

Rancang Bangun Sistem Monitoring Kualitas Udara, Kecepatan Angin, dan Arah Angin Menggunakan Mikrokontroler ESP32 dan Visualisasi Data Menggunakan Blynk

[Design of Air Quality, Wind Speed, and Wind Direction Monitoring System Using ESP32 Microcontroller and Data Visualization Using Blynk]

Abdur Rahman Haritsah^{1*}, Henri P. Uranus²,

^{1,2}Program Studi Teknik Elektro, Universitas Pelita Harapan, Karawaci

Universitas Pelita Harapan Jl. M.H Thamrin Boulevard, Lippo Village, Tangerang

*Korespondensi penulis: 01035220002@student.uph.edu

ABSTRACT

Air quality, wind speed, and wind direction monitoring system is a system that can measure environmental parameters that affect human health and comfort, as well as displaying real-time measurement data through an application. This system is designed and built using ESP32 microcontroller and data visualization using Blynk IoT platform. The system consists of three main components, namely sensors, microcontroller, and IoT platform. The sensors used are DHT22 sensor to read temperature and humidity, MQ135 sensor to read CO₂ concentration, anemometer sensor to read wind speed, and wind direction sensor to read wind direction. These sensors send data to the ESP32 microcontroller, which then processes the data and sends it to the Blynk server via an internet connection. In addition, the measurement data is also automatically sent to a Google Spreadsheet using the Google Sheets API. This allows users to save data in a tabular format, perform further analysis, and store measurement history in the cloud. The Blynk app displays measurement data in the form of graphs, numbers, and color indicators. The test showed that the system can function well in measuring environmental parameters. Verification showed that the average relative errors in reading the parameters are as follows: temperature 1.7%, humidity 1.63%, CO₂ concentration 1.99%, and wind speed 0.02%. These error values are within accepted tolerance level, hence the system is sufficiently accurate to measure environmental conditions.

Keywords: ESP32 microcontroller, environmental monitoring system, IoT, Blynk

ABSTRAK

Sistem monitoring kualitas udara, kecepatan angin, dan arah angin adalah sistem yang dapat mengukur parameter-parameter lingkungan yang berpengaruh terhadap kesehatan dan kenyamanan manusia, serta menampilkan data hasil pengukuran melalui aplikasi. Sistem ini dirancang dan dibangun dengan menggunakan mikrokontroler ESP32 dan visualisasi data menggunakan *platform* IoT Blynk. Sistem ini terdiri dari tiga komponen utama, yaitu sensor, mikrokontroler, dan *platform* IoT. Sensor yang digunakan adalah sensor DHT22 untuk membaca suhu dan kelembapan, sensor MQ135 untuk membaca konsentrasi CO₂, sensor anemometer untuk membaca kecepatan angin, dan sensor arah angin untuk membaca arah angin. Sensor-sensor ini mengirim data ke mikrokontroler ESP32, yang kemudian mengolah data dan mengirimnya ke server Blynk melalui koneksi internet. Selain itu, data hasil pengukuran juga dikirimkan secara otomatis ke *Google Spreadsheet* menggunakan API *Google Sheets*. Hal ini memungkinkan pengguna untuk menyimpan data dalam format tabel, melakukan analisis lanjutan, dan menyimpan riwayat pengukuran di awan. Aplikasi Blynk menampilkan data hasil pengukuran dalam bentuk grafik, angka, dan indikator warna. Pengujian sistem menunjukkan bahwa sistem berfungsi dengan baik dalam mengukur parameter lingkungan. Verifikasi menunjukkan rata-rata persentase

kesalahan relatif pembacaan pada setiap parameter adalah sebagai berikut: suhu sebesar 1,75%, kelembapan sebesar 1,63%, konsentrasi CO₂ sebesar 1,99%, dan kecepatan angin sebesar 0,02%. Tingkat kesalahan ini masih berada dalam batas toleransi yang dapat diterima, sehingga sistem cukup akurat dalam membaca data lingkungan.

Kata kunci: Mikrokontroller ESP32, sistem monitoring lingkungan, IoT, Blynk

PENDAHULUAN

Dalam era modern yang diwarnai oleh pertumbuhan perkotaan yang pesat, polusi udara telah menjadi perhatian utama bagi kesehatan manusia dan kelestarian lingkungan (Rosatul Umah & Eva Gusmira, 2024). Tingkat konsentrasi CO₂, serta zat-zat kimia lainnya dari berbagai sumber seperti industri, kendaraan bermotor, dan aktivitas manusia telah menyebabkan peningkatan tingkat polusi udara yang serius di berbagai kota besar di seluruh dunia (Satish *et al.*, 2012). Dampak buruk dari polusi udara ini terhadap kesehatan manusia tidak dapat diabaikan, karena dapat menyebabkan berbagai masalah pernapasan, penyakit kardiovaskular, dan bahkan meningkatkan risiko terkena penyakit kronis (Satish *et al.*, 2012).

Untuk menangani masalah ini, pemantauan yang akurat terhadap kualitas udara menjadi sangat penting (Ismail *et al.*, 2021). Namun, sistem pemantauan yang efisien, terjangkau, dan dapat memberikan data secara *real-time* seringkali sulit diakses atau mahal (Yanti, 2024). Pengembangan solusi yang dapat

memberikan informasi yang jelas dan mudah dipahami tentang kualitas udara serta parameter lingkungan lainnya seperti kecepatan dan arah angin menjadi semakin mendesak (Pebralia *et al.*, 2024).

Dalam konteks ini, teknologi mikrokontroler ESP32 menawarkan potensi yang sangat besar. ESP32 tidak hanya memiliki kemampuan sensor yang luas, tetapi juga koneksi WiFi yang memungkinkan pemantauan secara cepat dari jarak jauh melalui internet (Hercog *et al.*, 2023; Dafa *et al.*, 2023). Kombinasi ini memungkinkan pengumpulan data yang akurat dan tepat waktu mengenai kualitas udara serta faktor lingkungan lainnya yang dapat berkontribusi pada pemahaman yang lebih baik tentang polusi dan kondisi lingkungan.

Selain itu, integrasi dengan *platform* visualisasi data seperti Blynk membuka pintu bagi penggunaan yang lebih mudah dan nyaman dari data yang dikumpulkan (Indobot Project, 2023). Visualisasi yang jelas dan mudah dipahami akan memungkinkan pengguna, termasuk masyarakat umum, dan bahkan pemerintah, untuk mengambil tindakan yang

tepat secara cepat dalam menanggapi perubahan kondisi lingkungan (Lynn *et al.*, 2020).

Oleh karena itu, merancang dan membangun sistem monitoring kualitas udara, kecepatan angin, dan arah angin menggunakan mikrokontroler ESP32 serta visualisasi data menggunakan Blynk menjadi langkah inovatif yang dapat memberikan solusi konkret dalam menangani permasalahan lingkungan yang mendesak ini. Dengan menyediakan informasi yang dapat diakses secara luas dan dipahami dengan mudah, sistem ini dapat menjadi instrumen yang efektif dalam menjaga kesehatan manusia dan keberlanjutan lingkungan di masa yang akan datang (Lynn *et al.*, 2020).

METODE PENELITIAN

Konsep dan Perancangan Alat

Konsep utama alat ini adalah memanfaatkan teknologi *Internet of Things* (IoT) untuk memantau dan mengumpulkan data terkait kualitas udara, kecepatan angin, dan arah angin di lokasi pemantauan dengan sumber daya dari modul surya. Dalam sub bab ini, kami akan menjelaskan rancangan sistem yang dibuat, termasuk perangkat keras yang digunakan dan cara sistem ini berinteraksi untuk mencapai tujuan pemantauan lingkungan yang efektif.

Pada alat ini terdapat beberapa bagian

yang dirancang sebagai berikut:

1) Perancangan Power System

Power system adalah sistem yang memberikan sumber energi listrik untuk alat sistem monitoring yang di bangun. *Power system* ini menggunakan modul surya yang terhubung ke *Solar Charge Controller*. Modul surya mengubah cahaya matahari menjadi energi listrik arus searah (DC). *Solar Charge Controller* mengendalikan aliran listrik yang ke dalam baterai (aki) dan mencegah *over-charge* maupun *over-discharge*. Baterai (aki) menyimpan energi listrik yang dihasilkan oleh modul surya dan memasoknya kembali saat modul surya tidak menghasilkan energi

2) Perancangan Sistem Sensor

Pada rancangan alat digunakan beberapa sensor seperti sensor MQ135 untuk membaca konsentrasi CO₂ pada udara, Sensor DHT22 untuk membaca suhu dan kelembapan udara, sensor arah angin untuk membaca arah angin, dan sensor kecepatan angin untuk membaca kecepatan angin.

Untuk membaca kualitas udara, ada beberapa sensor yang bisa digunakan seperti sensor MQ135 untuk membaca konsentrasi CO₂ dan sensor PMS5003 untuk membaca kadar *Particulate Matter* (PM). Pada perancangan alat ini digunakan sensor MQ135. Sensor MQ135 dipilih karena harganya yang murah dan memiliki output data analog sehingga lebih

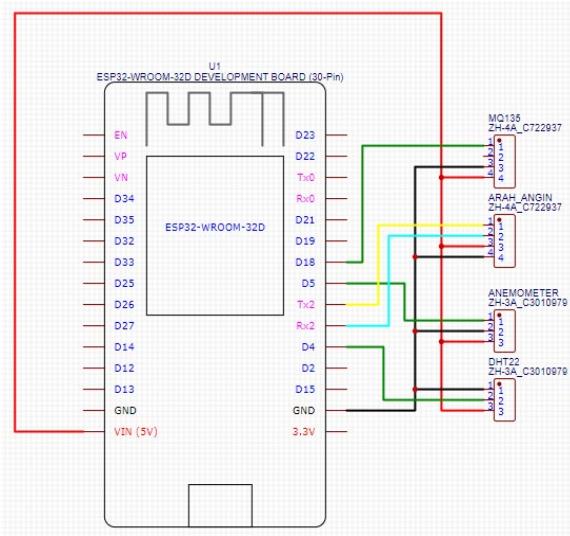
mudah diproses oleh mikrokontroler ESP32 dibandingkan dengan sensor PMS5003.

Perlu dicatat bahwa sensor MQ135 memiliki keterbatasan. Sensor ini tidak secara spesifik hanya mengukur konsentrasi CO_2 , melainkan merespons berbagai jenis gas seperti amonia (NH_3), benzena, alkohol, dan asap. Oleh karena itu, pembacaan dari sensor ini mencerminkan kualitas udara secara umum dan bukan hanya konsentrasi CO_2 yang akurat. Untuk aplikasi yang memerlukan pengukuran CO_2 yang presisi, diperlukan sensor khusus CO_2 dengan selektivitas yang lebih tinggi.

3) Perancangan Sistem Mikrokontroller

Dalam perancangan sistem ini, mikrokontroler ESP32 digunakan sebagai pusat pengendalian dan pengolahan data dari seluruh sensor yang terintegrasi. ESP32 dipilih karena memiliki performa yang tinggi, dilengkapi dengan konektivitas WiFi dan Bluetooth yang memungkinkan komunikasi nirkabel, serta mendukung multitasking dengan dual-core

prosesor. Setiap sensor yang digunakan, termasuk sensor MQ135, DHT22, sensor arah angin, dan sensor kecepatan angin, dihubungkan langsung ke pin input ESP32 seperti yang dapat dilihat pada Gambar 1. Mikrokontroler ini tidak hanya bertugas untuk membaca data dari sensor tetapi juga memproses dan mengirimkan data ke Blynk untuk visualisasi data dan ke *Google Spreadsheet* untuk penyimpanan dan analisis lebih lanjut.



Gambar 1. Rangkaian koneksi sensor ke ESP32

4) Perancangan Sistem Visualisasi

Data:

Data dari setiap sensor yang digunakan akan dikirimkan oleh mikrokontroler ESP32 ke Blynk dan divisualisasikan dengan tampilan yang menarik seperti yang dapat dilihat pada Gambar 2.



Gambar 2. Tampilan antar muka klien Blynk

5) Pemrograman Mikrokontroler

Bagian ini mencakup pengembangan perangkat lunak *firmware* yang diperlukan untuk mengendalikan mikrokontroler ESP32. Mikrokontroler ESP32 diprogram menggunakan *platform* pengembangan Arduino IDE dan menggunakan bahasa pemrograman bahasa C++ yang disederhanakan

yang dapat dilihat pada Gambar 3. Mikrokontroler ESP32 diprogram untuk membaca setiap sensor yang sudah ditentukan dan mengirim data ke Blynk dan ke *Google Spreadsheet*.

```
#define BLYNK_TEMPLATE_ID "TMPL6pX-d5mQ8"
#define BLYNK_TEMPLATE_NAME "nodemcuDHT11"
#define BLYNK_AUTH_TOKEN "kGdhs1MG37dHaFiIazgBzyuYFP27zCPI"

#include <WiFi.h>
#include <WiFiClient.h>
#include <BlynkSimpleEsp32.h>
#include <DHT.h>
#include <SoftwareSerial.h>
#include <HTTPClient.h>
#include <LiquidCrystal_I2C.h>
#include <Wire.h>

#define BLYNK_PRINT Serial
#define DHTPIN 5
#define DHTTYPE DHT22
#define RX2 16 // Arah angin
#define TX2 17 // Arah angin
#define SensorPin 14 // Pin untuk sensor kecepatan angin
#define RecordTime 2 // Waktu pencatatan dalam detik

DHT dht(DHTPIN, DHTTYPE);

char auth[] = BLYNK_AUTH_TOKEN;

//Mengirim data ke google sheet
if (WiFi.status() == WL_CONNECTED)
{
    String Send_Data_URL = Web_App_URL + "?sts=write";
    Send_Data_URL += "&srs=" + String("Success");
    Send_Data_URL += "&temp=" + String(suhu);
    Send_Data_URL += "&humd=" + String(kelembapan);
    Send_Data_URL += "&co2=" + String(correctedPPM);
    Send_Data_URL += "&arahangin=" + String(s_angin);
    Send_Data_URL += "&kecepatanganin=" + String(WindSpeed);

    Serial.println("-----MENGIRIM DATA SENSOR-----");
    Serial.println("Send data to Google Spreadsheet...");
    Serial.print("URL : ");
    Serial.println(Send_Data_URL);

    HTTPClient http;
    http.begin(Send_Data_URL.c_str());
    http.setFollowRedirects(HTTPC_STRICT_FOLLOW_REDIRECTS);
    int httpCode = http.GET();
    Serial.print("HTTP Status Code : ");
    Serial.println(httpCode);
}
```

Gambar 3. Program bagi ESP32

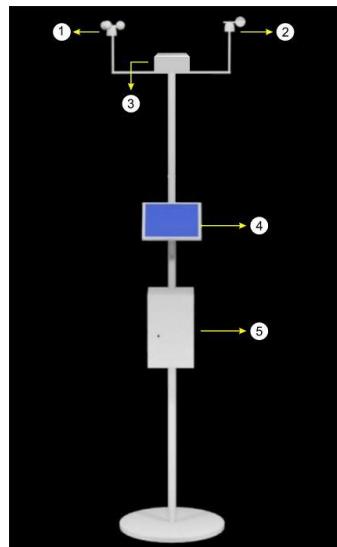
6) Perancangan Sistem Mekanik

Sistem dibuat dengan tiang dengan tinggi 2 meter di mana pada setiap satu meter akan ada penyambung yang sehingga panjang tiang bisa ditambah jika diperlukan. Kemudian terdapat

kotak di antara sensor arah angin (*wind direction*) dan anemometer yang berfungsi untuk menyimpan sensor DHT22 dan sensor MQ135. Pada bagian bawah terdapat box panel yang berfungsi sebagai tempat penyimpan mikrokontroller, *solar charge controller*, *inverter*, dan aki (baterai). Struktur ini dapat dilihat pada Gambar 4 dan Tabel 1.

Tabel 1. Keterangan perancangan mekanik

Nomor	Keterangan
1	Sensor Anemometer
2	Sensor <i>Wind Direction</i>
3	Kotak untuk sensor MQ135 dan sensor DHT11
4	Panel Surya 10 Wp
5	Panel Box



Gambar 4. Rancangan Mekanik.

HASIL DAN PEMBAHASAN

Setelah proses perancangan dan pengujian, perangkat sistem monitoring kualitas udara, kecepatan angin, dan arah angin berhasil dirancang dan dipasang di lokasi pengujian yaitu pada lapangan hijau Kampus Universitas Pelita Harapan Karawaci seperti yang ditunjukkan pada Gambar 5.

Kinerja alat tsb. diverifikasi terlebih dahulu dengan membandingkan hasil bacaan alat terhadap perangkat pengukur parameter fisis/kimia yang bersesuaian, yaitu pengukur suhu dan kelembapan HTC-1, alat ukur konsentrasi CO₂ komersial, anemometer Benetech GM186, dan kompas di bawah eksitasi dari luar. Hasil verifikasi menunjukkan rata-rata persentase kesalahan relatif pembacaan pada setiap parameter adalah sebagai berikut: suhu sebesar 1,75%, kelembapan sebesar 1,63%, konsentrasi CO₂ sebesar 1,99%, dan kecepatan angin sebesar 0,02%. Tingkat kesalahan ini masih berada dalam batas toleransi yang dapat diterima, sehingga sistem cukup akurat dalam membaca data lingkungan.

Contoh hasil pengambilan data yang dilakukan pada tanggal 16 Desember 2024 sampai 17 Desember 2024 diperlihatkan pada Tabel 2.



Gambar 5. Kondisi alat di area kampus

Tabel 2. Data yang terkirim ke Google Spreadsheeet

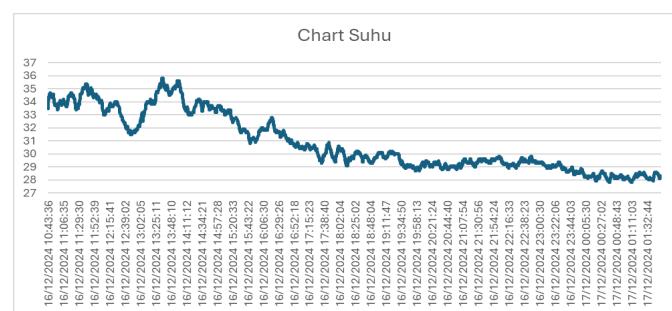
History LOG Sensor							
Date	Jam	Suhu	Kelembapan	Kode Arah Angin	Kecepatan Angin	CO2	Arah Angin
16/12/2024	10:43:36	33.5	75.5	4	0	669	Tenggara
16/12/2024	10:43:51	33.9	69.7	4	0	605	Tenggara
16/12/2024	10:44:06	34	71.5	4	0	636	Tenggara
16/12/2024	10:44:21	34	68.5	4	0	702	Tenggara
16/12/2024	10:44:36	34.2	70.7	4	0	691	Tenggara
16/12/2024	10:44:51	34.3	70.8	4	0	797	Tenggara
16/12/2024	10:45:06	34.4	70.6	4	0	669	Tenggara
16/12/2024	10:45:21	34.4	69.7	5	0	68	Selatan
16/12/2024	10:45:36	34.5	70.3	5	0	43	Selatan
16/12/2024	10:45:52	34.5	70.1	5	0	575	Selatan
16/12/2024	10:46:07	34.6	70.3	5	1.2	636	Selatan
16/12/2024	10:46:24	34.6	70.4	6	0	545	Barat daya
16/12/2024	10:46:40	34.6	67	6	0	615	Barat daya
16/12/2024	10:46:54	34.6	66.4	6	0	517	Barat daya
16/12/2024	10:47:09	34.7	68.8	6	0	526	Barat daya
16/12/2024	10:47:24	34.6	69.5	6	0	669	Barat daya
16/12/2024	10:47:39	34.6	67.6	6	0	595	Barat daya
16/12/2024	10:47:54	34.6	66.4	6	0	517	Barat daya
16/12/2024	10:48:09	34.6	67.8	6	0	508	Barat daya
16/12/2024	10:48:24	34.6	67.4	6	0	565	Barat daya
16/12/2024	10:48:39	34.6	67	6	0	555	Barat daya
16/12/2024	10:48:54	34.6	66.2	6	1.2	605	Barat daya
16/12/2024	10:49:11	34.6	65.2	3	0	508	Timur
16/12/2024	10:49:27	34.6	64.5	8	1.2	39	Barat laut
16/12/2024	10:49:43	34.5	64	8	0	464	Barat laut
16/12/2024	10:49:59	34.4	64.3	8	0	526	Barat laut
16/12/2024	10:50:14	34.4	65.7	7	0	874	Barat
16/12/2024	10:50:29	34.3	67.9	7	0	615	Barat
16/12/2024	10:50:45	34.4	70.2	7	0	605	Barat
16/12/2024	10:51:01	34.5	70.2	7	0	422	Barat
16/12/2024	10:51:17	34.5	69.6	7	0	636	Barat

Pada Tabel 2 dapat dilihat bahwa alat yang dirancang-bangun sudah bisa membaca

setiap sensor yang digunakan dan mengirim data yang sudah didapat ke *Google Spreadsheets* untuk selanjutnya data dapat dianalisis lebih lanjut. Kemudian pada Gambar 6 dapat dilihat tampilan visualisasi data pada aplikasi klien Blynk.



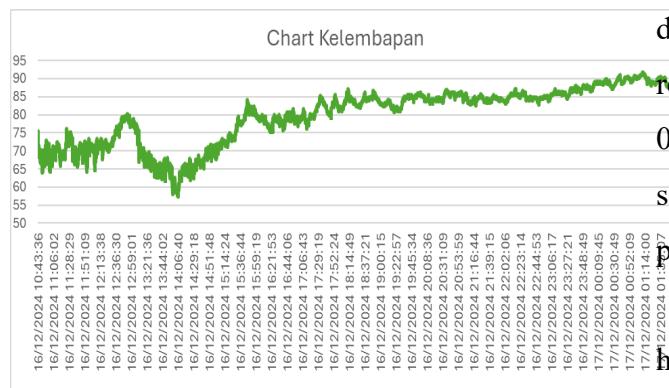
Gambar 6 Tampilan Blynk saat online



Gambar 7 Kurva suhu hasil tangkapan alat

Gambar 7 merupakan data suhu hasil tangkapan alat di mana terlihat bahwa suhu awal berada pada nilai sekitar 33,5°C, kemudian pada saat menjelang siang hari terlihat suhu meningkat secara perlahan-lahan, pada pukul 12:30 terjadi penurunan suhu yang disebabkan awan mendung dan saat siang hari

pukul 12:50 suhu terlihat meningkat secara signifikan hingga mencapai puncaknya di kisaran 35,8°C pada pukul 13:25. Setelah itu, suhu menunjukkan tren menurun secara bertahap saat menuju sore hari hingga malam di mana suhu turun dari 33°C ke 28°C di mana nilai stabil saat malam hari adalah sekitar 28°C.

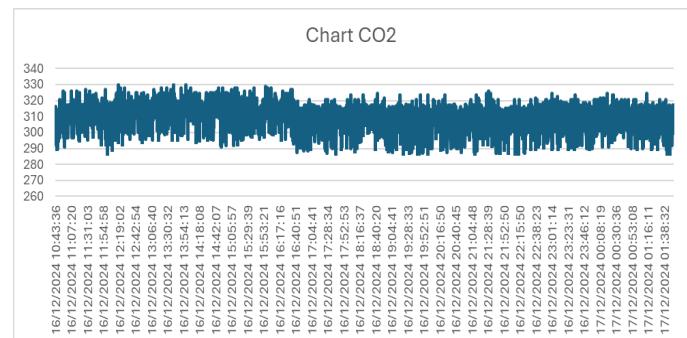


Gambar 8. Kurva kelembapan

Kurva kelembapan pada Gambar 8 menunjukkan fluktuasi kelembapan yang signifikan selama periode pengambilan data. Saat pagi hari pukul 10:43 - 12:00 kelembapan berada di kisaran 70% hingga 75%. Kelembapan relatif lebih tinggi karena suhu masih rendah, sehingga udara tidak dapat menampung banyak uap air. Pada siang hari pukul 12:00 - 14:00 kelembapan menurun drastis hingga mencapai nilai terendah sekitar 58%. Penurunan ini disebabkan oleh suhu udara yang meningkat hingga mencapai puncaknya di sekitar 35,8°C, yang membuat udara tidak mampu menahan lebih banyak uap air, sehingga kelembapan relatif menjadi rendah. Pada sore

hari pukul 14:00 - 18:00 kelembapan mulai meningkat secara bertahap, dengan nilai berada di kisaran 65% hingga 75%. Penurunan suhu mulai terjadi, yang menyebabkan peningkatan kelembapan. Pada malam hari (18:00 - 00:00): Kelembapan meningkat lebih signifikan, mencapai nilai 85% hingga 90%. Penurunan suhu yang terus terjadi membuat udara mudah dalam menahan uap air, sehingga kelembapan relatif meningkat. Pada dini hari pukul 00:00 - 01:51, kelembapan berada pada puncaknya sekitar 90%, dengan suhu yang sudah berada pada titik terendah sekitar 27°C.

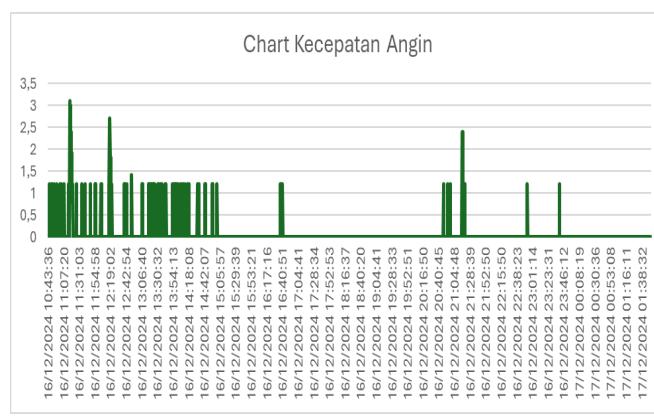
Pengaruh suhu terhadap kelembapan dari hasil pengamatan, terlihat hubungan invers antara suhu dan kelembapan. Ketika suhu mengalami penurunan, kelembapan cenderung meningkat. Hal ini sesuai dengan prinsip termodinamika, di mana udara dingin memiliki kapasitas yang lebih tinggi untuk menahan uap air, sehingga meningkatkan tingkat kelembapan.



Gambar 9. Kurva konsentrasi CO₂

Kurva pada Gambar 9 merupakan hasil pembacaan sensor MQ135 untuk membaca

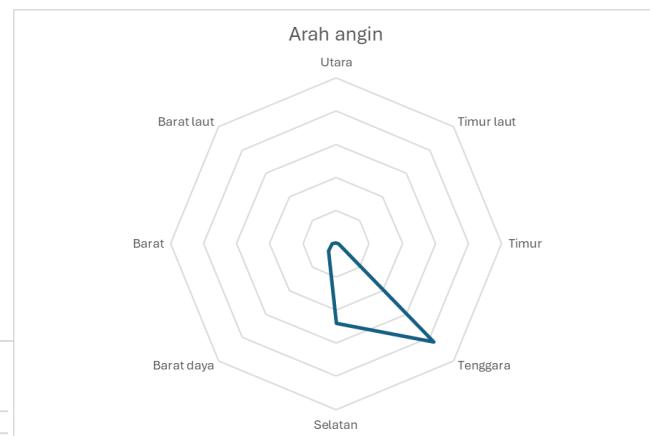
konsentrasi CO₂, Grafik menunjukkan fluktuasi konsentrasi CO₂ dalam rentang waktu tertentu. Konsentrasi CO₂ yang diukur berkisar antara nilai 285 ppm hingga 330 ppm. Dari Gambar 9 dapat dilihat bahwa saat pagi hari pukul 10:43 hingga sore hari pukul 16:43 kadar CO₂ terbaca sekitar 286 ppm sampai 329 ppm dengan rata-rata 315 ppm, kemudian sore hari pukul 16:43 hingga malam hari pukul 01:47 kadar CO₂ terbaca sekitar 286 ppm sampai 325 ppm dengan rata-rata 310 ppm. Pada Gambar 9 dapat diketahui bahwa pada pagi hari hingga sore hari konsentrasi CO₂ lebih tinggi dibandingkan saat sore hari hingga malam hari, hal ini bisa terjadi karena konsentrasi CO₂ berhubungan keseimbangan aktifitas penyerapan CO₂ pada proses fotosintesis tanaman dan menurunnya aktifitas pelepasan CO₂ oleh kendaraan bermotor pada malam hari.



Gambar 10. Chart kecepatan angin

Grafik pada Gambar 10 merupakan hasil pembacaan sensor kecepatan. Pada gambar tersebut dapat dilihat saat pagi hari

sampai sore hari sensor membaca kecepatan angin rata-rata ialah 1,2 m/h, kemudian dapat dilihat banyak waktu di mana sensor tidak mendapatkan data kecepatan angin, hal ini bisa disebabkan oleh faktor posisi peletakan alat, di mana posisi peletakan alat saat melakukan pengambilan alat berdekatan dengan bangunan, di mana pada arah timur terdapat bangunan *greenhouse* dan di arah selatan terdapat gedung dan hutan kecil yang menghalangi angin sampai ke alat yang dibuat.



Gambar 11 Diagram arah angin

Kurva pada Gambar 11 merupakan hasil pembacaan alat yang dirancang-bangun untuk membaca arah angin, dapat dilihat pada grafik tsb. saat pengambilan data arah angin yang terbaca lebih sering ke arah tenggara dan arah selatan di mana angin berasal dari arah barat laut dan arah utara, hal ini bisa terjadi dikarenakan posisi alat pada arah utara sampai barat mendapatkan ruang kosong atau

tidak ada sesuatu yang menghalangi angin ke alat

KESIMPULAN

Berdasarkan hasil pengujian setiap sensor pada alat monitoring udara, kecepatan angin dan arah angin, dapat disimpulkan bahwa alat yang dirancang bekerja dengan baik, mikrokontroller ESP32 bisa membaca setiap sensor yang digunakan serta mikrokontroller ESP32 mampu mengirim data ke Blynk untuk visualisasi dan mengirim data setiap sensor ke *google spreadsheet* untuk *logging* data setiap sensor yang sudah dibaca oleh mikrokontroller.

Berdasarkan hasil pengujian data, data menunjukkan adanya hubungan yang jelas antara suhu, kelembapan, dan konsentrasi CO₂. Ketika suhu meningkat pada siang hari, kelembapan relatif menurun. Sebaliknya, pada malam hari, aktifitas lalu lintas yang rendah menyebabkan konsentrasi CO₂ cenderung lebih rendah.

Berdasarkan hasil pengujian pada alat diketahui bahwa posisi peletakan alat berpengaruh pada pembacaan arah angin ataupun kecepatan angin, di mana saat posisi peletakan alat rancang bangun berdekatan dengan bangunan atau pohon maka ada kemungkinan angin akan terhalang oleh bangunan atau pohon.

DAFTAR PUSTAKA

- Dafa, Muh. D., Astutik, R. P., & Winarno, H. A. (2023). Smart io plc Berbasis IOT menggunakan ESP32. *JOURNAL ZETROEM*, 5(2), 165–168.
<https://doi.org/10.36526/ztr.v5i2.3120>
- Hercog, D., Lerher, T., Trunčić, M., & Težak, O. (2023). Design and implementation of ESP32-based IOT devices. *Sensors*, 23(15), 6739.
<https://doi.org/10.3390/s23156739>
- Ismail, M. S., Mohammed, M. F., Sivaraman, K. N., Sivaraman, S. N., & Hussain, M. I. (2021). Smart IOT temperature and humidity alert system at aircraft composite storage area. *AIP Conference Proceedings*, 2339(1).
<https://doi.org/10.1063/5.0044198>
- Lynn, T., Endo, P. T., Ribeiro, A. M., Barbosa, G. B., & Rosati, P. (2020). The internet of things: Definitions, key concepts, and reference architectures. *Palgrave Studies in Digital Business & Enabling Technologies*, 1–22.
https://doi.org/10.1007/978-3-030-41110-7_1
- Pebralia, J., Akhsan, H., & Amri, I. (2024). Implementasi internet of things (IOT) dalam monitoring Kualitas Udara Pada ruang terbuka. *Jurnal Kumparan Fisika*, 7(1), 1–8.
<https://doi.org/10.33369/jkf.7.1.1-8>
- Project, I. (2025, April 23). *Apa Itu Blynk? Platform IoT populer?*
<https://indobotproject.com/>
- Satish, U., Mendell, M. J., Shekhar, K., Hotchi, T., Sullivan, D., Streufert, S., & Fisk, W. J. (2012). Is CO₂ an Indoor Pollutant? Direct Effects of Low-to-Moderate CO₂ Concentrations on Human Decision-Making Performance. *Environmental Health Perspectives*, 120(12), 1671–1677.
<https://doi.org/10.1289/ehp.1104789>

- Umah, R., & Gusmira, E. (2024). Dampak Pencemaran Udara Terhadap Kesehatan Masyarakat di Perkotaan. *Profit: Jurnal Manajemen, Bisnis Dan Akuntansi*, 3(3), 103–112.
<https://doi.org/10.58192/profit.v3i3.2246>
- Yanti, Y. (2024). Sistem Monitoring Keamanan Kantor Berbasis Android menggunakan modul wireless ESP-01. *Jurnal Informatika Dan Teknik Elektro Terapan*, 12(1), 312–321.
<https://doi.org/10.23960/jitet.v12i1.3734>