil pengukuran konsentrasi gas NH₃ yang terdeteksi oleh sensor MQ135 selama pengujian. Karena keterbatasan alat ukur gas NH₃ yang tersedia secara komersial dalam penelitian ini, hasil yang diperoleh dari sensor MQ135 tidak dapat dibandingkan secara langsung dengan alat ukur standar untuk validasi. Oleh karena itu, fokus pengujian ini adalah pada pengamatan bagaimana sensor merespons kehadiran gas NH₃ yang berasal dari uap amonia cair. Sensor menunjukkan pembacaan nilai yang meningkat secara konsisten ketika gas

NH₃ diperkenalkan di area sensor, yang menandakan bahwa sensor MQ135 mampu mendeteksi konsentrasi gas NH₃ dengan baik.

Setelah melakukan pengujian menggunakan sensor MQ135, sensor ini dapat mengukur konsentrasi dari CO₂ dan NH₃ berdasarkan jenis sumbernya. Namun, ketika hendak menggunakan alat ini secara keseluruhan sensor MQ135 memerlukan pre-heating. Proses preheating ini umum pada sensor MQ135 dan juga dijelaskan pada datasheet MQ135. Hasil pengukuran CO₂ oleh sensor MQ135 tidak melebihi ambang batas yang ditetapkan, namun besar konsentrasi CO₂ bisa lebih naik lagi apabila sumber asapnya semakin banyak. Begitupun dengan gas NH₃, sensor MQ 135 dapat mengetahui besar konsentrasi dari gas tersebut ketika melakukan pengujian yakni nilai yang terukur menunjukkan kadar NH₃ melebihi dari ambang batas yang ditetapkan. Namun apabila sumber NH₃ tidak bercampur di udara, konsentrasi NH₃ tidak melebihi dari batas yang ditetapkan.

5.2.2 Pengujian Sensor DHT22

Pengujian DHT22 sebagai sensor yang mendeteksi suhu dan kelembapan dilakukan untuk memastikan bahwa sensor DHT22 mampu mengukur suhu dan kelembapan udara dengan tujuan untuk memverifikasi hasil bacaan sensor DHT22 dengan alat pembanding. Sensor DHT22 dipilih karena kemampuannya dalam memberikan data suhu dan kelembapan secara real-time dengan respons yang cepat dan stabil, yang merupakan parameter penting dalam pemantauan kualitas udara. Pengujian dilakukan dengan membandingkan hasil pengukuran sensor DHT22 dengan alat ukur suhu dan kelembapan komersial sebagai referensi, guna memverifikasi keandalan dan ketepatan sensor dalam kondisi lingkungan nyata. Dalam pengujian ini, diperlukan beberapa alat dan bahan, di antaranya:

1. Alat ukur temperatur suhu dan kelembapan komersial
2. Sensor DHT22

Hasil pengujian temperatur suhu dan kelembapan ditampilkan pada tabel 5.4 sebagai berikut. Hasil pengukuran akan dibandingkan antara DHT22 dengan alat ukur komersial.

Tabel 5. 4 Hasil Pengujian DHT22 untuk Suhu dan Kelembapan

Keterangan	Suhu (°C)	Kelembapan (%)
DHT22	33	77
Alat Komersial	30	77
Selisih	3	0

Setelah dilakukan pengukuran suhu dan kelembapan oleh sensor DHT22 dan alat ukur komersial, kemudian nilai error dari pengukuran dihitung berdasarkan persentase error menggunakan persamaan 5.2. Hasil perhitungan dari nilai kesalahan sensor DHT22 yang didapat sebagai berikut:

1. Pada saat pengujian sensor DHT22, pembacaan suhu oleh sensor DHT22 sebesar 33°C dan pembacaan menggunakan alat ukur komersial 32°C sebesar, maka:

$$\text{Error \%} = \frac{33-32}{30} \times 100\% = 3,33\%$$

2. Pada saat pengujian sensor DHT22, pembacaan kelembapan sensor DHT22 sebesar 77 % dan pembacaan menggunakan alat ukur komersial sebesar 77%, maka:

$$\text{Error \%} = \frac{77-77}{77} \times 100\% = 0\%$$

Hasil perhitungan menunjukkan bahwa pada pengujian DHT22 untuk mengukur suhu dan kelembapan, nilai suhu yang diukur oleh sensor sebesar 33°C, sedangkan nilai dari alat komersial sebesar 32°C, sehingga diperoleh error sebesar 3,33%. Nilai Kelembapan yang diukur oleh sensor sebesar 77%, sedangkan nilai dari alat komersial sebesar 77%, sehingga diperoleh error sebesar 0%, nilai kelembapan yang ditampilkan berada pada level akurat yang baik. Hasil pembacaan suhu dan kelembapan berupa nilai selisih pembacaan dapat disebabkan oleh beberapa faktor, seperti kalibrasi sensor yang kurang sempurna, kondisi lingkungan selama pengujian, ataupun respon sensor terhadap suhu lingkungan.

5.2.3 Pengujian Sensor DSM501A

Pengujian DSM501A sebagai sensor yang mendeteksi konsentrasi partikel

debu PM2.5 dilakukan untuk memastikan bahwa sensor DSM501A mampu mengukur tingkat partikel debu di udara secara realtime dengan respons yang cepat dan stabil, dan penting untuk pemantauan kualitas udara. Pengujian dilakukan dengan membandingkan hasil pengukuran sensor DSM501A dengan alat ukur debu komersial, dengan tujuan untuk memverifikasi keandalan dan ketepatan sensor dalam kondisi udara dan lingkungan. Dalam pengujian ini, diperlukan beberapa alat dan bahan, di antaranya:

1. Alat ukur debu komersial
2. Sensor DSM501A
3. Sumber debu berasal dari pembakaran

Hasil pengujian Particulate matter (PM2.5) ditampilkan pada tabel 5.5 sebagai berikut.

Tabel 5. 5 Hasil Pengujian DSM501A untuk PM2.5

No	Kondisi udara	Sensor DSM501A($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	Alat ukur Komersial($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	Selisih ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)
1	Udara bercampur dengan asap pembakaran	138	133	5
2	Udara tidak bercampur dengan asap pembakaran	25,9	25	0,9

Setelah dilakukan pengukuran PM2.5 oleh sensor DSM501A dan alat ukur komersial, kemudian nilai error dari pengukuran dihitung berdasarkan persentase error menggunakan persamaan 5.3. Hasil perhitungan dari nilai kesalahan sensor DSM501A yang didapat sebagai berikut:

1. Pada saat pengujian sensor DSM501A dengan kondisi udara bercampur dengan asap pembakaran, pembacaan PM2.5 oleh sensor DSM501A sebesar $138\mu\text{g}/\text{m}^3$ dan pembacaan menggunakan alat ukur komersial $133\mu\text{g}/\text{m}^3$ sebesar, maka:

$$\text{Error \%} = \frac{138-133}{133} \times 100\% = 3,75\%$$

2. Pada saat pengujian sensor DSM501A dengan kondisi udara tidak bercampur dengan asap pembakaran, pembacaan PM2.5 oleh sensor DSM501A sebesar $25,9\mu\text{g}/\text{m}^3$ dan pembacaan menggunakan alat ukur komersial $25\mu\text{g}/\text{m}^3$ sebesar, maka:

$$\text{Error \%} = \frac{25,9-25}{25} \times 100\% = 3,6\%$$

Dari kedua nilai eror yang didapat, rata – rata nilai eror dari pembacaan sensor DSM501A pada kedua keadaan tersebut adalah

$$\text{Average Error \%} = \frac{7,35\%}{2} \times 100\% = 3,67\%$$

Hasil perhitungan menunjukkan bahwa pada pengujian DSM501A untuk mengukur PM2.5, nilai PM2.5 yang diukur oleh sensor sebesar $138\mu\text{g}/\text{m}^3$, sedangkan nilai dari alat komersial sebesar $133\mu\text{g}/\text{m}^3$, sehingga diperoleh eror sebesar 3,75%. Sedangkan ketika kondisi udara belum bercampur dengan asap nilai eror yang didapat sebesar 3,6%, dari kedua nilai eror tersebut didapatkan nilai eror rata – rata sebesar 3,67%. Nilai ini berada dibawah 10% untuk itu walaupun pada dua kondisi tersebut terdapat perbedaan nilai eror, untuk meningkatkan keakuratan disarankan untuk melakukan kalibrasi berkala dengan menggunakan nilai referensi yang lebih presisi. Hasil pembacaan PM2.5 oleh DSM501A berupa nilai selisih pembacaan dapat disebabkan oleh beberapa faktor, seperti kalibrasi sensor yang kurang sempurna, kondisi lingkungan selama pengujian, ataupun respon sensor terhadap suhu lingkungan. Hasil pengujian sensor DSM501A menunjukkan bahwa udara yang tercemar dengan asap pembakaran berada pada kategori tidak sehat.

5.3 Pengujian Tampilan DMD P10

Setelah melakukan pengujian terhadap setiap komponen sensor yang ada pada sistem, pengujian media visualisasi yang ditampilkan oleh DMD P10 dilakukan untuk memastikan bahwa modul display dapat menampilkan data hasil pengukuran sensor secara jelas, real-time, dan responsif. Pengujian ini bertujuan memverifikasi kemampuan DMD P10 dalam menampilkan informasi seperti nilai konsentrasi gas CO₂, NH₃, suhu, kelembapan dan PM2.5 dengan kontras dan kecerahan yang optimal diberbagai kondisi. Selain itu, pengujian juga mencakup pengecekan kestabilan tampilan selama operasi berkelanjutan dan kecepatan

refresh data agar informasi yang ditampilkan selalu *up-to-date* dan mudah dibaca oleh pengguna. Hasil pengujian diharapkan menunjukkan bahwa DMD P10 mampu menjadi media visualisasi yang efektif dan handal dalam sistem pemantauan kualitas udara.



Gambar 5. 1 Tampilan Pada DMD P10

Gambar 5.1 menampilkan bahwa DMD P10 dapat menampilkan data pembacaan sensor secara jelas dalam pengujian ini, sehingga informasi mengenai parameter kualitas udara seperti konsentrasi gas CO₂, NH₃, PM_{2.5}, suhu, dan kelembapan dapat terbaca dengan baik oleh pengguna secara real time. Tampilan pada modul DMD P10 menunjukkan kontras dan kecerahan yang optimal, memungkinkan data terlihat jelas bahkan dari jarak yang cukup jauh, serta mendukung pembaruan data secara konsisten tanpa gangguan *flicker*. Keberhasilan ini menegaskan bahwa DMD P10 sangat efektif sebagai media visualisasi dalam sistem pemantauan kualitas udara berbasis ESP32 dan IoT.



Gambar 5. 2 Tampilan DMD P10 ketika Parameter Melebihi Ambang Batas

Gambar 5.2 menampilkan ketika salah satu parameter yang diukur melebihi ambang batas dari batas aman, pada gambar tersebut konsentrasi gas NH_3 yang baik tidak melebihi 2 PPM, namun ketika pengukuran konsentrasi gas NH_3 melebihi dari ambang batas yang sudah ditetapkan. Sehingga sistem secara otomatis akan memblokir atau menyorot tampilan pada DMD P10 sebagai bentuk peringatan visual. Hal ini ditunjukkan pada gambar 5.2, di mana bagian tampilan yang menunjukkan status kualitas udara akan berubah menjadi blok atau pola tertentu yang mudah dikenali oleh pengguna. Fitur ini bertujuan untuk memberikan peringatan dini secara jelas dan langsung, sehingga pengguna dapat segera mengetahui adanya kondisi udara yang tidak sehat atau berbahaya. Dengan demikian, sistem visualisasi ini tidak hanya menampilkan data secara real-time, tetapi juga meningkatkan aspek keamanan dan responsivitas dalam pemantauan kualitas udara.

5.4 Pengujian Keseluruhan Sistem

Pengujian keseluruhan alat dilakukan untuk memastikan bahwa seluruh sensor dalam sistem pemantauan, yaitu sensor MQ135, DHT22, DSM501A, dapat berfungsi dengan baik sesuai spesifikasi teknis. Sebelum pengujian, sensor telah dikalibrasi terlebih dahulu untuk memastikan hasil pembacaan sesuai dengan nilai referensi. Data hasil pengukuran setiap parameter dicatat untuk di evaluasi.

Selain itu, pengujian melibatkan pengamatan respons sistem terhadap perubahan parameter udara. Tujuan utama dari pengujian ini memastikan bahwa sistem dapat berfungsi dan saling terintegrasi secara otomatis, sensor MQ135 dapat mendeteksi gas CO₂ dan NH₃, sensor DHT22 dapat mengukur suhu dan kelembapan, dan sensor DSM501A mampu mendeteksi PM_{2.5}. Memverifikasi bahwa sistem data logger Arduino IoT Cloud dapat mencatat dan mengirim data secara real-time dan konsisten. Data yang dihasilkan oleh sensor dikirimkan ke dashboard arduino IOT Cloud untuk memastikan bahwa pembaruan data dilakukan secara real time dan dalam interval yang konsisten.

Tabel 5. 6 Keterangan Hasil Pengujian Keseluruhan sistem

NO	Parameter	Kondisi Udara	Hasil Sensor	Keterangan	Arduino IoT Cloud
1	CO ₂ (PPM)	Bercampur asap	825	Tidak melebihi ambang batas dari gas CO ₂	Ya
2	NH ₃ (PPM)	Bercampur uap NH ₃	2.1	Melebihi ambang batas dari standar	Ya
3		Tidak bercampur NH ₃	1	Tidak melebihi ambang batas	Ya
3	PM _{2.5} (µg/m)	138	138	Berada pada kategori tidak sehat	Ya
4	Suhu (°C)	33	33	Melebihi dari range baik suhu	Ya
5	Kelembapan (%)	77	77	Melebihi dari range baik kelembapan	Ya

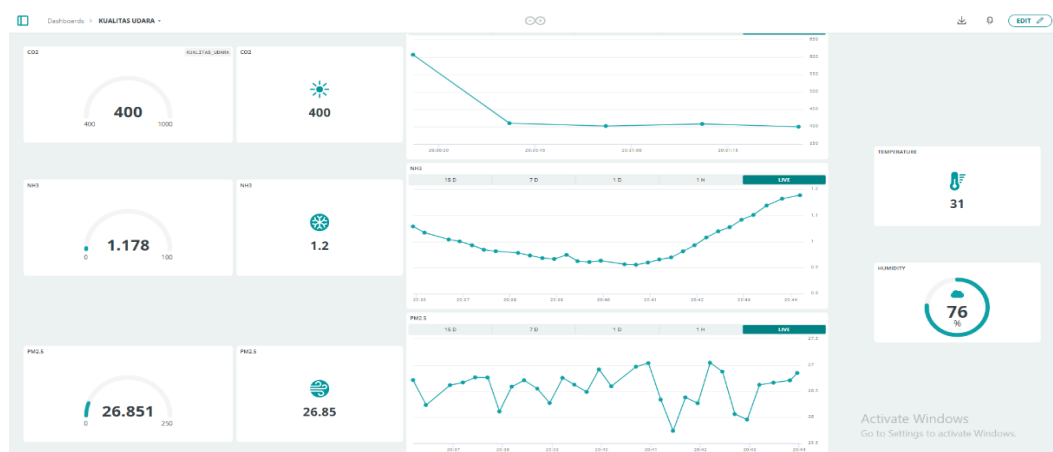
Hasil pengujian menunjukkan bahwa sistem mampu mendeteksi parameter – parameter oleh tiap sensor yang digunakan. Berfungsi sesuai spesifikasi desain

dan perubahan kualitas udara dengan tingkat akurasi yang dapat diterima, serta mendukung pemantauan kualitas udara yang efektif dan efisien berbasis teknologi IoT.

5.5 Pengujian Koneksi dan Kirim Data ke Arduino IOT Cloud

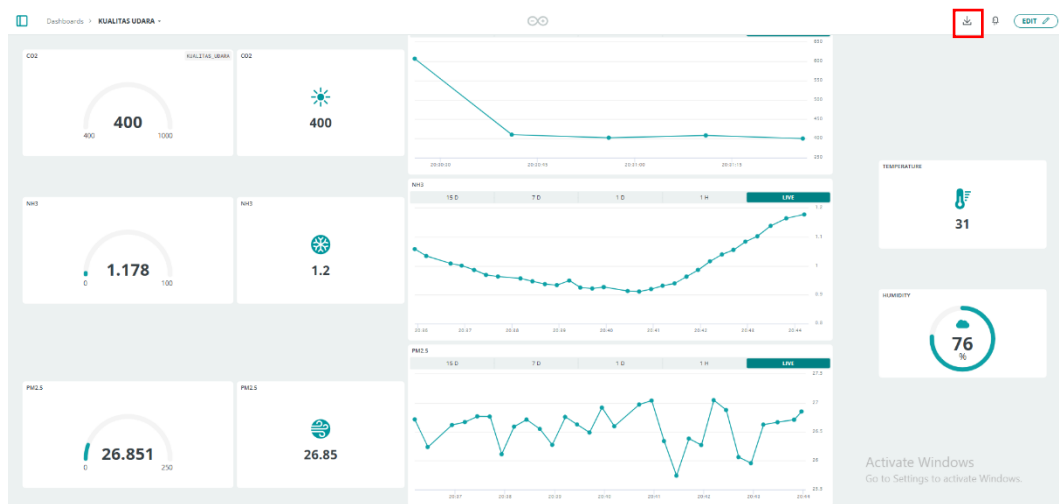
Pengujian koneksi dan pengiriman data ke Arduino IOT Cloud dilakukan untuk menguji koneksi dan pengiriman data ke Arduino IoT Cloud, modul ESP32 dikonfigurasi untuk mengakses jaringan Wi-Fi dengan kredensial yang telah disiapkan, dan mampu mengirimkan data sensor ke platform cloud secara real-time. Proses pengujian meliputi verifikasi status koneksi dan melakukan komunikasi dengan Arduino IoT Cloud. Proses ini meliputi verifikasi status koneksi Wi-Fi, pengiriman data sensor seperti CO₂, NH₃, PM2.5, suhu, dan kelembapan, serta penerimaan data pada dashboard Arduino IoT Cloud. Keberhasilan pengiriman data ditandai dengan munculnya data sensor secara langsung dan konsisten pada platform cloud, yang dapat diakses melalui berbagai perangkat seperti laptop atau smartphone. Pengujian ini juga mencakup pengamatan kestabilan koneksi selama periode pengujian untuk memastikan tidak terjadi kehilangan data atau gangguan komunikasi, sehingga sistem pemantauan kualitas udara berbasis ESP32 dan IoT dapat beroperasi secara andal dan efektif dalam kondisi lingkungan nyata.

Ketika koneksi dan kirim data berhasil tampilan dashboard akan seperti gambar 5.3 berikut, menampilkan hasil pembacaan sensor secara realtime.



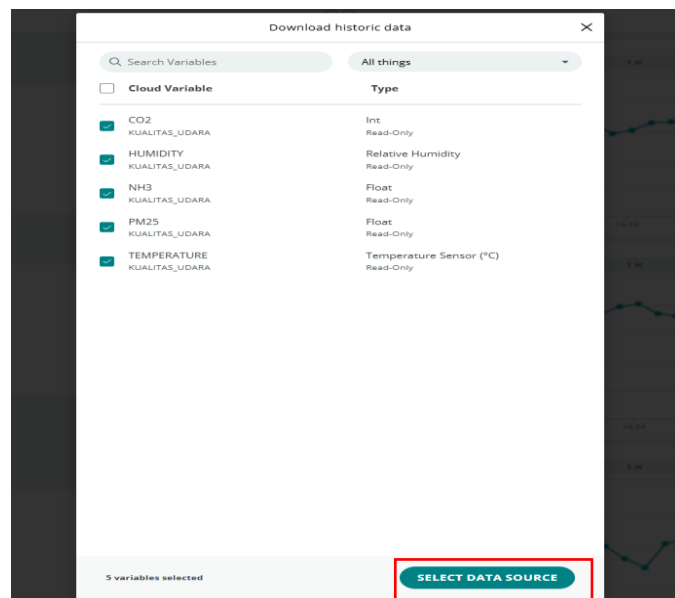
Gambar 5. 3 Tampilan Pengujian IOT Cloud (Dashboard)

Data yang diperoleh oleh sistem selama alat dinyalakan dapat dipantau melalui tampilan dashboard seperti gambar 5.4. Tampilan Dashboard berisi hasil pembacaan konsentrasi CO₂, NH₃, PM_{2.5} dilengkapi dengan grafik data, serta hasil pembacaan suhu dan kelembapan. Pada dashboard IoT Cloud tersebut kita dapat melihat fluktuasi data yang terekam melalui grafik yang tersedia pada dashboard. Selain itu data hasil pemantauan dapat di unduh untuk di analisa lebih lanjut. Data yang diperoleh berupa file berbentuk .csv, berikut alur mengunduh data dari arduino IoT Cloud.



Gambar 5. 4 Simbol Unduh pada Arduino IoT Cloud

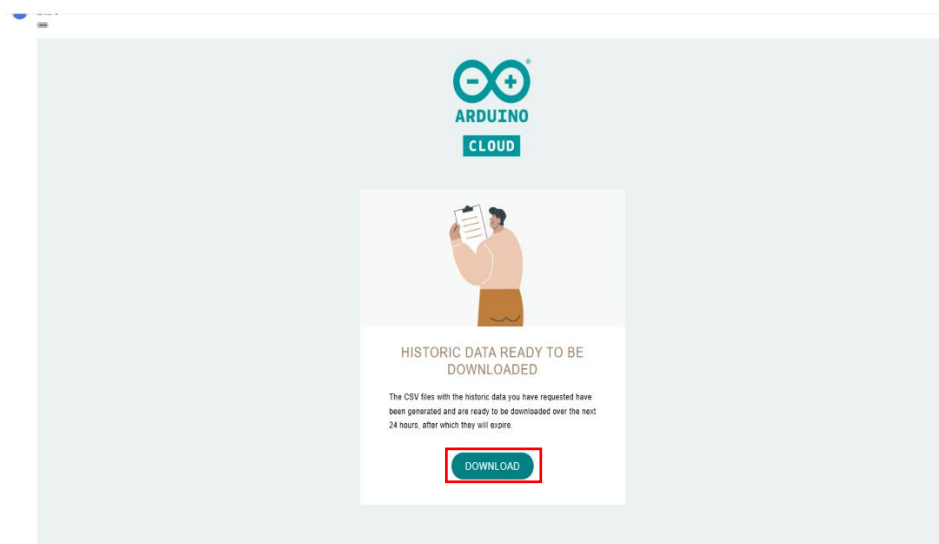
Setelah mengklik ikon unduh pada pojok kanan atas, tampilan pada arduino cloud akan berubah seperti gambar 5.5 berikut. Arduino IoT Cloud memiliki fitur yang dimana penulis dapat memilih data mana yang mau di unduh. Hal ini dikarenakan data tiap parameter tidak digabung didalam satu file, melainkan satu file .csv yang akan dikirim mewakili satu parameter, sehingga apabila menginginkan semua data penulis dapat memilih semua cloud variabel. Kemudian data ini akan dikirimkan dalam satu pesan email.



Gambar 5. 5 Tampilan Download Historic data

Setelah memilih data mana yang akan diunduh, penulis mengklik “*SELECT DATA SOURCE*”, file akan terkirim dalam bentuk *.zip*. File ini dikirimkan melalui email, sehingga penulis akan menerima file tersebut melalui email yang didaftarkan sebelumnya pada Arduino IoT Cloud. Data diunduh dengan mengklik “*Download*” pada isi email dari Arduino Cloud.

Gambar 5. 6 Historic Data yang dikirim ke Email

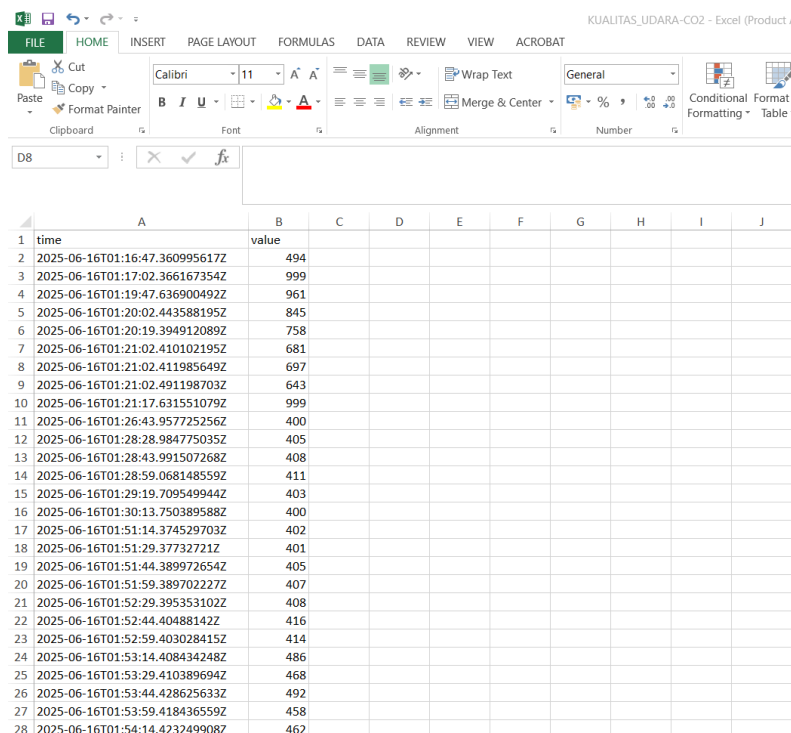


Berdasarkan gambar di atas, terlihat bahwa data historis dari Arduino IoT

Cloud dapat diunduh dalam format .csv dengan menekan tombol "DOWNLOAD" yang tersedia pada tampilan platform. Fitur ini memudahkan pengguna untuk mengakses dan menyimpan data hasil monitoring kualitas udara yang telah direkam oleh sistem. Namun, perlu diperhatikan bahwa karena penulis menggunakan fitur gratis pada platform Arduino IoT Cloud, data .csv yang telah tersedia untuk diunduh hanya dapat diakses selama 24 jam setelah alat dinyalakan. Setelah melewati batas waktu tersebut, file data tidak lagi dapat diunduh, sehingga pengguna harus segera melakukan proses pengunduhan dan penyimpanan data secara berkala.

Setelah data berhasil diunduh dalam format .csv, langkah selanjutnya adalah mengonversi file tersebut ke dalam format .xlsx (Excel) agar data lebih mudah diolah, dianalisis, dan dipresentasikan. Proses konversi ini penting untuk memudahkan pemahaman serta pengolahan data lebih lanjut, seperti pembuatan grafik, analisis statistik, atau rekapitulasi hasil pengukuran.

Meskipun file .csv hanya dapat diunduh dalam waktu 24 jam, historik data pada tampilan dashboard Arduino IoT Cloud masih dapat diakses dan dilihat hingga lima belas (15) hari sejak alat dinyalakan. Hal ini memberikan fleksibilitas bagi pengguna untuk tetap melakukan monitoring dan evaluasi data secara visual melalui dashboard, meskipun file data mentahnya sudah tidak tersedia untuk diunduh. Dengan demikian, pengguna tetap dapat memantau tren dan perubahan kualitas udara dalam periode waktu tertentu, meskipun terdapat keterbatasan pada penyimpanan data secara offline akibat penggunaan layanan gratis pada platform Arduino IoT Cloud.



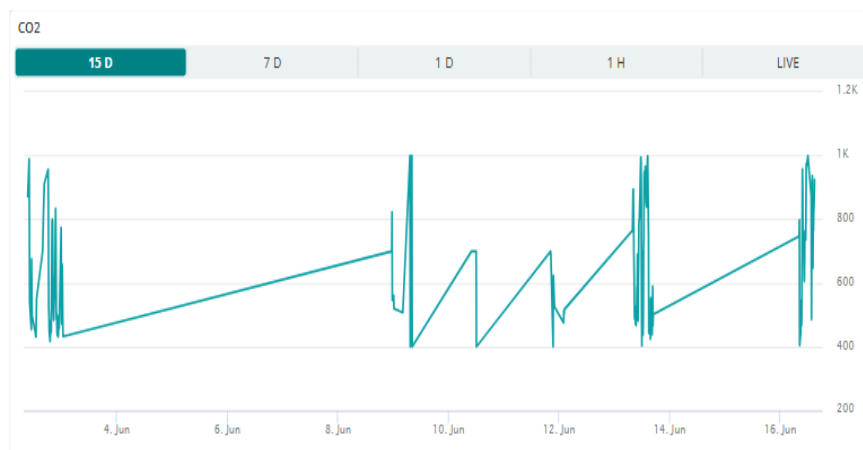
	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J
1	time	value								
2	2025-06-16T01:16:47.360995617Z	494								
3	2025-06-16T01:17:02.366167354Z	999								
4	2025-06-16T01:19:47.636900492Z	961								
5	2025-06-16T01:20:02.443588195Z	845								
6	2025-06-16T01:20:19.394912089Z	758								
7	2025-06-16T01:21:02.410102195Z	681								
8	2025-06-16T01:21:02.411985649Z	697								
9	2025-06-16T01:21:02.491198703Z	643								
10	2025-06-16T01:21:17.631551079Z	999								
11	2025-06-16T01:26:43.957725256Z	400								
12	2025-06-16T01:28:28.984775035Z	405								
13	2025-06-16T01:28:43.991507268Z	408								
14	2025-06-16T01:28:59.068148559Z	411								
15	2025-06-16T01:29:19.709549944Z	403								
16	2025-06-16T01:30:13.750389588Z	400								
17	2025-06-16T01:51:14.374529703Z	402								
18	2025-06-16T01:51:29.37732721Z	401								
19	2025-06-16T01:51:44.389972654Z	405								
20	2025-06-16T01:51:59.389702227Z	407								
21	2025-06-16T01:52:29.395353102Z	408								
22	2025-06-16T01:52:44.40488142Z	416								
23	2025-06-16T01:52:59.403028415Z	414								
24	2025-06-16T01:53:14.408434248Z	486								
25	2025-06-16T01:53:29.410389694Z	468								
26	2025-06-16T01:53:44.428625633Z	492								
27	2025-06-16T01:53:59.418436559Z	458								
28	2025-06-16T01:54:14.423249908Z	462								

Gambar 5. 7 Tampilan File Excel Gas CO₂

Gambar 5.7 menampilkan data hasil pengukuran konsentrasi CO₂ yang direkam secara berkala setiap tiga detik, lengkap dengan cap waktu yang akurat sesuai format standar internasional ISO 8601. Data tersebut awalnya tersimpan dalam file berformat .csv dan telah dikonversi menjadi file .xlsx (Excel) untuk memudahkan proses analisis dan pengolahan lebih lanjut.

Data waktu yang diperoleh dari Arduino IoT Cloud memang menggunakan format waktu standar internasional UTC (Coordinated Universal Time), sehingga bersifat global dan tidak secara otomatis menyesuaikan dengan zona waktu lokasi pengguna. Oleh karena itu, waktu yang tercatat dalam file .csv biasanya menunjukkan waktu UTC seperti contoh format "2025-06-16T01:16:47.360995617Z", yang bisa berbeda beberapa jam dengan waktu lokal.

Namun, pada Arduino IoT Cloud versi gratis, fitur penyesuaian zona waktu ini mungkin terbatas, sehingga penyesuaian waktu secara manual setelah pengunduhan data menjadi solusi yang umum digunakan. Seperti menggunakan fungsi pengolahan data di Excel, Google Sheets, atau perangkat lunak pengolah data lainnya.



Gambar 5. 8 Grafik CO2 pada Dashboard Arduino IoT Cloud

Gambar 5.8 merupakan visualisasi grafik konsentrasi CO2 secara real-time dalam 15 hari, yang dimana data ini didapat selama alat dinyalakan. Ketika alat dinyalakan tampilan direkam secara langsung dan akan ditampilkan pada grafik seperti gambar 5.8, namun dikarenakan fitur gratis arduino iot cloud yang penulis gunakan, tampilan grafik pada dashboard hanya akan ditampilkan selama 15 hari dihitung dari pencatatan hasil pembacaan sistem pada saat alat nyala. Setelah 15 hari data – data tersebut akan hilang. Pada tabel 5.7 berikut merupakan hasil pengujian koneksi dan kirim data yang diperoleh arduino cloud.

Tabel 5. 7 Hasil pengujian Koneksi dan Kirim data Arduino IoT Cloud

Tanggal	Jam	Koneksi Wifi	Status Kirim data	Kolom Arduino IoT Cloud
3/06/2025	10.00	Terhubung	Berhasil	Muncul di semua Field
10/06/2025	08.00	Terhubung	Berhasil	Muncul di semua Field
13/06/2025	08.00	Terhubung	Berhasil	Muncul di semua Field

Berdasarkan data pada Tabel 5.7, dapat disimpulkan bahwa proses koneksi antara sistem monitoring kualitas udara berbasis ESP32 dan platform Arduino IoT Cloud berjalan dengan sangat baik. Seluruh tahapan pengujian yang tercatat pada tabel menunjukkan status koneksi WiFi yang selalu "Terhubung" dan status

pengiriman data yang "Berhasil" pada setiap waktu pengujian yang dilakukan, baik pada tanggal 3 Juni, 10 Juni, maupun 13 Juni 2025. Keberhasilan pengiriman data ini juga ditandai dengan munculnya data sensor pada seluruh field di dashboard Arduino IoT Cloud secara konsisten setiap kali proses pengujian dilakukan. Hal ini membuktikan bahwa sistem mampu melakukan komunikasi data secara real-time tanpa adanya gangguan koneksi atau kehilangan data selama periode pengujian.

Selain itu, tampilan kolom "Muncul di semua Field" pada tabel menegaskan bahwa setiap parameter hasil pengukuran sensor, baik suhu, kelembapan, konsentrasi gas, maupun partikel debu dapat dikirim dan ditampilkan secara utuh di platform cloud. Dengan demikian, sistem monitoring yang dikembangkan telah memenuhi aspek keandalan dalam hal integrasi dengan layanan IoT, sehingga data dapat diakses dan dipantau secara jarak jauh melalui perangkat apapun yang terhubung ke internet. Secara keseluruhan, hasil pengujian ini menunjukkan bahwa sistem telah berhasil menjalankan fungsi utama dalam hal konektivitas dan pengiriman data ke cloud, mendukung tujuan utama dari rancang bangun sistem pemantauan kualitas udara berbasis ESP32 dan IoT.