

RANCANG BANGUN SISTEM MONITORING DAN NOTIFIKASI KUALITAS UDARA DAN AIR HUJAN BERBASIS *INTERNET OF THINGS*

1st Muh Nur Alif

Direktorat Kampus Purwokerto

Universitas Telkom Purwokerto

Purwokerto, Indonesia

mhmmdnralif@student.telkomuniversit
y.ac.id

2nd Yulian Zetta Maulana, S.T., M.T

Direktorat Kampus Purwokerto

Universitas Telkom Purwokerto

Purwokerto, Indonesia

yulianm@telkomuniversity.ac.id

3rd Fikra Titan Syifa, S.T., M.Eng

Direktorat Kampus Purwokerto

Universitas Telkom Purwokerto

Purwokerto, Indonesia

fikras@telkomuniversity.ac.id

Abstrak — Udara berperan penting dalam kehidupan, namun perkembangan urbanisasi dan industrialisasi telah menurunkan kualitasnya secara signifikan. Polusi udara tidak hanya memengaruhi kesehatan manusia tetapi juga menyebabkan hujan asam yang berdampak buruk pada ekosistem. Penelitian ini merancang sistem monitoring dan notifikasi kualitas udara serta air hujan berbasis *Internet of Things* (IoT), yang memantau parameter karbon dioksida (CO₂), pH air hujan, dan *Total Dissolved Solids* (TDS). Sistem menggunakan sensor MQ-135, pH-4502C, dan TDS KS0429 yang terintegrasi dengan mikrokontroler ESP32, menampilkan data pada LCD dan mengirimkannya ke aplikasi Blynk untuk pemantauan jarak jauh. Notifikasi visual dan suara diberikan melalui LED dan buzzer saat terjadi melebihi ambang batas. Hasil pengujian menunjukkan tingkat akurasi tinggi: pH-4502C sebesar 98,16%, TDS KS0429 sebesar 98,71%, dan MQ-135 sebesar 94,83%. Sistem ini terbukti efektif untuk pemantauan *real-time*, meskipun masih terdapat beberapa keterbatasan yang perlu diperhatikan.

Kata kunci— Udara, Air Hujan, *Internet of Things*, Sensor MQ-135, Sensor pH 4502C, Sensor TDS KS0429

I. PENDAHULUAN

Udara merupakan salah satu komponen paling penting bagi kelangsungan hidup manusia dan makhluk hidup lainnya. Namun, seiring dengan pesatnya pertumbuhan wilayah perkotaan dan aktivitas industri, kualitas udara mengalami penurunan yang cukup signifikan[1]. Salah satu penyebab utama penurunan ini adalah meningkatnya emisi dari pembakaran bahan bakar fosil di sektor transportasi, industri, dan pembangkit listrik, yang secara langsung berdampak terhadap kesehatan manusia dan kondisi lingkungan[2]. Beberapa zat pencemar utama yang berkontribusi terhadap penurunan kualitas udara antara lain partikulat halus (PM_{2.5}), nitrogen dioksida (NO₂), sulfur dioksida (SO₂), dan karbon dioksida (CO₂). Zat-zat ini tidak hanya mencemari udara, tetapi juga dapat bereaksi dengan uap air di atmosfer dan membentuk hujan asam[3][4]. Hujan asam berpotensi merusak ekosistem, menurunkan kualitas tanah dan air, serta mengganggu keseimbangan lingkungan dan meningkatkan risiko berbagai penyakit, seperti gangguan pernapasan, penyakit jantung, dan kanker[5].

Dalam menghadapi permasalahan tersebut, teknologi *Internet of Things* (IoT) menawarkan solusi yang relevan dan

efisien. IoT memungkinkan perangkat elektronik untuk saling terhubung dan bertukar data melalui jaringan internet tanpa perlu interaksi manusia secara langsung. Dalam konteks pemantauan lingkungan. [6]. Salah satu sensor yang digunakan untuk mendeteksi potensi hujan asam adalah sensor *Total Dissolved Solids* (TDS), yang mampu mengukur jumlah zat terlarut dalam air hujan. Air hujan dengan pH di bawah 5,6 umumnya menunjukkan adanya kandungan polutan yang membentuk asam sulfat (H₂SO₄) dan asam nitrat (HNO₃). Sensor ini, bersama dengan sensor pH dan MQ-135, memungkinkan sistem untuk memantau kualitas udara dan air hujan secara akurat apabila diintegrasikan dengan teknologi IoT[7].

Penelitian sebelumnya oleh Muhamad Sadali dkk. (2021) menunjukkan bahwa sistem pemantauan kualitas udara berbasis IoT yang menggunakan Wemos D1 dan aplikasi Blynk mampu memberikan data secara *real-time* dan efektif dalam memberikan notifikasi[8]. Berdasarkan penelitian tersebut, studi ini bertujuan untuk mengembangkan sistem yang lebih komprehensif, yang tidak hanya memantau kualitas udara, tetapi juga kualitas air hujan, dengan memanfaatkan teknologi IoT tidak hanya untuk memantau kualitas udara, tetapi juga kualitas air hujan. Oleh karena itu, penelitian ini berfokus pada "Rancang Bangun Sistem Monitoring dan Notifikasi Kualitas Udara dan Air Hujan Berbasis *Internet of Things* (IoT)."

II. KAJIAN TEORI

A. Udara

Udara merupakan komponen utama bagi keberlangsungan hidup di bumi, berperan sebagai media pernapasan, pengatur suhu, dan pendukung proses fotosintesis. Komposisinya terdiri dari gas-gas seperti nitrogen, oksigen, argon, karbon dioksida, dan uap air. Namun, kualitas udara semakin menurun akibat aktivitas manusia, terutama dari emisi industri, kendaraan bermotor, dan pembakaran bahan bakar fosil. Polutan seperti CO₂, SO₂, NO₂, dan PM_{2.5} dilepaskan ke atmosfer, yang tidak hanya membahayakan kesehatan manusia khususnya sistem pernapasan dan kardiovaskular tetapi juga mempercepat pemanasan global melalui efek rumah kaca[9].

B. Air Hujan

Air hujan memiliki peran penting dalam menjaga keseimbangan ekosistem melalui siklus hidrologi, terutama sebagai sumber utama air tawar bagi makhluk hidup dan pengisi cadangan air tanah, sungai, serta danau. Namun, kualitas air hujan dapat menurun akibat pencemaran atmosfer. Salah satu bentuk pencemaran tersebut adalah hujan asam, yaitu hujan dengan pH di bawah normal akibat reaksi antara uap air dan gas pencemar seperti sulfur dioksida (SO_2) dan nitrogen dioksida (NO_2) yang membentuk asam sulfat (H_2SO_4) dan asam nitrat (HNO_3) [10]. Hujan asam berdampak negatif terhadap lingkungan, antara lain menurunkan pH perairan yang membahayakan organisme akuatik, melarutkan logam berat yang mencemari sumber air, serta mengurangi kesuburan tanah dengan menghilangkan unsur hara dan meningkatkan kadar aluminium beracun. Dampak jangka panjangnya meliputi penurunan produktivitas pertanian, kerusakan ekosistem hutan, serta degradasi infrastruktur dan bangunan bersejarah.

C. Sensor pH

Sensor pH digunakan untuk mengukur tingkat keasaman atau kebasaan suatu larutan berdasarkan konsentrasi ion hidrogen (H^+). Sensor ini bekerja dengan mendeteksi perbedaan potensial listrik antara elektroda indikator dan elektroda referensi, yang dipengaruhi oleh jumlah ion H^+ dalam larutan dan dikonversi menjadi nilai pH. Umumnya, sensor pH menggunakan elektroda gabungan dalam satu probe untuk kemudahan penggunaan. Agar pengukuran tetap akurat, diperlukan kalibrasi rutin dengan larutan buffer serta perawatan dan penyimpanan elektroda yang sesuai [11].

D. Sensor TDS

Sensor TDS (*Total Dissolved Solids*) berfungsi mengukur konsentrasi zat terlarut dalam air, yang dinyatakan dalam satuan ppm atau mg/L, berdasarkan tingkat konduktivitas listrik larutan. Alat ini menggunakan dua elektroda yang mengalirkan arus, di mana besar arus sebanding dengan jumlah ion terlarut. Sinyal yang dihasilkan kemudian diolah oleh modul elektronik untuk dikonversi menjadi nilai TDS. Agar hasilnya akurat, pengukuran dilengkapi dengan kompensasi suhu dan kalibrasi menggunakan larutan standar. Umumnya, probe TDS dibuat dari material tahan korosi dan dirancang agar mudah diintegrasikan dengan mikrokontroler [12].

E. Sensor Gas

Sensor gas merupakan perangkat elektronik yang digunakan untuk mendeteksi dan mengukur konsentrasi gas tertentu di udara. Sensor ini bekerja dengan mengukur perubahan resistansi material sensornya, yang menghasilkan tegangan keluaran sebagai indikator konsentrasi gas. Nilai tegangan ini kemudian digunakan untuk memperkirakan jenis dan kadar gas. Karena terus berinteraksi dengan udara dan gas lain, sensor gas memerlukan kalibrasi yang lebih sering dibandingkan sensor lainnya. Umumnya, sensor ini terintegrasi dalam sistem pemantauan seperti alat deteksi kebocoran gas atau sistem keamanan, dan terhubung dengan alarm atau perangkat peringatan [13].

F. Mikrokontroler

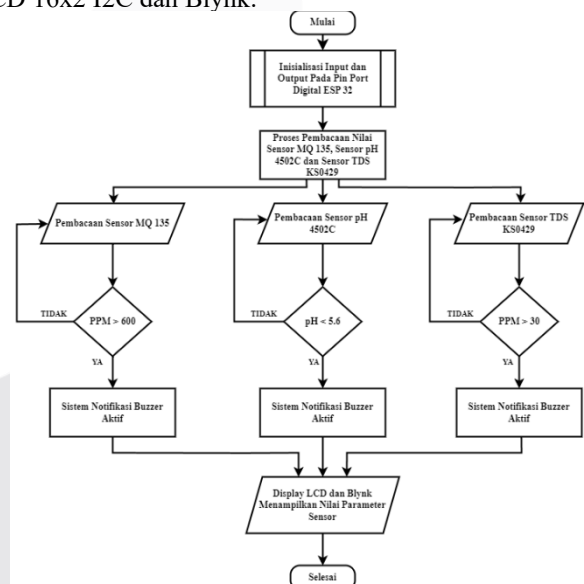
Mikrokontroler Mikrokontroler adalah sistem komputer miniatur dalam satu chip yang dirancang untuk mengendalikan fungsi tertentu dalam perangkat elektronik. Di dalamnya terintegrasi CPU, memori (RAM dan ROM), serta unit input/output, menjadikannya pusat kendali sistem. Mikrokontroler bekerja dengan menjalankan instruksi dari memori program untuk membaca data dari sensor, memproses informasi, dan mengontrol aktuator. Dilengkapi dengan fitur seperti timer, ADC, PWM, dan antarmuka komunikasi (UART, SPI, I2C), mikrokontroler dapat berinteraksi secara efisien dengan berbagai perangkat eksternal. Pemrogramannya umumnya menggunakan bahasa C dan ditanamkan ke dalam memori flash. Efisiensi daya menjadi keunggulan utamanya, menjadikannya ideal untuk perangkat portable atau berbasis baterai. [14].

III. METODE

Penelitian ini dilaksanakan dengan alur yang telah ditetapkan sebelumnya. Hal ini dilaksanakan guna mendapatkan hasil yang akurat dan tepat.

A. Flowchart Sistem

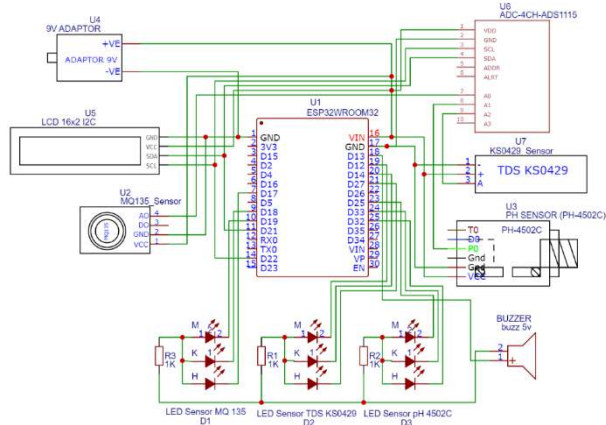
Skema sistem pada penelitian ini ditunjukkan pada gambar 1(A) yang menunjukkan bagaimana proses bekerja dari awal dimulai dari inialisasi *input* dan *output* pada pin port digital ESP32 sampai menampilkan nilai parameter ke LCD 16x2 I2C dan Blynk.



GAMBAR 1
(FLOWCHART SISTEM)

Gambar 1(A) menunjukkan alur kerja sistem monitoring kualitas udara dan air hujan. Sistem dimulai dengan inialisasi pin ESP32, kemudian membaca data dari tiga sensor: MQ-135 untuk kualitas udara, pH 4502C untuk keasaman air hujan, dan TDS KS0429 untuk zat terlarut. Jika nilai sensor melebihi ambang batas (600 ppm untuk udara, $\text{pH} < 5,6$, dan $\text{TDS} > 30$ ppm), sistem mengaktifkan *buzzer* sebagai notifikasi. Hasil pemantauan ditampilkan secara *real-time* melalui LCD dan aplikasi Blynk.

B. Rangkaian Skematik Sistem



GAMBAR 2
(RANGKAIAN SKEMATIK SISTEM)

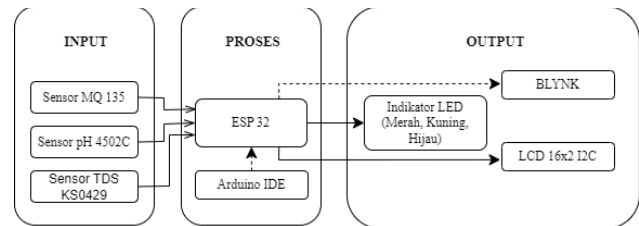
Gambar 2(B) menjelaskan tentang keterkaitan antara komponen dengan komponen lainnya yang menjadi satu sistem. ESP32 digunakan sebagai mikrokontroler dari sistem ini yang saling terhubung dengan LCD 16x2 I2C, sensor MQ 135, sensor pH 4502C, sensor TDS KS0429, ADS1115, Buzzer, led (merah, kuning, hijau) dan adaptor 9V. Sehingga perancangan dan perakitan alat akan sesuai dengan desain skematik yang telah dibuat sesuai gambar 2(B). Rangkaian skematik sistem dirancang dengan menggunakan EasyEDA untuk mempermudah dan memperjelas rangkaian setiap komponen yang saling berhubungan dalam sistem

TABEL 1(B)
(DATA PIN RANGKAIAN)

Sensor MQ 135, Sensor pH 4502C ke ESP 32	
Pin VCC MQ 135	Pin VIN ESP32
Pin GND MQ 135	Pin GND ESP32
Pin VCC pH 4502C	Pin VIN ESP32
Pin GND pH 4502C	Pin GND ESP32
Pin VCC TDS KS0429	Pin VIN ESP32
Pin GND TDS KS0429	Pin GND ESP32
Sensor MQ 135, Sensor pH 4502C ke ADS 1115	
Pin AO MQ 135	Pin A0 ADS 1115
Pin Po pH 4502C	Pin A1 ADS 1115
Pin A TDS KS0429	Pin A2 ADS 1115
ADS 1115, LCD 16x2 I2C ke ESP 32	
Pin SCL ADS 1115	Pin D22 ESP32
Pin SDA ADS 1115	Pin D21 ESP32
Pin SCL LCD 16x2 I2C	Pin D22 ESP32
Pin SDA LCD 16x2 I2C	Pin D21 ESP32
Buzzer, LED ke ESP 32	
Pin Positif Buzzer	Pin D13 ESP32
Pin Negatif Buzzer	Pin Negatif LED (Merah, Kuning, Hijau)
Pin LED Merah MQ 135	Pin D19 ESP32
Pin LED Kuning MQ 135	Pin D18 ESP32
Pin LED Hijau MQ 135	Pin D17 ESP32
Pin LED Merah TDS KS0429	Pin D12 ESP32

Pin LED Kuning TDS KS0429	Pin D14 ESP32
Pin LED Hijau TDS KS0429	Pin D27 ESP32
Pin LED Merah pH 4502C	Pin D25 ESP32
Pin LED Kuning pH 4502C	Pin D33 ESP32
Pin LED Hijau pH 4502C	Pin D32 ESP32

C. Blok Diagram Sistem



GAMBAR 3
(BLOK DIAGRAM SISTEM)

Perangkat lunak yang digunakan pada sistem ini terdiri dari dua *platform* yang dapat dilihat pada blok diagram Gambar 3(C), yaitu Arduino IDE dan Blynk. Arduino IDE adalah perangkat lunak yang digunakan untuk menulis kode program, mengkompilasinya (*compile*) menjadi kode biner, dan mengunggahnya (*upload*) ke dalam memori mikrokontroler. Arduino IDE memfasilitasi pengaturan komunikasi I2C, memungkinkan data dari sensor-sensor tersebut ditampilkan pada LCD dan dikirimkan ke aplikasi Blynk untuk pemantauan serta notifikasi. Melalui Blynk, menampilkan hasil data dari sensor TDS KS0429, sensor pH 4502C, dan sensor MQ-135 yang dikirim oleh Arduino IDE. Selain itu, pengguna dapat melakukan pemantauan kualitas udara dan air hujan secara *real-time*.

D. Pengujian Kalibrasi Sensor

Pengujian Kalibrasi dilakukan untuk mengevaluasi akurasi sensor pH4502C, TDS KS0429, dan MQ135 dengan membandingkan hasilnya terhadap sensor referensi terverifikasi. Sensor pH dan TDS diuji menggunakan larutan standar dan dibandingkan dengan *water tester* C600, sedangkan MQ135 diuji dengan udara berkonsentrasi tertentu dan dibandingkan dengan *smart* sensor AR8200. Setiap sensor diuji sepuluh kali untuk memastikan kestabilan data, dan selisih nilai dijadikan dasar penyesuaian kalibrasi.

E. Pengujian Sampel Air Hujan

Pengujian kedua ini menggunakan air hujan yang dikumpulkan secara berkala dari tanggal 2 sampai 4 Mei, dengan mempertimbangkan waktu dan hari pengambilan. Air hujan yang diperoleh kemudian diukur menggunakan sensor pH4502C untuk mengetahui tingkat keasaman, dan sensor TDS KS0429 untuk mengukur kandungan zat terlarut dalam air. Setiap pengambilan data dilakukan pada waktu yang berbeda setiap harinya guna mendapatkan pola perubahan parameter pada air hujan. Hasil pengukuran dari kedua sensor dicatat dan dianalisis untuk menilai kualitas air hujan selama rentang waktu pengamatan.

F. Pengujian Siampel Air Hujan Asam Buatan

Pada pengujian ketiga, dilakukan simulasi hujan asam buatan untuk menilai respons sistem dalam mendeteksi tingkat keasaman air akibat emisi kendaraan. Simulasi dilakukan dengan mencampurkan aquades dan gas buang kendaraan selama 2 hingga 10 menit. Campuran tersebut kemudian diuji menggunakan sensor pH4502C dan TDS

KS0429 untuk mengukur nilai pH dan TDS sebagai indikator kualitas air. Pengujian ini bertujuan mengamati sensitivitas sensor terhadap perubahan kualitas air akibat kontaminasi emisi.

Metode ini dipilih karena lebih aman dibandingkan penggunaan gas NO₂ dan SO₂ yang lazim digunakan dalam simulasi hujan asam laboratorium, namun bersifat toksik dan memerlukan penanganan khusus. Sebagai alternatif, digunakan gas CO₂ yang lebih stabil dan tidak beracun dalam kadar rendah, sehingga lebih aman untuk simulasi dalam kondisi terkontrol[15][16].

G. Pengujian Emisi Kendaraan

Pengujian selanjutnya dilakukan untuk mengukur tingkat emisi kendaraan bermotor sebagai representasi kualitas udara yang tercemar. Sensor yang digunakan adalah sensor MQ135 yang dirancang untuk mendeteksi gas CO₂. Pengujian dilakukan dengan menempatkan sensor pada jarak 1 meter hingga 5 meter dari sumber emisi kendaraan. Setiap pengukuran diambil dalam waktu yang sama guna memperoleh data yang konsisten. Tujuan dari pengujian ini adalah untuk mengetahui seberapa besar pengaruh jarak terhadap konsentrasi emisi yang terdeteksi oleh sensor.

H. Pengujian Sistem Monitoring dan Notifikasi Kualitas Udara dan Air Hujan Secara *Real time*

Pengujian terakhir bertujuan untuk menguji performa keseluruhan sistem dalam melakukan monitoring kualitas udara dan air hujan secara *real time* serta kemampuannya dalam memberikan notifikasi secara otomatis. Sistem diuji selama rentang waktu empat jam, yaitu dari pukul 13.00 hingga 17.00. Selama periode tersebut, data dari sensor MQ135 mengukur kualitas udara, sensor pH4502C mengukur keasaman air, dan sensor TDS KS0429 mengukur kepadatan zat terlarut dipantau dan dikirimkan secara langsung ke platform IoT yang telah dikembangkan. Selain itu, sistem notifikasi berbasis Blynk diuji untuk memastikan pesan peringatan dapat terkirim apabila parameter kualitas udara atau air melebihi ambang batas normal. Hasil dari pengujian ini digunakan untuk menilai efektivitas sistem dalam aplikasi nyata.

IV. HASIL DAN PEMBAHASAN

Proses penelitian dilakukan dengan berbagai metode pengujian terhadap sistem monitoring kualitas udara dan air hujan secara *real time*. Pengujian bertujuan untuk mengevaluasi keandalan sensor, validitas data, serta efektivitas sistem dalam menyajikan informasi dan notifikasi. Metode pengujian yang dilakukan meliputi kalibrasi sensor, pengujian sampel air hujan dan air hujan asam buatan, pengujian emisi kendaraan, serta pengujian keseluruhan sistem secara *real time*.

A. Pengujian Kalibrasi Sensor

Kalibrasi sensor merupakan tahap penting untuk memastikan akurasi data yang dihasilkan. Dalam sistem monitoring kualitas udara dan air hujan berbasis IoT pada penelitian ini, dilakukan kalibrasi terhadap tiga sensor utama: sensor pH 4502C, TDS KS0429, dan gas MQ135. Tujuan kalibrasi adalah mengukur tingkat akurasi sensor dengan membandingkan hasilnya terhadap alat referensi yang telah teruji. Pengujian dilakukan melalui metode pencelupan atau

paparan sebanyak sepuluh kali untuk memperoleh hasil yang stabil dan konsisten.

1. Kalibrasi Sensor pH 4502C dan Sensor *Water Tester C600*

Kalibrasi sensor yang diuji terhadap sensor pH 4502C, yang berfungsi untuk mengukur tingkat keasaman dalam air, dengan menggunakan dua larutan buffer, yaitu pH 4 dan pH 7, sebagai media kalibrasi. Hasil pengukuran sensor ini kemudian dibandingkan dengan sensor referensi water tester C600. Pada setiap pengambilan data, sensor pH 4502C dan water tester C600 dicelupkan sepuluh kali kedalam larutan buffer pH 4 dan buffer pH 7 dengan wadah gelas 250 ml, pengukuran dilakukan secara berkala dan hasil pembacaan sensor dicatat.

TABEL 2(A) KALIBRASI SENSOR PH 4502C DAN WATER TESTER C600 MENGGUNAKAN LARUTAN PH 4

NO	Sensor pH 4502C	Water Tester C600	Error (%)	Akurasi (%)
	pH 4	pH 4	pH 4	pH 4
1	4.16	4.09	1.71	98.29
2	4.18	4.07	2.70	97.30
3	4.15	4.06	2.22	97.78
4	4.13	4.06	1.72	98.28
5	4.14	4.07	1.72	98.28
6	4.17	4.08	2.21	97.79
7	4.15	4.07	1.97	98.03
8	4.16	4.08	1.96	98.04
9	4.14	4.09	1.22	98.78
10	4.17	4.10	1.71	98.29

Tabel 2(A) data yang diperoleh, rata-rata nilai error untuk larutan buffer pH 4 adalah 1.95% dengan tingkat akurasi sebesar 98.05%. Hasil ini menunjukkan bahwa sensor pH 4502C mampu memberikan pengukuran yang cukup akurat dan dapat diandalkan untuk mendeteksi tingkat keasaman air hujan.

TABEL 3(A) KALIBRASI SENSOR PH 4502C DAN WATER TESTER C600 MENGGUNAKAN LARUTAN PH 7.

NO	Sensor pH 4502C	Water Tester C600	Error (%)	Akurasi (%)
	pH 7	pH 7	pH 7	pH 7
1	6.89	7.08	1.84	98.16
2	6.90	7.05	1.84	98.16
3	6.92	7.07	1.98	98.02
4	6.91	7.09	2.12	97.88
5	6.88	7.06	2.41	97.59
6	6.91	7.10	2.68	97.32
7	6.87	7.08	2.69	97.31
8	6.92	7.09	2.12	97.88

9	6.89	7.05	1.99	98.01
10	6.93	7.07	1.98	98.02

Pada tabel 3(A) data yang diperoleh, rata-rata nilai error untuk larutan buffer pH 7, nilai errornya sebesar 2.04% dan akurasi 97.96%. Hasil ini menunjukkan bahwa sensor pH 4502C mampu memberikan pengukuran yang cukup akurat dan dapat diandalkan untuk mendeteksi tingkat keasaman air hujan. Selanjutnya tabel 4(A) kalibrasi sensor TDS KS0429 dan water tester C600.

2. Kalibrasi Sensor TDS KS0429 dan *Water Tester* C600

Kalibrasi sensor TDS KS0429 dilakukan menggunakan larutan standar 1000 ppm dan dibandingkan dengan alat referensi *water tester* C600. Proses kalibrasi melibatkan pencelupan kedua sensor ke dalam larutan dalam gelas 250 ml sebanyak sepuluh kali, dengan pengukuran dilakukan secara berkala. Data hasil pengukuran kemudian dicatat untuk menghitung nilai error dan akurasi sensor.

Tabel 4(A) Kalibrasi Sensor TDS KS0429 dan *Water Tester* C600

NO	Sensor pH 4502C	<i>Water Tester</i> C600	Error (%)	Akurasi (%)
	pH 7	pH 7	pH 7	pH 7
1	6.89	7.08	1.84	98.16
2	6.90	7.05	1.84	98.16
3	6.92	7.07	1.98	98.02
4	6.91	7.09	2.12	97.88
5	6.88	7.06	2.41	97.59
6	6.91	7.10	2.68	97.32
7	6.87	7.08	2.69	97.31
8	6.92	7.09	2.12	97.88
9	6.89	7.05	1.99	98.01
10	6.93	7.07	1.98	98.02

Pada tabel 4(A) diperoleh rata-rata nilai error sebesar 1.36%, dengan akurasi mencapai 98.63%. Dengan hasil tersebut, sensor ini terbukti memiliki tingkat presisi yang tinggi dan cocok digunakan untuk memantau kualitas air berdasarkan zat terlarut di dalamnya. Selanjutnya tabel 4.3 kalibrasi sensor MQ135 dan *smart* sensor AR8200.

3. Kalibrasi Sensor MQ 135 dan *Smart* Sensor AR8200

Kalibrasi sensor gas MQ135 dilakukan untuk mendeteksi konsentrasi CO₂ di udara, menggunakan asap knalpot motor sebagai sumber polutan utama. Pengujian berlangsung di ruangan tertutup berukuran 2,5 × 1,4 meter selama lima menit per sesi, dengan sepuluh kali pengulangan guna memperoleh data yang konsisten. Hasil sensor MQ135 dibandingkan dengan *Smart* Sensor AR8200 sebagai alat referensi berakurasi tinggi. Setelah setiap sesi, kipas angin digunakan untuk menurunkan konsentrasi gas dan partikel pencemar, sehingga kondisi udara mendekati normal sebelum pengujian berikutnya.

TABEL 5(A) KALIBRASI SENSOR MQ 135 DAN SMART SENSOR AR8200

NO	Sensor MQ135	Smart Sensor AR8200	Error (%)	Akurasi (%)
1	838	896	6,47	93,53
2	827	875	5,49	94,51
3	856	904	5,31	94,69
4	843	889	5,17	94,83
5	839	885	5,20	94,80
6	844	892	5,38	94,62
7	841	890	5,51	94,49
8	831	879	5,46	94,54
9	867	915	5,25	94,75
10	861	910	5,38	94,62

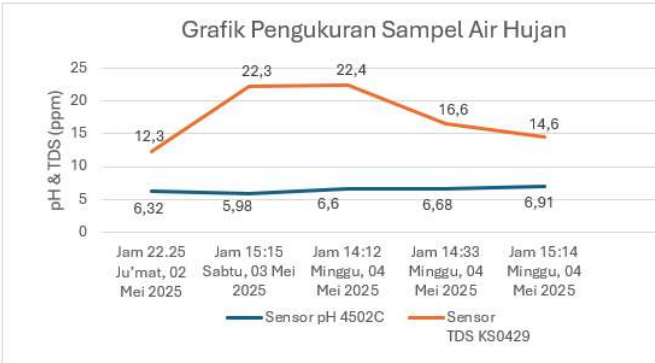
Pada tabel 5(A). Pengukuran menunjukkan rata-rata nilai error sebesar 5.38% dengan akurasi sebesar 94.62%. Meskipun nilai error ini sedikit lebih tinggi dibandingkan dua sensor lainnya yang diuji, kinerja sensor MQ135 tetap tergolong baik dan masih dapat diandalkan untuk keperluan pemantauan kualitas udara pada sistem monitoring berbasis IoT.

B. Pengujian Sampel Air Hujan

Pengukuran kualitas air hujan dilakukan menggunakan sensor pH 4502C untuk tingkat keasaman dan sensor TDS KS0429 untuk total zat padat terlarut (ppm). Pengambilan data dilakukan lima kali pada periode 2–4 Mei 2025, di lokasi dengan kondisi cuaca yang stabil. Sebelum pengujian, kedua sensor telah dikalibrasi guna menjamin akurasi dan presisi pembacaan. Nilai yang diperoleh merupakan rata-rata dari sepuluh kali pengukuran, dan hasilnya disajikan dalam bentuk tabel dan grafik.

TABEL 6(B) PENGUKURAN SAMPEL AIR HUJAN

NO	Waktu, Hari & Tanggal	Sensor pH 4502C	Sensor TDS KS0429
1	Jam 22.25 Ju'mat, 02 Mei 2025	6.32 pH	12.3 ppm
2	Jam 15:15 Sabtu, 03 Mei 2025	5.98 pH	22.3 ppm
3	Jam 14:12 Minggu, 04 Mei 2025	6.60 pH	22.4 ppm
4	Jam 14:33 Minggu, 04 Mei 2025	6.68 pH	16.6 ppm
5	Jam 15:14 Minggu, 04 Mei 2025	6.91 pH	14.6 ppm



GAMBAR 4(B) PENGUKURAN SAMPEL AIR HUJAN

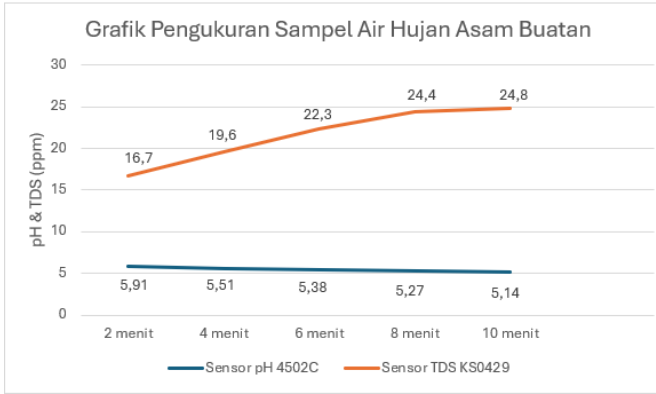
Berdasarkan grafik pada Gambar 4(B), sensor pH 4502C menunjukkan kinerja stabil dengan nilai pH berkisar antara 5,88 hingga 6,91, yang mengindikasikan air hujan sedikit asam namun masih dalam batas alami. Stabilitas ini mencerminkan akurasi sensor dan minimnya pengaruh dari kondisi eksternal, mengingat lokasi pengambilan sampel tidak terpapar polusi industri. Sebaliknya, sensor TDS KS0429 menunjukkan fluktuasi nilai yang signifikan, dari 12,3 ppm naik ke 22,4 ppm lalu turun ke 14,6 ppm, menunjukkan sensitivitas tinggi terhadap perubahan kandungan zat terlarut seperti partikel debu atau residu organik. Kombinasi kedua sensor ini memberikan hasil yang saling melengkapi: sensor pH untuk mengukur tingkat keasaman secara stabil, dan sensor TDS untuk mendeteksi variasi kandungan air, sehingga bersama-sama mampu memberikan gambaran yang lebih menyeluruh tentang kualitas air hujan di lingkungan dengan polusi rendah.

C. Pengujian Sampel Air Hujan Asam Buatan

Pengujian dilakukan dengan menggunakan sampel aquades murni yang dicampur secara bertahap dengan emisi gas buang kendaraan setiap dua menit selama sepuluh menit untuk mensimulasikan pembentukan hujan asam. Tujuan simulasi ini adalah untuk mengevaluasi kemampuan sistem dalam memantau perubahan kualitas air akibat paparan polutan udara, khususnya sulfur dioksida (SO₂) dan nitrogen oksida (NO₂). Sensor yang digunakan terdiri dari sensor pH 4502C untuk mengukur tingkat keasaman dan sensor TDS KS0429 untuk mengukur kadar zat padat terlarut (ppm). Sebelum pengujian, kedua sensor telah dikalibrasi guna memastikan keakuratan data. Hasil pengukuran merupakan rata-rata pembacaan sensor, yang kemudian disajikan dalam bentuk tabel dan grafik..

TABEL 7(C) PENGUKURUN SAMPEL AIR HUJAN ASAM BUATAN

NO	Berdasarkan Waktu	Sensor pH 4502C	Sensor TDS KS0429
1	2 Menit	5.91 pH	16.7 ppm
2	4 Menit	5.51 pH	19.6 ppm
3	6 Menit	5.38 pH	22.3 ppm
4	8 Menit	5.27 pH	24.4 ppm
5	10 Menit	5.14 pH	24.8 ppm



Gambar 5(C) Pengukurun Sampel Air Hujan Asam Buatan

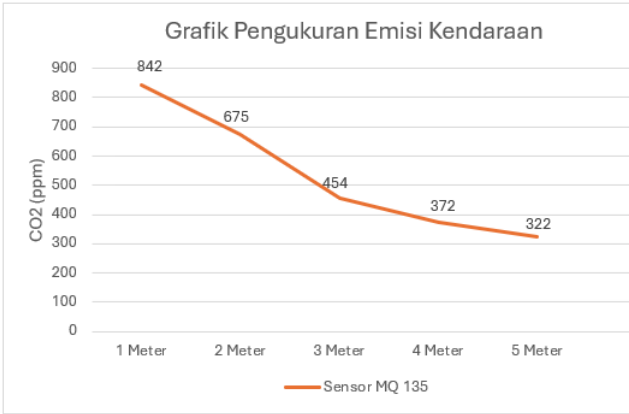
Berdasarkan grafik pada gambar 5(C), terlihat bahwa nilai pH menurun secara bertahap dari 5,91 pada menit ke-2 menjadi 5,14 pada menit ke-10, menunjukkan peningkatan keasaman larutan akibat p enambahan emisi kendaraan. Hal ini sejalan dengan mekanisme terbentuknya hujan asam, di mana senyawa asam terbentuk melalui reaksi antara polutan udara dan uap air. Di sisi lain, nilai TDS mengalami kenaikan progresif dari 16,7 ppm menjadi 24,8 ppm, mencerminkan akumulasi zat terlarut yang berasal dari partikel dan gas hasil pembakaran yang masuk ke dalam larutan. Perubahan pH dan TDS secara simultan menunjukkan adanya degradasi kualitas air selama simulasi berlangsung. Hasil ini membuktikan bahwa sistem mampu memantau perubahan parameter kualitas air secara cepat dan akurat, serta berpotensi digunakan sebagai alat pemantauan lingkungan yang efektif.

D. Pengujian Emisi Kendaraan

Pengujian sensor MQ-135 dilakukan untuk mengevaluasi akurasi dan sensitivitasnya dalam mendeteksi karbon dioksida (CO₂) dari gas buang kendaraan pada berbagai jarak. Sensor ini berfungsi sebagai komponen utama dalam sistem pemantauan kualitas udara akibat emisi kendaraan bermotor. Pengujian dilakukan dengan menempatkan sensor pada lima jarak berbeda, yaitu 1 hingga 5 meter dari knalpot kendaraan yang menyala dalam kondisi diam. Sebelum pengukuran, sensor dikalibrasi menggunakan smart sensor AR8200 sebagai alat referensi. Data CO₂ dikumpulkan selama beberapa menit di setiap titik, dan nilai yang digunakan merupakan rata-rata pembacaan. Hasil pengujian memberikan gambaran tentang sebaran emisi di udara terbuka serta kemampuan sensor dalam mendeteksi perubahan konsentrasi gas berdasarkan jarak. Data disajikan dalam bentuk tabel dan grafik.

TABEL 8(D) PENGUKURAN EMISI KENDARAAN

NO	Berdasarkan Jarak	Sensor MQ 135
1	1 Meter	842 ppm
2	2 Meter	675 ppm
3	3 Meter	454 ppm
4	4 Meter	372 ppm
5	5 Meter	322 ppm



GAMBAR 6(D) PENGUKURAN EMISI KENDARAAN

Berdasarkan gambar 6(D), konsentrasi gas CO₂ terdeteksi menurun seiring dengan bertambahnya jarak dari sumber emisi kendaraan. Nilai tertinggi tercatat sebesar 842 ppm pada jarak 1 meter, kemudian menurun menjadi 675 ppm di 2 meter, 454 ppm di 3 meter, 372 ppm di 4 meter, dan 322 ppm pada 5 meter. Penurunan ini menunjukkan bahwa gas buang tersebar dan bercampur dengan udara, sehingga konsentrasinya berkurang. Sensor MQ-135 memberikan respons yang konsisten terhadap perubahan tersebut, menandakan sensitivitas dan keandalannya dalam mendeteksi gas CO₂. Secara keseluruhan, sensor ini terbukti efektif untuk memantau emisi kendaraan dan dapat diandalkan dalam sistem monitoring lingkungan berbasis IoT.

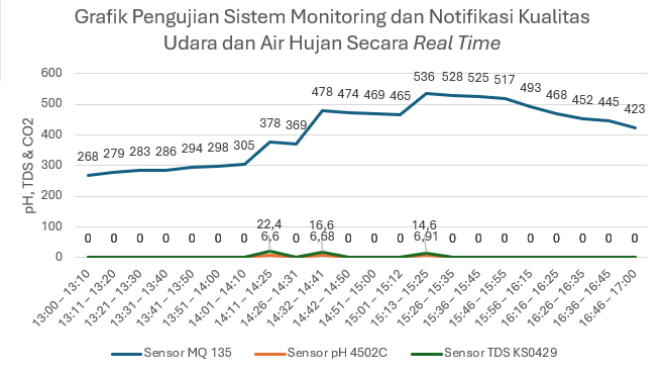
E. Pengujian Sistem Monitoring dan Notifikasi Kualitas Udara dan Air Hujan Secara *Real time*

Pengujian ini bertujuan untuk mengevaluasi kinerja sistem monitoring dan notifikasi dalam memantau kualitas udara dan air hujan secara real time. Sistem menggunakan tiga sensor utama, yaitu MQ-135 untuk mendeteksi kadar karbon dioksida (CO₂) di udara, pH 4502C untuk mengukur tingkat keasaman air, dan TDS KS0429 untuk mengukur kadar total padatan terlarut. Seluruh sensor telah dikalibrasi terlebih dahulu menggunakan sensor referensi C-600 dan AR8200 guna menjamin akurasi data. Sensor MQ-135 beroperasi secara kontinu, sementara sensor pH dan TDS hanya aktif saat terdapat sampel air hujan, karena memerlukan media cair untuk berfungsi. Nilai pH dan TDS yang diperoleh merupakan rata-rata dari beberapa kali pembacaan selama hujan berlangsung. Pengujian ini juga bertujuan menilai konsistensi data dan akurasi sistem notifikasi. Data dikumpulkan secara berkala antara pukul 13.00 hingga 17.00 WIB dan disajikan dalam bentuk tabel dan grafik.

TABEL 9(E)
 PENGUJIAN SISTEM MONITORING DAN NOTIFIKASI KUALITAS UDARA DAN AIR HUJAN SECARA REAL-TIME

Waktu, Hari & Tanggal	Pengujian Sistem Monitoring dan Notifikasi Kualitas Udara dan Air Hujan Secara Real-time			
	Minggu, 04 Mei 2025	Sensor MQ 135	Sensor pH 4502C	Sensor TDS KS042
Kondisi				
9				

13:00 – 13:10	268 ppm	0 pH	0 ppm	Panas
13:11 – 13:20	279 ppm	0 pH	0 ppm	Panas
13:21 – 13:30	283 ppm	0 pH	0 ppm	Panas
13:31 – 13:40	286 ppm	0 pH	0 ppm	Panas
13:41 – 13:50	294 ppm	0 pH	0 ppm	Berawan
13:51 – 14:00	298 ppm	0 pH	0 ppm	Berawan
14:01 – 14:10	305 ppm	0 pH	0 ppm	Hujan
14:11 – 14:25	378 ppm	6.60 pH	21 ppm	Gerimis Hujan Deras
14:26 – 14:31	369 ppm	0 pH	0 pH	Berawan
14:32 – 14:41	478 ppm	6.68 pH	17 ppm	Hujan Deras
14:42 – 14:50	474 ppm	0 pH	0 ppm	Hujan Gerimis
14:51 – 15:00	469 ppm	0 pH	0 ppm	Berawan
15:01 – 15:12	465 ppm	0 pH	0 ppm	Berawan
15:13 – 15:25	536 ppm	6.91 pH	14 ppm	Hujan Deras
15:26 – 15:35	528 ppm	0 pH	0 ppm	Hujan Gerimis
15:36 – 15:45	525 ppm	0 pH	0 ppm	Berawan
15:46 – 15:55	517 ppm	0 pH	0 ppm	Berawan
15:56 – 16:15	493 ppm	0 pH	0 ppm	Cerah
16:16 – 16:25	468 ppm	0 pH	0 ppm	Cerah
16:26 – 16:35	452 ppm	0 pH	0 ppm	Cerah
16:36 – 16:45	445 ppm	0 pH	0 ppm	Cerah
16:46 – 17:00	423 ppm	0 pH	0 ppm	Cerah



GAMBAR 7(E)
 PENGUJIAN SISTEM MONITORING DAN NOTIFIKASI KUALITAS UDARA DAN AIR HUJAN SECARA REAL-TIME

Pada gambar 7(E) menyajikan grafik hasil pengujian sistem monitoring dan notifikasi kualitas udara dan air hujan secara *real time* dengan tiga parameter utama: kadar CO₂, nilai pH, dan kadar TDS. Pada awal pengamatan (13.00–14.10 WIB), hanya sensor MQ-135 yang aktif, mencatat peningkatan kadar CO₂ dari 268 ppm menjadi 305 ppm. Sensor pH dan TDS belum menunjukkan pembacaan karena belum terdapat air hujan sebagai media pengukuran. Mulai pukul 14.11 WIB, saat hujan mulai turun, sensor pH mencatat nilai awal sebesar 22,4 dan TDS sebesar 6,6. Selanjutnya, nilai pH berfluktuasi ke 16,6, 14,6, dan kembali ke nol ketika hujan berhenti, sedangkan nilai TDS relatif stabil dalam kisaran 6,68–6,91. Selama periode ini, sensor MQ-135 terus mencatat fluktuasi CO₂ yang mencapai puncaknya 536 ppm pada pukul 15.31 WIB, lalu menurun menjadi 423 ppm pada pukul 17.00 WIB, mencerminkan dinamika kualitas udara yang dipengaruhi berbagai faktor lingkungan. Secara keseluruhan, sistem berhasil mengintegrasikan ketiga sensor dengan baik, memberikan data yang saling melengkapi tentang kualitas udara dan air. Sensor MQ-135 terbukti efektif untuk pemantauan udara secara kontinu, sedangkan sensor pH dan TDS bekerja responsif terhadap keberadaan air hujan. Sistem ini memberikan informasi lingkungan yang akurat dan *real time*, serta berpotensi dikembangkan lebih lanjut melalui penyimpanan data jangka panjang atau integrasi dengan platform cloud untuk prediksi dan peringatan dini pencemaran lingkungan.

V. KESIMPULAN

Hasil penelitian dan pengujian sistem monitoring serta notifikasi kualitas udara dan air hujan berbasis IoT yang menggunakan mikrokontroler ESP32 dan sensor MQ-135, pH 4502C, serta TDS KS0429 menunjukkan bahwa sistem ini dapat beroperasi secara real-time dengan tingkat akurasi yang tinggi (pH 98,16%, TDS 98,71%, CO₂ 94,83%). Data hasil pengukuran dapat ditampilkan pada layar LCD dan aplikasi Blynk, serta dilengkapi dengan notifikasi visual dan suara. Sistem ini juga terbukti peka terhadap perubahan kondisi lingkungan, terlihat dari kemampuannya mendeteksi penurunan pH dan kenaikan TDS pada simulasi paparan CO₂ dalam air hujan buatan, sehingga efektif sebagai alat pendeteksi awal potensi hujan asam. Secara keseluruhan, sistem yang dikembangkan berhasil memenuhi tujuan penelitian dengan menyediakan informasi lingkungan yang cepat, akurat, dan mudah diakses, serta memiliki potensi untuk mendukung pemantauan kualitas udara dan air hujan secara *real time*.

REFERENSI

- [1] M. Santoso et al., "Assessment of urban air quality in Indonesia," *Aerosol Air Qual. Res.*, vol. 20, no. 10, pp. 2142–2158, 2020, doi: 10.4209/aaqr.2019.09.0451.
- [2] E. Fikri, "Pencemaran Udara Dan Dampaknya Bagi Kesehatan", Penerbit Cv.Eureka Media Aksara, 2021, pp. 4–80.
- [3] B. Haryanto, "Climate Change and Urban Air Pollution Health Impacts in Indonesia," *Springer Clim.*, no. 14, 2018, pp. 215–239, 2018, doi: 10.1007/978-3-319-61346-8_14.
- [4] R. F. Siregar, "Analisis pH dan Konduktivitas Air Hujan Terhadap Kualitas Udara Selama 2019-2021 di Wilayah Bandar Lampung," Skripsi. Fak. Tarb. Dan Keguruan. Univ. Islam NEGERI RADEN INTAN LAMPUNG, 2022, [Online]. Available: <http://repository.radenintan.ac.id/id/eprint/20827>.
- [5] D. Widodo, S. Kristianto, A. Susilawaty., dkk "Book Chapter Ekologi dan Ilmu Lingkungan" Penerbit Yayasan Kita Menulis, 2021, pp. 6-205.
- [6] A. Indrawati, "Pengukuran pH dan Konduktivitas Air Hujan untuk Pemantauan Kualitas Udara di Daerah Bandung," *J. Ber. Dirgant.*, vol. 18, no. 2, pp. 53–60, 2021.
- [7] J. Prakash, S. B. Agrawal, and M. Agrawal, "Global Trends of Acidity in Rainfall and Its Impact on Plants and Soil," *J. Soil Sci. Plant Nutr.*, vol. 23, no. 1, pp. 398–419, 2023, doi: 10.1007/s42729-022-01051-z.
- [8] M. Sadali, Y. K. Putra, L. Kertawijaya, and I. Gunawan, "Sistem Monitoring dan Notifikasi Kualitas Udara Dijalan Raya Dengan Platform IOT," *Infotek : Jurnal Informatika dan Teknologi*, vol. 5, no. 1, 2022, pp 11-21.
- [9] H. Syahputra, N. Ariani, and Arman "Berpikir Kritis Terhadap Pencemaran Lingkungan Dengan Metode Inkuiri", Penerbit CV. El Publisher, vol. 123, no. 10. 2022. [Online]. Available: <https://curia.ihmc.us/rid=1R440PDZR-13G3T80-2W50/4.Pautas-para-evaluar-Estilos-de-Aprendizajes.pdf>
- [10] C. T. Chang, C.J. Yang, K.H., Huang, J.Chuan., and T.Chiu. 2020. "Changes of precipitation acidity related to sulfur and nitrogen deposition in forests across three continents in north hemisphere over last two decades". *Science of The Total Environment*, 806, 150552. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2021.150552>
- [11] H. Reidy, "Theory and practice," *Radiometer Analytical*, vol. 21, no. 22, pp. 4-8, 2010.
- [12] Keyestudio, "KS0429 keyestudio TDS Meter V1.0," pp. 1–9, 2021, [Online]. Available: KS0429 keyestudio TDS Meter V1.0 - Keyestudio Wiki
- [13] L. Hanwei Electronics Co., "Mq-135 Hanwei," vol. 1, pp. 3–5, [Online]. Available: <http://www.hwsensor.com>
- [14] Espressif System, "ESP32-WROOM-32 Datasheet," Data Sheet, p. 20, 2019, [Online]. Available: www.espressif.com/en/subscribe.
- [15] A. Masito, "Analisis Resiko Kualitas Udara Ambien (NO₂ dan SO₂) dan Gangguan Pernapasan pada Masyarakat di Wilayah Kalianak Surabaya," *Promotor Kesehatan Puskesmas Morokrembangan*, vol. 10, no. 04, Oktober 2014, pp. 394–401.
- [16] T. Budiwati, "Analisis Hujan Asam dan CO₂ Atmosfer," *Pusat Pemanfaatan Sains Atmosfer Dan Iklim-LAPAN*, 2009, pp. 276–281.