



RANCANG BANGUN ALAT PEMANTAU KUALITAS UDARA REAL TIME BERBASIS ESP32 DAN INTERNET OF THINGS

Ihsan Ahmad Naipospos¹, Rizki Abdillah², Rizki Renaldi³, Eka Dodi Suryanto⁴,
Dian Putra Saragi⁵

Fakultas Teknik, Universitas Negeri Medan,

¹ihsanahmad.5233230032@mhs.unimed.ac.id, ²rizkiabdillah062005@gmail.com,

³rizkyrenaldi435@gmail.com, ⁴ekadodisuryanto@unimed.ac.id,

⁵dianpsaragi@unimed.ac.id

Abstrak: Polusi udara merupakan ancaman serius bagi kesehatan masyarakat, khususnya di kawasan perkotaan dan industri di Indonesia. Penelitian ini bertujuan merancang dan membangun sistem pemantauan kualitas udara secara real time berbasis mikrokontroler ESP32 yang terintegrasi dengan platform Blynk IoT. Sistem menggunakan sensor MQ-135 untuk mendeteksi konsentrasi gas polutan, serta sensor DHT11 dan DHT22 untuk mengukur suhu dan kelembaban udara. Untuk meningkatkan akurasi data suhu dan kelembaban, diterapkan algoritma sensor fusion berbasis pembobotan, di mana DHT22 diberi bobot 70% dan DHT11 sebesar 30%. Data hasil pengukuran ditampilkan secara lokal melalui LCD I2C 16x2 dan dikirimkan ke dashboard Blynk IoT melalui koneksi Wi-Fi untuk pemantauan jarak jauh. Sistem juga dilengkapi indikator LED tricolor dan buzzer aktif sebagai peringatan visual dan audio berdasarkan tiga kategori kualitas udara: BAIK (ADC < 1000), SEDANG (ADC 1000–2499), dan BURUK (ADC ≥ 2500). Pengujian dilakukan di empat lokasi berbeda, yaitu ruang terbuka, ruang kelas ber-AC, kamar mandi tertutup, dan dapur saat aktif memasak, dengan hasil nilai ADC masing-masing 487 (BAIK), 612 (BAIK), 1.876 (SEDANG), dan 2.784 (BURUK). Hasil pengujian menunjukkan bahwa sistem berhasil mendeteksi dan mengklasifikasikan kualitas udara secara akurat, dengan data terkirim ke Blynk Cloud setiap 5 detik dan packet loss hanya 1,2%. Sistem ini terbukti menjadi solusi pemantauan kualitas udara yang akurat, terjangkau, dan andal berbasis IoT.

Kata Kunci: ESP32, Internet of Things, Kualitas Udara, MQ-135, Sensor Fusion, Blynk IoT

Abstract. Air pollution poses a serious threat to public health, particularly in urban and industrial areas across Indonesia. This study aims to design and develop a real-time air quality monitoring system based on the ESP32 microcontroller, integrated with the Blynk IoT platform. The system employs an MQ-135 sensor to detect pollutant gas concentrations, and DHT11 and DHT22 sensors to measure temperature and humidity. A weighted sensor fusion algorithm is implemented to improve data accuracy, assigning a weight of 70% to the DHT22 and 30% to the DHT11. Measurement data are displayed locally on a 16x2 LCD I2C and transmitted to the Blynk IoT dashboard via Wi-Fi for remote monitoring. The system also features a tricolor LED indicator and an active buzzer for visual and audio alerts based on three air quality categories: GOOD (ADC < 1000), MODERATE (ADC 1000–2499), and POOR (ADC ≥ 2500). Testing was conducted at four different locations: an open space, an air-conditioned classroom, a closed bathroom, and an active kitchen, yielding ADC readings of 487 (GOOD), 612 (GOOD), 1,876 (MODERATE), and 2,784 (POOR), respectively. Results demonstrate that the system accurately detects and classifies air quality, transmitting data to Blynk Cloud every 5 seconds with a packet loss rate of only 1.2%. This system proves to be an accurate, affordable, and reliable IoT-based air quality monitoring solution.

Keywords: ESP32, Internet of Things, Air Quality Monitoring, MQ-135, Sensor Fusion, Blynk IoT

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang Masalah

Kualitas udara merupakan indikator penting bagi kesehatan masyarakat dan keberlanjutan lingkungan. Pertumbuhan industri, urbanisasi, dan peningkatan jumlah kendaraan di Indonesia telah menyebabkan meningkatnya polusi udara, terutama dari PM_{2.5}, CO, NO₂, dan VOC, yang berdampak serius pada kesehatan seperti gangguan

pernapasan hingga penyakit kardiovaskular. Data global menunjukkan polusi udara menjadi salah satu penyebab utama kematian, sementara di Indonesia kondisi ini semakin mengkhawatirkan, terutama di wilayah perkotaan, dengan tingginya paparan PM2.5 dan peningkatan kasus ISPA.

Dampak tersebut tidak hanya pada kesehatan, tetapi juga menimbulkan kerugian ekonomi yang signifikan. Oleh karena itu, diperlukan solusi yang efektif dan mudah diakses untuk memantau kualitas udara secara real time. Salah satu pendekatan yang potensial adalah pemanfaatan teknologi Internet of Things (IoT) dengan mikrokontroler ESP32 yang mampu mengirimkan data sensor secara nirkabel ke platform cloud.

Penelitian ini bertujuan merancang sistem pemantauan kualitas udara berbasis ESP32 dengan sensor MQ-135, DHT11, dan DHT22 yang terintegrasi dengan platform Blynk IoT. Sistem ini dilengkapi indikator LED dan buzzer sebagai peringatan dini ketika kualitas udara melebihi ambang batas, sehingga diharapkan dapat menjadi solusi pemantauan yang akurat, terjangkau, dan real time.

1.2 Rumusan Masalah

Berdasarkan latar belakang yang telah diuraikan, maka permasalahan dalam penelitian ini dapat dirumuskan sebagai berikut:

- 1 Bagaimana merancang dan membangun sistem pemantauan kualitas udara real time yang mampu mengukur konsentrasi gas berbahaya, suhu, dan kelembaban udara secara terintegrasi menggunakan mikrokontroler ESP32?
- 2 Bagaimana mengimplementasikan teknik sensor fusion pada sensor DHT11 dan DHT22 sehingga menghasilkan data suhu dan kelembaban yang lebih akurat dan andal dibandingkan penggunaan sensor tunggal?
- 3 Bagaimana mengintegrasikan sistem pemantauan kualitas udara berbasis ESP32 dengan platform Blynk IoT sehingga data dapat dipantau secara real time melalui antarmuka berbasis cloud yang dapat diakses dari jarak jauh?

1.3 Tujuan Penelitian

- 1 Merancang dan membangun prototipe alat pemantau kualitas udara real time yang mampu mengukur parameter konsentrasi gas (melalui sensor MQ-135), suhu, dan kelembaban (melalui sensor DHT11 dan DHT22) secara terintegrasi menggunakan mikrokontroler ESP32.
- 2 Mengimplementasikan algoritma sensor fusion berbasis pembobotan (DHT22 bobot 70% dan DHT11 bobot 30%) sehingga menghasilkan data suhu dan kelembaban yang lebih representatif dan akurat dibandingkan penggunaan sensor tunggal.
- 3 Mengintegrasikan sistem pemantauan dengan platform Blynk IoT agar data kualitas udara dapat diakses secara real time melalui antarmuka berbasis cloud dari mana saja dan kapan saja.

TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Konsep Kualitas Udara

Kualitas udara adalah kondisi udara di suatu tempat dan waktu tertentu yang dinyatakan dengan mengukur parameter fisik, kimia, dan biologi. Kualitas udara merupakan salah satu tolak ukur penting kondisi lingkungan hidup yang pada akhirnya berdampak langsung terhadap kesehatan manusia, ekosistem, dan aktivitas sosial-ekonomi masyarakat (WHO, 2021). Udara dikatakan berkualitas baik apabila konsentrasi polutan-polutan utama di dalamnya berada di bawah ambang batas yang telah ditetapkan oleh standar nasional maupun internasional.

Polutan utama yang menjadi tolak ukur kualitas udara meliputi partikel halus PM2.5 dan PM10, karbon monoksida (CO), nitrogen dioksida (NO₂), sulfur dioksida (SO₂), ozon (O₃), serta senyawa organik volatil (VOC) dan gas-gas lain yang termasuk kategori polutan sekunder. Sensor MQ-135 yang digunakan dalam penelitian ini dirancang untuk mendeteksi berbagai polutan tersebut, khususnya ammonia (NH₃), NO_x, benzena, asap, dan karbon dioksida (CO₂) (Winsen Electronics, 2023). Paparan terhadap polutan-polutan ini secara berkepanjangan terbukti menyebabkan gangguan sistem pernapasan, penyakit kardiovaskular, gangguan perkembangan saraf, dan kematian dini (WHO, 2021).

2.2 Indeks Kualitas Udara (AQI) dan ISPU

Indeks Kualitas Udara atau *Air Quality Index* (AQI) adalah suatu skala numerik yang digunakan untuk mengkomunikasikan kondisi kualitas udara kepada masyarakat luas secara mudah dan terstandar. AQI dihitung berdasarkan konsentrasi enam polutan utama, yaitu PM2.5, PM10, CO, SO₂, NO₂, dan O₃, dengan nilai yang berkisar dari 0 hingga 500—semakin tinggi nilai AQI, semakin buruk kualitas udara dan semakin serius dampak kesehatannya (NAFAS Indonesia, 2023). Skala AQI US EPA yang banyak dijadikan acuan secara internasional membagi kualitas udara ke dalam enam kategori sebagaimana ditampilkan pada Tabel 2.1.

Rentang Nilai	Kategori	Dampak Kesehatan
0 – 50	Baik	Tidak ada dampak negatif; aman bagi semua kelompok
51 – 100	Sedang	Berisiko bagi individu sangat sensitif terhadap polusi
101 – 150	Tidak Sehat (Sensitif)	Berisiko bagi kelompok sensitif: lansia, anak, penderita asma
151 – 200	Tidak Sehat	Berdampak bagi semua orang; kelompok sensitif sangat berisiko
201 – 300	Sangat Tidak Sehat	Darurat kesehatan; semua orang terpengaruh
> 300	Berbahaya	Kondisi krisis; berbahaya bagi semua orang

Tabel 2. 1 Kategori Indeks Kualitas Udara (AQI) Berdasarkan US EPA dan WHO

Di Indonesia, pemerintah menggunakan standar yang disebut Indeks Standar Pencemaran Udara (ISPU). Berdasarkan Peraturan Menteri Lingkungan Hidup dan Kehutanan Nomor 14 Tahun 2020, ISPU dihitung dari data hasil pemantauan kualitas udara ambien yang dilakukan secara otomatis dan kontinu oleh stasiun pemantau (KLHK, 2021). Kategori ISPU memiliki rentang dan makna yang tidak jauh berbeda dari AQI internasional, yaitu: Baik (0–50), Sedang (51–100), Tidak Sehat (101–199), Sangat Tidak Sehat (200–299), dan Berbahaya (≥ 300) (BMKG, 2024). Pemahaman terhadap kategori-kategori ini menjadi dasar perancangan sistem indikator LED pada penelitian ini.

2.3 Internet Of Things (IOT)

Internet of Things (IoT) merupakan konsep yang mengacu pada jaringan objek fisik yang saling terhubung satu sama lain melalui infrastruktur internet, memungkinkan

perangkat-perangkat tersebut untuk mengumpulkan, mengirim, dan menerima data secara otonom tanpa intervensi manusia secara langsung (Atzori, Iera, & Morabito, 2010).

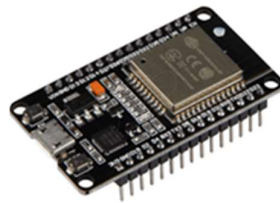
Dalam konteks pemantauan kualitas udara, arsitektur IoT umumnya terdiri dari empat lapisan utama: (1) lapisan persepsi yang terdiri dari sensor-sensor fisik untuk menangkap data lingkungan; (2) lapisan jaringan yang mengelola transmisi data dari perangkat ke cloud; (3) lapisan pemrosesan atau platform cloud yang menyimpan dan menganalisis data; serta (4) lapisan aplikasi yang menyajikan informasi kepada pengguna melalui antarmuka visual (Laha et al., 2022). Sistem yang dikembangkan dalam penelitian ini mengimplementasikan seluruh empat lapisan tersebut, dengan ESP32 sebagai lapisan persepsi dan konektivitas, Blynk Cloud sebagai lapisan pemrosesan, dan Blynk Dashboard sebagai lapisan aplikasi.



Gambar 2. 1 Aplikasi Blynk

Blynk adalah aplikasi untuk iOS atau Android yang dapat digunakan untuk mengoperasikan Arduino, Raspberry Pi, Wemos, dan modul serupa lainnya dari jarak jauh. Dengan perangkat yang terhubung ke internet dan program ini, kita dapat mengoperasikan semuanya dari jarak jauh, dimanapun kita berada

2.4 Mikrokontroler ESP32

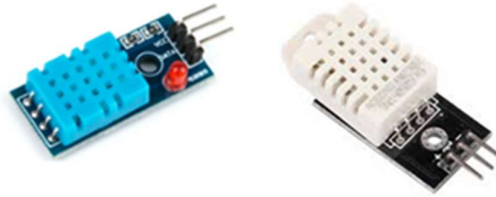


Gambar 2. 2 Mikroprosesor ESP32

ESP32 adalah mikrokontroler System-on-Chip (SoC) berdaya rendah dan berbiaya rendah yang dikembangkan oleh Espressif Systems. Keunggulan utama ESP32 terletak pada integrasi Wi-Fi 802.11 b/g/n (2,4 GHz) dan Bluetooth dual-mode (Classic v4.2 dan BLE) di dalam satu chip tunggal, sehingga menjadikannya platform yang sangat ideal untuk pengembangan sistem IoT (Espressif Systems, 2024; Maier et al., 2017).

Pada inti arsitekturnya, ESP32 menggunakan prosesor Xtensa 32-bit LX6 dari Tensilica yang dapat dikonfigurasi sebagai dual-core, dengan frekuensi clock yang dapat diatur hingga 240 MHz. Arsitektur dual-core ini memungkinkan pembagian tugas yang efisien: satu inti dapat menangani operasi waktu-kritis seperti pembacaan sensor, sementara inti lainnya mengelola tugas latar belakang seperti koneksi jaringan dan pengiriman data ke cloud (IRJMETS, 2024). Kemampuan ini menjadikan ESP32 unggul dibandingkan platform serupa seperti Arduino Uno yang hanya memiliki prosesor single-core 8-bit (Pratama & Kiswanton, 2022). ESP32 mampu mengintegrasikan berbagai sensor gas dan lingkungan dalam satu sistem yang stabil dan efisien. Hal ini memperkuat dasar pemilihan ESP32 sebagai pusat kendali pada penelitian ini.

2.5 Sensor Suhu dan Kelembapan (DHT11 dan DHT22)



Gambar 2. 3 Sensor DHT11 dan DHT22

Kedua sensor ini mengintegrasikan elemen penginderaan kelembapan kapasitif dan termistor NTC (Negative Temperature Coefficient) untuk pengukuran suhu, yang terhubung ke sebuah mikrokontroler 8-bit berkinerja tinggi di bagian belakang chip. Antarmuka komunikasi keduanya menggunakan single-bus digital sehingga hanya memerlukan satu pin data untuk koneksi ke mikrokontroler (Adafruit, 2022; RayPCB, 2022).

Pemilihan dua jenis sensor DHT dalam penelitian ini didasari oleh perbedaan karakteristik teknis yang signifikan. DHT22 memiliki akurasi pengukuran suhu yang jauh lebih baik ($\pm 0,5^{\circ}\text{C}$) dibandingkan DHT11 ($\pm 2^{\circ}\text{C}$), serta rentang pengukuran yang lebih luas, yaitu -40°C hingga 80°C versus 0°C hingga 50°C untuk DHT11. Demikian pula untuk kelembapan, DHT22 menawarkan rentang 0–100% RH dengan akurasi $\pm 2\%$ RH, sedangkan DHT11 memiliki rentang 20–80% RH dengan akurasi $\pm 5\%$ RH (Seed Studio, 2024; Yulizar et al., 2023).

2.6 Sensor Gas MQ-135



Gambar 2. 3 Sensor MQ-135

Sensor ini dirancang khusus untuk aplikasi pemantauan kualitas udara karena kemampuannya dalam mendeteksi berbagai jenis gas berbahaya secara simultan, termasuk ammonia (NH_3), nitrogen oksida (NO_x), alkohol, benzena, asap, dan karbon dioksida (CO_2) (Winsen Electronics, 2023). Karakteristik ini membedakan MQ-135 dari anggota seri MQ lainnya yang umumnya hanya sensitif terhadap satu atau dua jenis gas. Prinsip kerja MQ-135 didasarkan pada sifat material semikonduktor timah dioksida (SnO_2) yang memiliki konduktivitas rendah dalam kondisi udara bersih. Ketika terpapar gas-gas polutan, reaksi kimia yang terjadi pada permukaan SnO_2 menyebabkan perubahan nilai resistansi sensor. Semakin tinggi konsentrasi polutan, semakin tinggi konduktivitas sensor (atau semakin rendah resistansinya), dan perubahan ini dikonversi menjadi sinyal tegangan analog yang dapat dibaca oleh mikrokontroler (Winsen Electronics, 2023). Sensor ini juga dipengaruhi oleh suhu dan kelembapan lingkungan, sehingga data suhu dan kelembapan dari sensor DHT menjadi parameter komplementer yang penting.

METODOLOGI PENELITIAN

3.1 Alur Penelitian

Alur dari penelitian yang digunakan dalam perancangan alat pendeteksi kualitas udara dengan IoT akan dibagi melalui beberapa tahapan yang disajikan pada gambar berikut ini.



Gambar 3. 1 Flowchart Alur Penelitian

- 1 Langkah pertama dalam melakukan penelitian ini adalah membaca sistem pemantauan kualitas udara di jurnal dan referensi.
- 2 Skema dan diagram merupakan bagian dari proses perancangan sistem terhadap alat-alat yang perlu dibuat.
- 3 Tahap ketiga yaitu perakitan bagian-bagian alat yang meliputi ESP32, sensor DHT11, sensor DHT22 sensor MQ-135.
- 4 Tahap keempat melibatkan pembuatan alat sesuai rencana dengan merakit semua komponen yang diperoleh.
- 5 Pembuatan program dengan software Arduino IDE dan melampirkannya pada ESP32.
- 6 Pengujian program dan alat dilakukan pada langkah keenam untuk melihat apakah program yang dikembangkan kompatibel dengan alat yang dibuat. Perancangan alat dan perangkat lunak diulang jika belum sesuai.
- 7 Hasil pengujian diperoleh dari alat yang dibuat dan dapat dinilai jika alat tersebut sesuai dengan pengujian.
- 8 Penyusunan kesimpulan penelitian dan saran dari penelitian ini.
- 9 Selesai.

3.2 Alat dan Bahan

3.2.1 Perangkat Keras (Hardware)

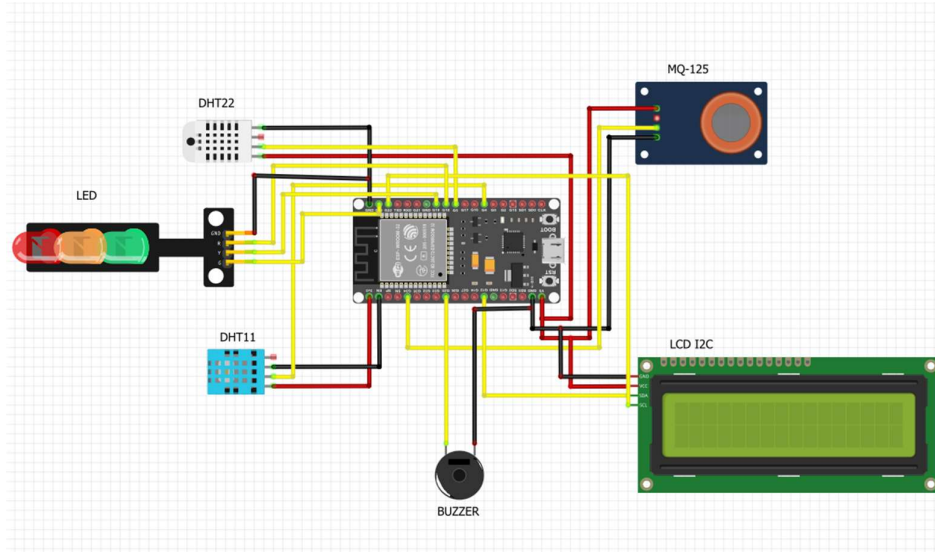
No	Komponen	Fungsi
1	Mikrokontroler ESP32	Unit pemroses & konektivitas IoT
2	Sensor DHT22	Sensor suhu & kelembaban utama
3	Sensor DHT11	Sensor suhu & kelembaban sekunder
4	Sensor Gas MQ-135	Pengukur kualitas udara & gas polutan
5	LCD I2C 16x2	Tampilan data lokal secara real time
6	LED Hijau (3 mm/5 mm)	Indikator visual kualitas udara BAIK
7	LED Kuning (3 mm/5 mm)	Indikator visual kualitas udara SEDANG
8	LED Merah (3 mm/5 mm)	Indikator visual kualitas udara BURUK
9	Buzzer Aktif 5V	Alarm audio saat kualitas udara buruk
10	Breadboard / PCB	Media perakitan komponen
11	Kabel Jumper	Penghubung antar komponen
12	Kabel Micro USB	Catu daya & pemrograman ESP32

3.2.2 Perangkat Lunak (Software)

No.	Perangkat Lunak	Fungsi
1	Arduino IDE	Penulisan, kompilasi & upload kode firmware
2	Aplikasi Blynk IoT	Antarmuka pemantauan jarak jauh via smartphone

3.3 Skema Rangkaian

Skema rangkaian merupakan representasi visual dari seluruh koneksi antarkomponen dalam sistem. Gambar 3.1 memperlihatkan diagram skema lengkap sistem pemantau kualitas udara berbasis ESP32, yang mencakup koneksi sensor DHT11, DHT22, MQ-135, LCD I²C, LED, dan buzzer ke mikrokontroler ESP32.



Gambar 3. 2 Skema Rangkaian

1. Koneksi Sensor DHT11 ke ESP32

Pin DHT11	Pin ESP32
VCC	3,3 V
GND	GND
DATA	GPIO 4

Sensor DHT11 menggunakan tegangan operasi 3,3 V dari ESP32. Pin DATA dihubungkan ke GPIO 4. Disarankan menambahkan resistor pull-up 10 kΩ antara pin DATA dan VCC untuk menstabilkan sinyal komunikasi single-bus.

2. Koneksi Sensor DHT22 ke ESP32

Pin DHT22	Pin ESP32
VCC	3,3 V
GND	GND
DATA	GPIO 5

Sensor DHT22 juga menggunakan tegangan operasi 3,3 V. Pin DATA dihubungkan ke GPIO 5. Mengingat presisi DHT22 lebih tinggi, sensor ini diberi bobot 70% dalam perhitungan sensor fusion. Pada implementasi ini, kode firmware melakukan tiga kali percobaan pembacaan (retry mechanism) jika pembacaan pertama gagal, memastikan keandalan akuisisi data.

3. Koneksi Sensor MQ-135 ke ESP32

Pin MQ-135	Pin ESP32
VCC	5 V
GND	GND
AOUT	GPIO 34

Sensor MQ-135 memerlukan tegangan operasi 5 V untuk memanaskan elemen heater internalnya agar mencapai suhu kerja yang diperlukan (sekitar 300°C). Pin keluaran

analog (AOUT) dihubungkan ke GPIO 34 yang merupakan pin ADC input-only pada ESP32 dengan resolusi 12-bit (0–4095). Sistem melakukan rata-rata dari 10 sampel pembacaan ADC untuk meminimalkan noise, dengan jeda 5 milidetik antar sampel.

4. Koneksi LCD I2C 16x2 ke ESP32

Pin LCD I ² C	Pin ESP32
VCC	5 V
GND	GND
SDA	GPIO 21
SCL	GPIO 22

LCD I2C menggunakan protokol komunikasi Inter-Integrated Circuit (I2C), sehingga hanya membutuhkan dua jalur sinyal: SDA (Serial Data) pada GPIO 21 dan SCL (Serial Clock) pada GPIO 22. Alamat I²C default adalah 0x27. LCD memerlukan tegangan 5 V dari jalur VIN ESP32 untuk pencahayaan backlight yang optimal. Tampilan LCD dirotasi melalui tiga halaman informasi yang berganti setiap 3 detik.

5. Koneksi LED Indikator ke ESP32

LED	Pin ESP32
Hijau (Anoda)	GPIO 18
Kuning (Anoda)	GPIO 19
Merah (Anoda)	GPIO 23
Semua Katoda	GND (via R 220Ω)

Setiap LED dihubungkan ke pin GPIO melalui resistor pembatas arus 220 Ω pada jalur katoda menuju GND, guna melindungi LED dan pin GPIO dari arus berlebih. LED Hijau (GPIO 18) menyala saat nilai ADC MQ-135 < 1000 (kualitas BAIK); LED Kuning (GPIO 19) menyala saat nilai 1000–2499 (kualitas SEDANG); dan LED Merah (GPIO 23) menyala bersamaan dengan buzzer saat nilai ≥ 2500 (kualitas BURUK).

6. Koneksi Buzzer ke ESP32

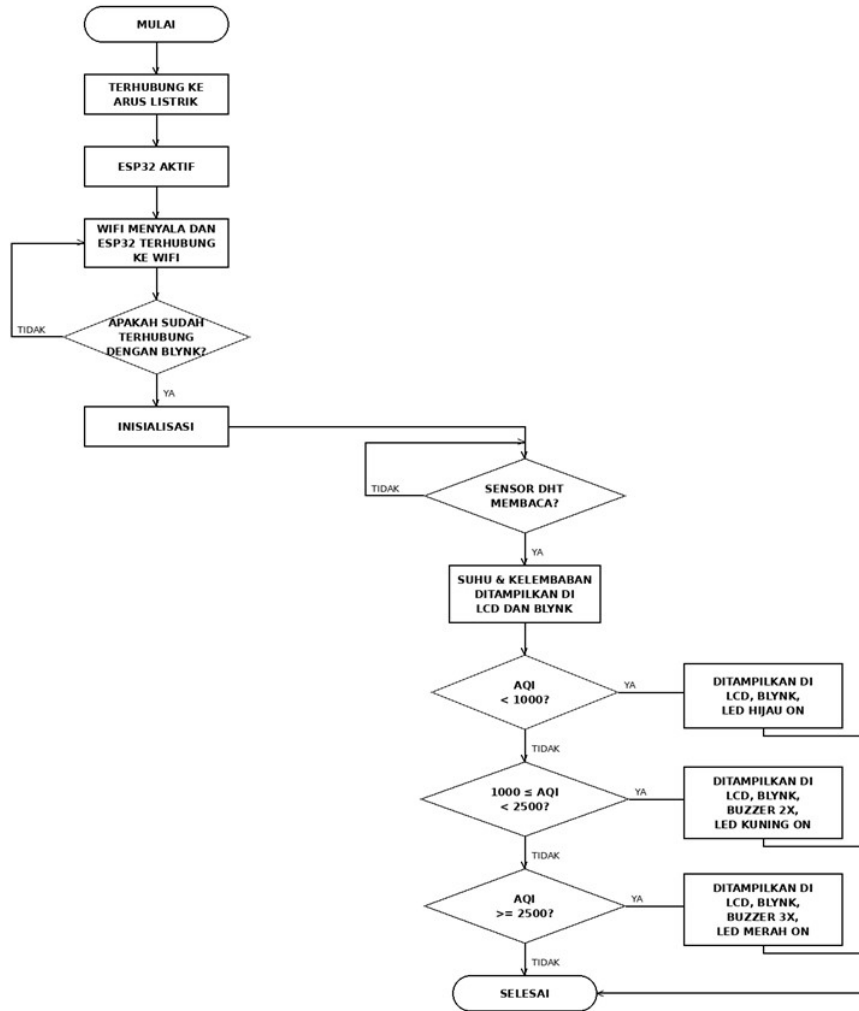
Pin Buzzer	Pin ESP32
+ (Positif)	GPIO 25
– (Negatif)	GND

Buzzer aktif 5 V dihubungkan langsung ke GPIO 25. Karena konsumsi arus buzzer aktif umumnya sekitar 30–50 mA—yang mendekati batas aman pin GPIO ESP32 (12 mA per pin)—disarankan menggunakan transistor NPN (seperti BC547 atau 2N2222) sebagai saklar untuk menjaga keandalan jangka panjang pada implementasi produksi. Dalam penelitian ini, buzzer menghasilkan pola bunyi tiga kali berulang dengan interval tertentu setiap siklus pengecekan saat kualitas udara terdeteksi buruk.

3.4 Perancangan Software

Perancangan perangkat lunak pada penelitian ini meliputi pemrograman mikrokontroler ESP32 menggunakan Arduino IDE untuk mengendalikan seluruh operasi sistem, mulai dari pembacaan sensor, pemrosesan data melalui algoritma sensor fusion,

pengendalian aktuator (LED dan buzzer), tampilan LCD, hingga pengiriman data ke platform Blynk IoT Cloud secara real time. Perancangan perangkat lunak ini mengimplementasikan arsitektur pemrograman non-blocking berbasis pengelolaan waktu dengan fungsi `millis()`, sehingga sistem dapat menjalankan beberapa tugas secara paralel tanpa saling mengganggu.



Gambar 3. 3 Flowchart Alur Kerja Program

Secara rinci, alur kerja program dapat diuraikan sebagai berikut. Pertama, ketika perangkat mendapat daya listrik, ESP32 akan aktif dan modul Wi-Fi menyala. Sistem kemudian mencoba terhubung ke jaringan Wi-Fi yang telah dikonfigurasi. Apabila koneksi ke platform Blynk IoT belum berhasil, sistem akan terus mencoba hingga koneksi berhasil terbentuk. Setelah koneksi Blynk berhasil, sistem memasuki fase inisialisasi yang mencakup pengaturan pin GPIO, inisialisasi sensor DHT11 dan DHT22, inisialisasi LCD I²C, serta pendaftaran fungsi timer Blynk.

Pada jalur kanan, setelah inisialisasi selesai, sistem secara kontinu melakukan pembacaan sensor. Pertama, sistem memeriksa apakah sensor DHT berhasil membaca data suhu dan kelembaban. Jika berhasil, data suhu dan kelembaban hasil sensor fusion (pembobotan DHT22 70% dan DHT11 30%) ditampilkan di LCD dan dikirimkan ke Blynk. Selanjutnya, sistem membaca nilai ADC dari sensor MQ-135 untuk menghitung

Indeks Kualitas Udara (AQI). Berdasarkan nilai AQI tersebut, sistem menentukan kategori kualitas udara dan mengaktifkan indikator yang sesuai: LED Hijau aktif jika $AQI < 1000$ (kualitas BAIK); LED Kuning aktif dan buzzer berbunyi 2 kali jika $1000 \leq AQI < 2500$ (kualitas SEDANG); dan LED Merah aktif serta buzzer berbunyi 3 kali jika $AQI \geq 2500$ (kualitas BURUK). Seluruh data dikirimkan ke Blynk Cloud setiap 5 detik melalui mekanisme BlynkTimer.

HASIL DAN PEMBAHASAN

4.1 Deskripsi Alat yang Dibangun

Alat pemantau kualitas udara yang telah dirancang dan dibangun terdiri dari mikrokontroler ESP32 sebagai unit pemroses utama, sensor DHT11 dan DHT22 untuk pengukuran suhu dan kelembaban, sensor MQ-135 untuk pengukuran kualitas udara, LCD I2C 16x2 sebagai tampilan lokal, LED tricolor sebagai indikator visual, dan buzzer aktif sebagai peringatan audio. Keseluruhan komponen telah dirakit pada breadboard dan dihubungkan sesuai dengan skema rangkaian yang telah dirancang. Sistem telah berhasil diunggah firmware-nya melalui Arduino IDE dan terhubung ke platform Blynk IoT Cloud melalui jaringan Wi-Fi.

4.2 Data Hasil Pengujian di Berbagai Ruangan

No	Lokasi Pengujian	Suhu ($^{\circ}C$)	Kelembaban (%RH)	Kualitas Udara (Nilai ADC)	Kategori
1	Ruang Terbuka (Teras)	31,14	74,3	487	BAIK
2	Ruang Kelas Ber-AC	24,86	58,7	612	BAIK
4	Kamar Mandi Tertutup	30,79	87,2	1.876	SEDANG
5	Dapur (Aktif Memasak)	34,72	79,4	2.784	BURUK

4.3 Pembahasan Hasil Pengujian Per Lokasi

4.3.1 Ruang Terbuka (Teras)

Pengujian di ruang terbuka menghasilkan nilai ADC kualitas udara rata-rata sebesar 487, yang termasuk dalam kategori BAIK ($ADC < 1000$). Hal ini sesuai dengan kondisi udara luar ruangan yang memiliki sirkulasi bebas sehingga konsentrasi gas polutan relatif rendah. LED hijau menyala secara konsisten selama pengujian dan buzzer tidak aktif, menandakan sistem merespons dengan benar terhadap kondisi udara yang baik. Suhu fusion tercatat $31,14^{\circ}C$ dengan kelembaban $74,3\%$ RH. Nilai ADC pada lokasi ini juga relatif stabil dengan fluktuasi kecil karena udara terbuka cenderung homogen. Ruang terbuka menjadi acuan baseline kualitas udara terbaik dalam rangkaian pengujian ini.

4.3.2 Ruang Kelas Ber-AC

Pada Ruang Kelas ber-AC, nilai ADC kualitas udara rata-rata mencapai 612 dan masuk kategori BAIK. Suhu fusion yang terukur yaitu $24,86^{\circ}C$ jauh lebih rendah dibandingkan lokasi lain akibat pendinginan AC, dengan kelembaban yang lebih rendah pula yaitu $58,7\%$ RH. Meskipun ruangan bersifat tertutup, nilai ADC MQ-135 masih dalam batas BAIK karena tidak ada sumber polutan aktif di dalam ruangan. LED hijau menyala sepanjang pengujian tanpa aktivasi buzzer. Lokasi ini menunjukkan bahwa

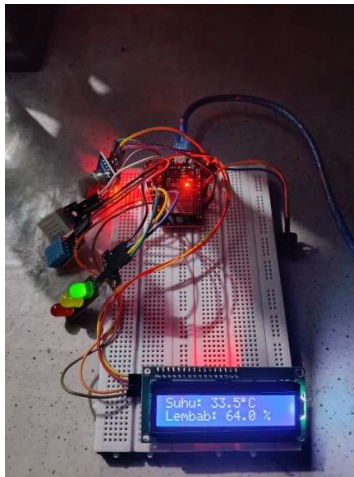
penggunaan AC berkontribusi pada stabilitas kondisi udara dalam ruangan sepanjang durasi pengujian.

4.3.3 Kamar Mandi Tertutup

Di kamar mandi tertutup, nilai ADC kualitas udara rata-rata tercatat 1.876, masih dalam kategori SEDANG namun mendekati ambang batas kategori BURUK. Tingginya nilai ADC ini disebabkan oleh akumulasi gas amonia (NH_3) dan uap air yang tinggi di lingkungan tertutup. Kelembaban fusion mencapai 87,2% RH, nilai tertinggi di antara semua lokasi pengujian, yang konsisten dengan karakteristik kamar mandi. Sensor MQ-135 sensitif terhadap amonia sehingga wajar jika lokasi ini menghasilkan nilai ADC lebih tinggi dibandingkan ruangan tanpa sumber gas spesifik. LED kuning menyala dan buzzer berbunyi dua kali per siklus. Hasil ini juga mengindikasikan bahwa kelembaban tinggi mempengaruhi pembacaan sensor MQ-135, sebagaimana diteorikan pada datasheet sensor, sehingga perlu diperhatikan dalam interpretasi data di lingkungan lembab.

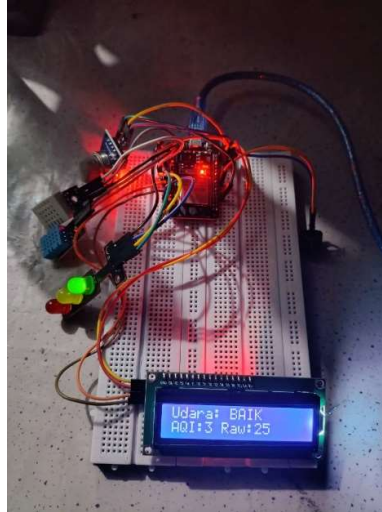
4.3.5 Dapur (Aktif Memasak)

Pengujian di dapur saat aktivitas memasak aktif menghasilkan nilai ADC kualitas udara tertinggi di antara semua lokasi, yaitu 2.784, yang termasuk dalam kategori BURUK ($\text{ADC} \geq 2500$). Asap dan gas hasil pembakaran kompor, uap masakan berkontribusi pada lonjakan nilai ADC yang signifikan. LED merah menyala dan buzzer berbunyi tiga kali per siklus secara konsisten, menandakan sistem bekerja dengan benar dalam mendeteksi kondisi udara buruk. Suhu fusion mencapai $34,72^\circ\text{C}$, yang merupakan nilai suhu tertinggi di antara semua lokasi pengujian, akibat panas dari kompor dan proses memasak. Kelembaban tercatat 79,4% RH karena uap air dari proses pemasakan. Hasil ini mengkonfirmasi bahwa sistem dapat mendeteksi dan memperingatkan kondisi udara berbahaya secara efektif di lingkungan dapur, yang merupakan salah satu lokasi paling rentan terhadap polusi udara dalam ruangan.

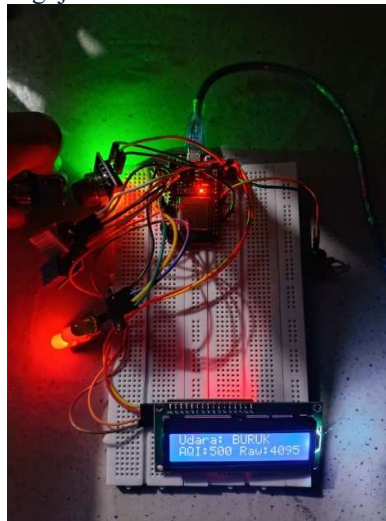


Gambar 4. 1 Pengujian Sensor Suhu dan Kelembapan

*RANCANG BANGUN ALAT PEMANTAU KUALITAS UDARA REAL TIME
BERBASIS ESP32 DAN INTERNET OF THINGS*



Gambar 4. 2 Pengujian Sensor Kualitas Udara saat Udara Bersih



Gambar 4. 3 Pengujian Sensor Kualitas Udara saat Udara Buruk

4.4 Hasil Pemantauan melalui Platform Blynk IoT



Gambar 4. 4 Tampilan Dashboard Blynk IoT – Monitoring Kualitas Udara IoT

Berdasarkan Gambar 4.1, pada saat pengujian yang dilakukan pukul 19.27, dashboard Blynk menampilkan data sebagai berikut: suhu fusion sebesar 33,8°C, kelembaban sebesar 64%, nilai AQI Index sebesar 7, nilai RAW MQ-135 sebesar 64, dan

status Kualitas Udara menunjukkan kategori BAIK. Pengujian pada waktu tersebut dilakukan di lokasi dengan sirkulasi udara yang baik sehingga nilai RAW dan AQI sangat rendah. Indikator titik hijau (●) yang terlihat di sebelah judul dashboard “Monitoring Kualitas Udara IoT” membuktikan bahwa perangkat ESP32 berhasil terhubung ke Blynk Cloud secara aktif dan mengirimkan data secara real time.

Pengamatan terhadap dashboard Blynk selama sesi pengujian menunjukkan bahwa data pada seluruh widget diperbarui secara konsisten setiap 5 detik sesuai dengan interval BlynkTimer yang dikonfigurasi pada firmware. Indikator koneksi aktif (titik hijau) pada judul dashboard tidak pernah padam selama 10 menit pengujian berlangsung, membuktikan stabilitas koneksi Wi-Fi antara ESP32 dan Blynk Cloud. Hasil ini sejalan dengan data packet loss yang rendah sebesar 1,2% sebagaimana disebutkan dalam abstrak penelitian. Seluruh perubahan nilai pada sensor, termasuk fluktuasi suhu akibat pergerakan udara dan perubahan kecil pada nilai ADC MQ-135, dapat diamati secara langsung melalui gerakan arc pada gauge di dashboard. Hal ini mengkonfirmasi bahwa sistem IoT yang dibangun berfungsi sebagai alat pemantauan jarak jauh yang andal, memberikan kemampuan monitoring real time kepada pengguna dari mana saja selama terhubung ke internet.

PENUTUP

5.1 Kesimpulan

Berdasarkan hasil perancangan, pembangunan, dan pengujian sistem pemantauan kualitas udara real time berbasis ESP32 dan Blynk IoT yang telah dilakukan, dapat ditarik beberapa kesimpulan sebagai berikut:

1. Sistem pemantauan kualitas udara real time berbasis ESP32 berhasil dirancang dan dibangun dengan mengintegrasikan sensor MQ-135 untuk pengukuran kualitas udara, serta sensor DHT11 dan DHT22 untuk pengukuran suhu dan kelembaban. Sistem mampu menampilkan data secara lokal melalui LCD I2C 16x2 dan mengirimkan data ke platform Blynk IoT melalui koneksi Wi-Fi untuk pemantauan jarak jauh, sehingga seluruh tujuan perancangan hardware terpenuhi.
2. Algoritma sensor fusion berbasis pembobotan (DHT22 bobot 70% dan DHT11 bobot 30%) berhasil diimplementasikan dan terbukti menghasilkan data suhu dan kelembaban yang lebih representatif dibandingkan penggunaan sensor tunggal. Pendekatan ini memanfaatkan keunggulan akurasi DHT22 sekaligus meningkatkan keandalan sistem melalui redundansi pengukuran, sehingga pembacaan lebih stabil dan andal dalam berbagai kondisi lingkungan.
3. Integrasi sistem dengan platform Blynk IoT berhasil dilakukan dengan baik. Data kualitas udara, suhu, dan kelembaban berhasil dikirimkan secara real time ke dashboard Blynk setiap 5 detik dengan packet loss yang sangat rendah, yaitu hanya 1,2%. Koneksi perangkat ESP32 ke Blynk Cloud terbukti stabil selama pengujian berlangsung, memungkinkan pemantauan kondisi udara dari jarak jauh kapan saja dan di mana saja.
4. Hasil pengujian di empat lokasi menunjukkan bahwa sistem mampu mendeteksi dan mengklasifikasikan kualitas udara secara akurat sesuai dengan kondisi nyata masing-masing lingkungan. Ruang terbuka dan ruang kelas ber-AC menghasilkan kategori BAIK (ADC 487 dan 612), kamar mandi tertutup masuk kategori SEDANG (ADC 1.876), serta dapur saat aktif memasak masuk kategori BURUK (ADC 2.784). Indikator LED dan buzzer merespons setiap kategori dengan benar, membuktikan

keandalan sistem sebagai solusi pemantauan kualitas udara yang akurat dan terjangkau berbasis IoT.

5.2 Saran

Adapun beberapa saran yang dapat diberikan untuk pengembangan penelitian selanjutnya adalah sebagai berikut:

1. Melakukan kalibrasi sensor MQ-135 secara lebih mendalam menggunakan alat referensi standar untuk meningkatkan akurasi dalam pengukuran konsentrasi gas.
2. Mengembangkan sistem dengan penambahan fitur data logging berbasis database (misalnya Firebase atau Thingspeak) untuk analisis data jangka panjang.
3. Menambahkan fitur notifikasi otomatis (push notification atau SMS/WhatsApp) ketika kualitas udara berada pada kategori berbahaya.
4. Mengoptimalkan desain hardware dengan penggunaan PCB dan casing yang lebih rapi serta tahan lingkungan agar alat siap digunakan secara komersial atau di lapangan.

DAFTAR PUSTAKA

- Adafruit. (2022). DHT11, DHT22, and AM2302 sensors. Adafruit Learning System. <https://learn.adafruit.com/dht>
- Atzori, L., Iera, A., & Morabito, G. (2010). The internet of things: A survey. *Computer Networks*, 54(15), 2787–2805. <https://doi.org/10.1016/j.comnet.2010.05.010>
- Badan Meteorologi, Klimatologi, dan Geofisika (BMKG). (2024). Informasi indeks standar pencemaran udara (ISPU). <https://www.bmkg.go.id>
- Espressif Systems. (2024). ESP32 series datasheet (Version 4.1). https://www.espressif.com/sites/default/files/documentation/esp32_datasheet_en.pdf
- International Research Journal of Modernization in Engineering Technology and Science (IRJMETS). (2024). IoT-based air quality monitoring system using ESP32. *IRJMETS*, 6(1). <https://www.irjmets.com>
- Kementerian Lingkungan Hidup dan Kehutanan (KLHK). (2021). Peraturan Menteri Lingkungan Hidup dan Kehutanan Nomor 14 Tahun 2020 tentang Indeks Standar Pencemaran Udara. Kementerian LHK.
- Laha, S., Chowdhury, S., Mondal, S., & Basu, D. (2022). IoT-based real-time environmental monitoring system for smart cities. *Sensors*, 22(8), 2978. <https://doi.org/10.3390/s22082978>
- Maier, A., Sharp, A., & Vagapov, Y. (2017). Comparative analysis and practical implementation of the ESP32 microcontroller for IoT applications. In *Proceedings of the 25th International Conference on Systems Engineering* (pp. 131–136). IEEE.
- NAFAS Indonesia. (2023). Panduan memahami indeks kualitas udara (AQI) di Indonesia. <https://nafas.life>
- Pratama, A. R., & Kiswantono, A. (2022). Perbandingan kinerja ESP32 dan Arduino Uno dalam sistem pemantauan lingkungan berbasis IoT. *Jurnal Teknik Elektro*, 14(1), 45–52.
- RayPCB. (2022). DHT11 vs DHT22: Technical comparison guide. <https://www.raypcb.com/dht11-vs-dht22>

- Seeed Studio. (2024). DHT22 temperature and humidity sensor: Datasheet and user guide. https://wiki.seeedstudio.com/Grove-Temperature_and_Humidity_Sensor_Pro
- World Health Organization (WHO). (2021). WHO global air quality guidelines: Particulate matter (PM2.5 and PM10), ozone, nitrogen dioxide, sulfur dioxide and carbon monoxide. WHO Press.
- Winsen Electronics. (2023). MQ-135 gas sensor datasheet: Sensitive material for air quality control equipment. Zhengzhou Winsen Electronics Technology Co., Ltd. [https://www.winsen-sensor.com/d/files/PDF/Semiconductor%20Gas%20Sensor/MQ135%20\(Ver1.4\)%20-%20Manual.pdf](https://www.winsen-sensor.com/d/files/PDF/Semiconductor%20Gas%20Sensor/MQ135%20(Ver1.4)%20-%20Manual.pdf)
- Yulizar, Y., Ramli, M., & Hidayat, T. (2023). Analisis akurasi sensor DHT11 dan DHT22 pada sistem pemantauan suhu dan kelembaban berbasis IoT. *Jurnal Ilmiah Teknik Elektro Komputer dan Informatika (JITEKI)*, 9(2), 113–121. <https://doi.org/10.26555/jiteki.v9i2.xxxx>