

## PERANCANGAN PROTOTYPE *INTERNET OF THINGS* (IOT) SISTEM MONITORING *INDOOR AIR QUALITY*

*Designing an Internet of Things (IoT) Prototype Indoor Air Quality Monitoring System*

Nia Yuniarti Hasan<sup>1\*</sup>, Teguh Budi Prijanto<sup>1</sup>, Kahar Kahar<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Politeknik Kesehatan Kementerian Kesehatan Bandung, Bandung, Indonesia

\*Email: niayuniarti@staff.poltekkesbandung.ac.id

### ABSTRACT

*The health of household occupants can be significantly influenced by indoor air quality, a crucial factor. Currently, real-time measurement of indoor air quality is not feasible. Consequently, there is a need to create sensor technology capable of reading air quality concentration data and transmitting information via internet connectivity. This sensor technology is part of the broader Internet of Things (IoT) ecosystem. This study aimed to create an IoT prototype for real-time measurement of SO<sub>2</sub>, NO<sub>2</sub>, PM<sub>10</sub>, and PM<sub>2.5</sub> gas concentrations in residential settings. The research employs a Research and Development (R&D) methodology, with real-time sample data collection and descriptive analysis. The prototype's measurements revealed concentrations (g/m<sup>3</sup>) of SO<sub>2</sub> (0.0100-0.1011), NO<sub>2</sub> (0.0005-0.9352), PM<sub>10</sub> (51-128), and PM<sub>2.5</sub> (43-121). Over 24 hour period, average measurements indicated that SO<sub>2</sub> concentration met the standard (0.1 g/m<sup>3</sup>), while NO<sub>2</sub> exceeded the limit (0.04 g/m<sup>3</sup>), as did PM<sub>10</sub> (70 g/m<sup>3</sup>) and PM<sub>2.5</sub> (35 g/m<sup>3</sup>). This prototype can measure indoor air quality parameters such as SO<sub>2</sub>, NO<sub>2</sub>, PM<sub>10</sub>, and PM<sub>2.5</sub>, with results viewable on both an LCD and the Blynk Android application.*

**Keywords:** indoor air pollution, internet of things, IoT

### ABSTRAK

Kualitas udara dalam ruangan (*Indoor Air Quality*) merupakan salah satu faktor penting yang dapat mempengaruhi kesehatan masyarakat sebagai penghuni rumah. Namun pengamatan kualitas udara dalam rumah saat ini belum dapat diukur secara langsung (*real-time*). Oleh karena itu perlu dikembangkan teknologi sensor sebagai pembaca data konsentrasi kualitas udara, dan mengirimkan informasi melalui koneksi internet. Sensor ini merupakan salah satu dari banyak teknologi yang digunakan dalam *Internet of Things* (IoT). Penelitian ini bertujuan untuk merancang prototype IoT untuk mengukur konsentrasi gas SO<sub>2</sub>, NO<sub>2</sub>, PM<sub>10</sub>, dan PM<sub>2.5</sub> di dalam rumah secara *real-time*. Metode penelitian yang digunakan adalah *Research and Development* (R&D), data sampel dikumpulkan secara *real-time* dan dianalisis secara deskriptif. Hasil pengukuran prototipe menunjukkan konsentrasi (g/m<sup>3</sup>) yaitu SO<sub>2</sub> (0,0100-0,1011); NO<sub>2</sub> (0,0005-0,9352); PM<sub>10</sub> (51-128); dan PM<sub>2.5</sub> (43-121). Selama 24 jam, pengukuran rata-rata menunjukkan bahwa konsentrasi SO<sub>2</sub> memenuhi persyaratan (0,1 g/m<sup>3</sup>), NO<sub>2</sub> lebih tinggi dari persyaratan (0,04 g/m<sup>3</sup>), dan PM<sub>10</sub> lebih tinggi dari persyaratan (70 g/m<sup>3</sup>) dan PM<sub>10</sub> lebih tinggi dari persyaratan (35 g/m<sup>3</sup>). Prototype ini dapat digunakan untuk mengukur kualitas udara dalam rumah seperti SO<sub>2</sub>, NO<sub>2</sub>, PM<sub>10</sub>, dan PM<sub>2.5</sub>, yang hasilnya dapat diamati pada LCD dan aplikasi Blynk Android.

**Kata kunci:** kualitas udara dalam ruangan, *internet of things*, IoT

## PENDAHULUAN

Kebutuhan akan kualitas udara dalam ruangan semakin berkembang karena banyak orang menghabiskan sebagian besar waktu mereka di dalam ruangan, terutama rumah. Kualitas udara dalam ruangan terutama dipengaruhi oleh polusi udara yang disebabkan oleh bahan bakar fosil umum terjadi di wilayah perkotaan maupun pedesaan [1]. Polusi udara di dalam ruangan sangat berdampak buruk bagi kesehatan manusia karena sebagian besar masyarakat menghabiskan lebih banyak waktu di dalam ruangan. Lingkungan perumahan menjadi salah satu lingkungan mikro yang memiliki risiko tinggi terhadap paparan polusi udara. Beberapa dampak kesehatan yang langsung muncul akibat paparan polusi udara ini meliputi iritasi pada mata, hidung, dan tenggorokan, sakit kepala, mual, nyeri otot, serta kelelahan. Polutan dalam ruangan juga dapat memperburuk kondisi asma, hipersensitivitas, pneumonia, influenza, dan penyakit virus lainnya. Selain itu, paparan berkepanjangan dapat memicu masalah kesehatan jangka panjang seperti penyakit paru-paru, penyakit jantung, dan kanker[2].

Transportasi berkontribusi sebagai sumber emisi bergerak terbesar, terutama bagi masyarakat yang tinggal di permukiman dekat jalan raya di Kota Bandung. Studi tentang perbandingan konsentrasi  $\text{NO}_2$  antara lingkungan dalam ruangan dan luar ruangan (rasio I/O) menunjukkan adanya dampak emisi transportasi terhadap kesehatan masyarakat di daerah permukiman yang berada di sekitar jalan raya di Bandung[3]. Konsentrasi  $\text{NO}_2$  dan  $\text{PM}_{10}$  di rumah-rumah yang terletak di wilayah Karees dan Cibeunying Kidul Bandung menunjukkan bahwa aktivitas transportasi di sekitar wilayah tersebut menjadi penyebab utama tingginya kadar polutan ini [4]. Penelitian lain menyebutkan bahwa  $\text{PM}_{10}$  tidak terdistribusi secara merata di seluruh kota, yang mengakibatkan peningkatan konsentrasi partikulat ini di udara dan berpotensi membahayakan kesehatan masyarakat serta ekosistem [5].

Pemantauan kualitas udara dalam ruangan kini menjadi lebih efisien berkat pemanfaatan *Internet of Things* (IoT) dan teknologi komputasi awan (*cloud*), yang memungkinkan pemantauan real-time dari mana saja[6]. Pengukuran konsentrasi polutan dalam ruangan menjadi penting untuk memahami dampak kesehatan akibat paparan ini, terutama pada risiko inhalasi terhadap kesehatan masyarakat [7]. Kemajuan teknologi internet saat ini memungkinkan konektivitas yang melibatkan manusia, perangkat keras, perangkat lunak, dan berbagai mesin di sekitar kita melalui konsep yang dikenal sebagai *Internet of Things* (IoT). *Internet of Things* (IoT) memungkinkan objek fisik untuk melihat, mendengar, berpikir, serta melakukan pekerjaan dengan membuat mereka berkomunikasi bersama, untuk berbagi informasi dan mengkoordinasikan keputusan. *Internet of communication* (IOC) mengubah benda-benda ini dari yang tradisional menjadi cerdas dengan memanfaatkan dasar teknologi seperti komputasi di mana saja dan meluas, perangkat yang dilengkapi, teknologi komunikasi, jaringan sensor, internet protokol dan aplikasi [8].

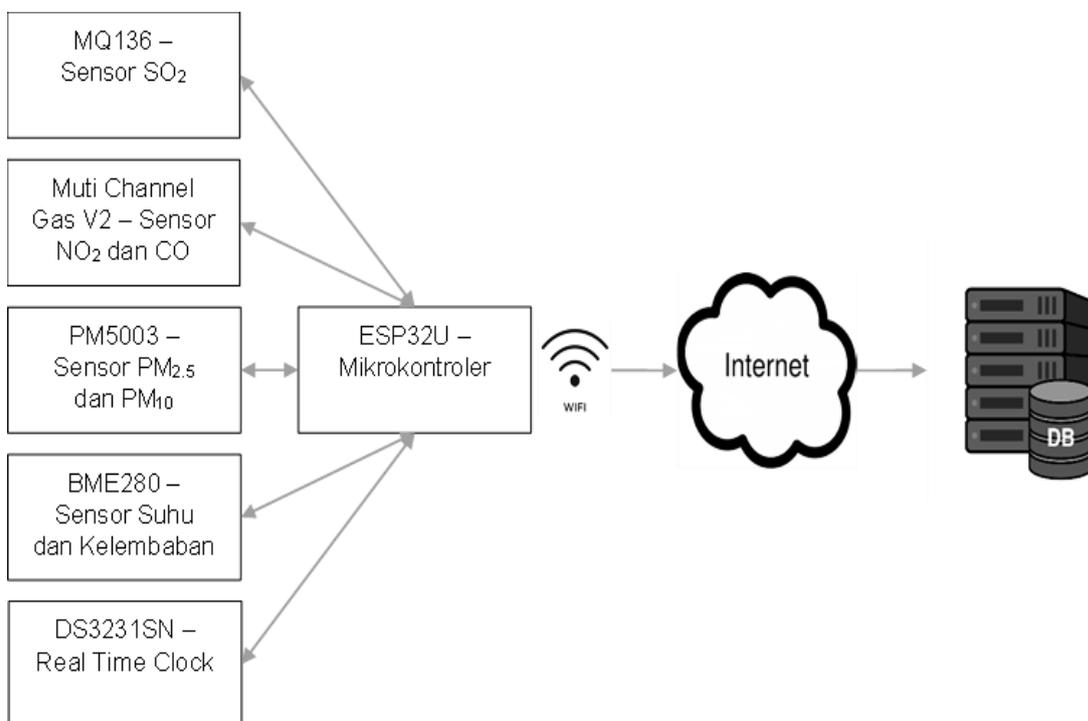
Hasil penelitian oleh Budianto dan Sumanto (2024) memanfaatkan teknologi IoT menunjukkan bahwa sensor gas dapat digunakan untuk mendeteksi dan memantau polutan seperti karbon monoksida (CO), karbon dioksida ( $\text{CO}_2$ ), suhu, dan debu. Data hasil pengukuran ditampilkan pada layar LCD dan disimpan dalam basis data, sehingga memungkinkan pembuatan tabel kualitas udara dalam ruangan sekaligus meningkatkan kesadaran akan pentingnya udara sehat [9]. Studi lain pada sistem pemantauan kualitas udara menunjukkan jika sistem dapat merespon perubahan konsentrasi gas saat pengujian. Monitoring kualitas udara pada penelitian ini mencakup suhu, kelembaban, kadar alkohol, kadar aseton, dan kadar  $\text{CO}_2$  dalam ruang laboratorium. Pemantauan kualitas udara dapat dilakukan melalui smartphone dengan aplikasi Blynk maupun melalui desktop PC dengan mengakses Blynk cloud [10].

Oleh karena itu, pemanfaatan prototipe IoT dalam pemantauan kualitas udara rumah menjadi solusi efisien dengan menyediakan data *real-time* yang bisa diakses dari mana saja melalui aplikasi Blynk. Penelitian ini bertujuan untuk mengembangkan prototipe IoT yang dapat mengukur kualitas udara dalam ruangan rumah, terutama pengukuran parameter SO<sub>2</sub>, NO<sub>2</sub>, PM<sub>10</sub>, dan PM<sub>2.5</sub>,

## METODE

Penggunaan teknologi *Internet of Things* (IoT) dalam penelitian ini memungkinkan pengolahan data sensor secara langsung (*real-time*) setiap menitnya. Data ini kemudian dianalisis berdasarkan konsentrasi rata-rata harian (24 jam) selama periode pengamatan 29 Juni hingga 21 Desember 2023 di Kecamatan Pasir Kaliki, Bandung. Pengumpulan data menggunakan 1 (satu) buah prototype sistem monitoring kualitas udara yang merekam data setiap menit selama 24 jam. Pelaksanaan penelitian untuk monitoring kualitas udara di dalam ruangan rumah penduduk ini telah disetujui oleh Komite Etik Politeknik Kesehatan Kemenkes Bandung, dengan nomor sertifikat 10/KEPK/EC/VII/2023.

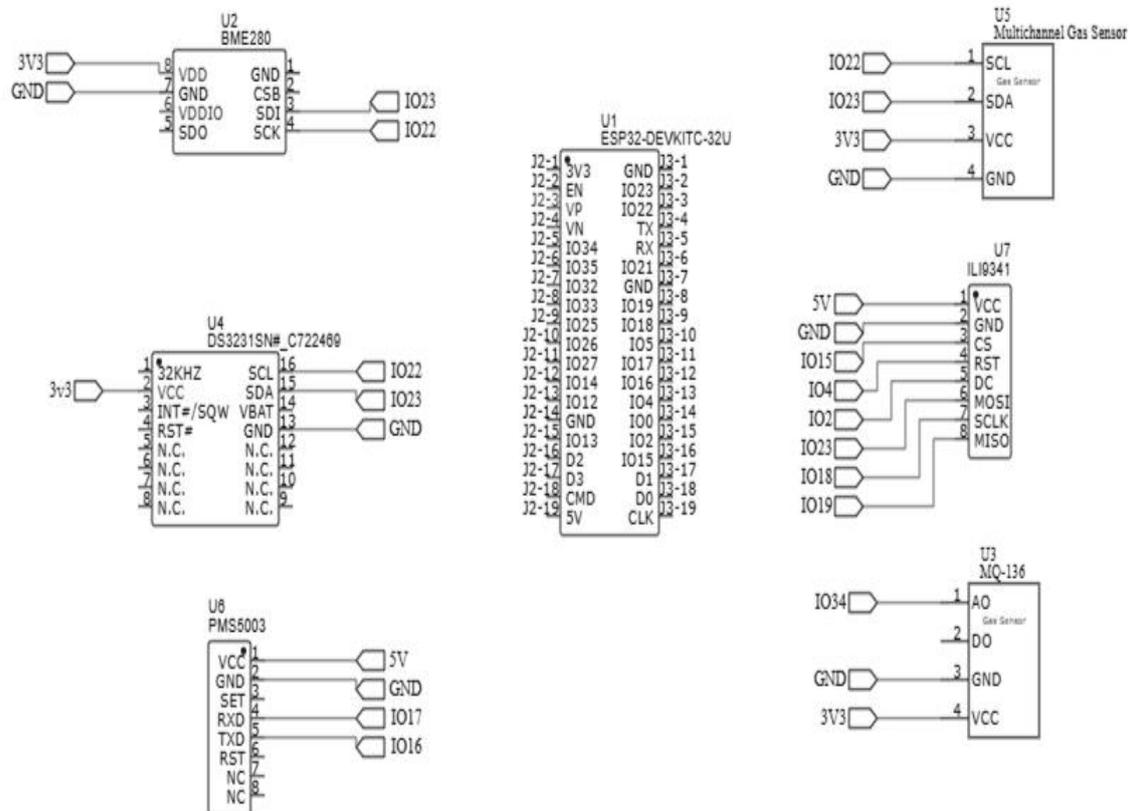
Penelitian ini termasuk dalam jenis penelitian Research And Development (R&D) atau metode penelitian dan pengembangan yaitu metode penelitian yang digunakan untuk menghasilkan produk tertentu, dan menguji keefektifan produk tersebut. Untuk dapat menghasilkan produk tertentu digunakan penelitian yang bersifat analisis kebutuhan dan untuk menguji keefektifan produk tersebut supaya dapat berfungsi di masyarakat luas [11]. Proses ini mencakup perancangan, pengujian, dan evaluasi prototype IoT. Produk akhir dari penelitian ini adalah prototipe IoT untuk mengukur kualitas udara dalam ruangan yaitu parameter SO<sub>2</sub>, NO<sub>2</sub>, PM<sub>10</sub>, dan PM<sub>2.5</sub>. Metoda perancangan sistem IoT terdiri dari perancangan hardware (elektronis dan mekanis), serta software (pemrograman sistem dan website). Proses sistem mulai dari input hingga output dijelaskan pada Gambar 1.



Gambar 1. Blok Diagram Prototype Sistem Monitoring Kualitas Udara

Mikrokontroler berfungsi sebagai pengendali sensor, dimana sensor-sensor tersebut dihubungkan menggunakan kabel ke pin UART, I2C, dan ADC pada mikrokontroler, sehingga sensor dapat mengukur besaran voltase yang dipengaruhi oleh udara di sekitarnya. Dengan demikian, mikrokontroler akan melakukan kalibrasi, kalkulasi, dan menterjemahkan nilai voltase tersebut menggunakan formula tertentu, sehingga didapat nilai yang sesuai dengan fungsi masing-masing sensor. Setelah nilai diterjemahkan, maka mikrokontroler akan mengirimkan data tersebut secara nirkabel ke server basis data melalui jaringan internet. Sehingga data yang berada di server basis data dapat diakses untuk diolah dan dianalisa. Mikrokontroler yang digunakan adalah ESP32U, sedangkan sensor yang digunakan antara lain MQ136 sensor SO<sub>2</sub>; Muti Channel Sensor V2 untuk sensor NO<sub>2</sub> dan CO; PM5003 untuk sensor PM<sub>2.5</sub> dan PM<sub>10</sub>; BME280 untuk sensor suhu dan kelembaban udara, serta DS3231SN (*real time clock*).

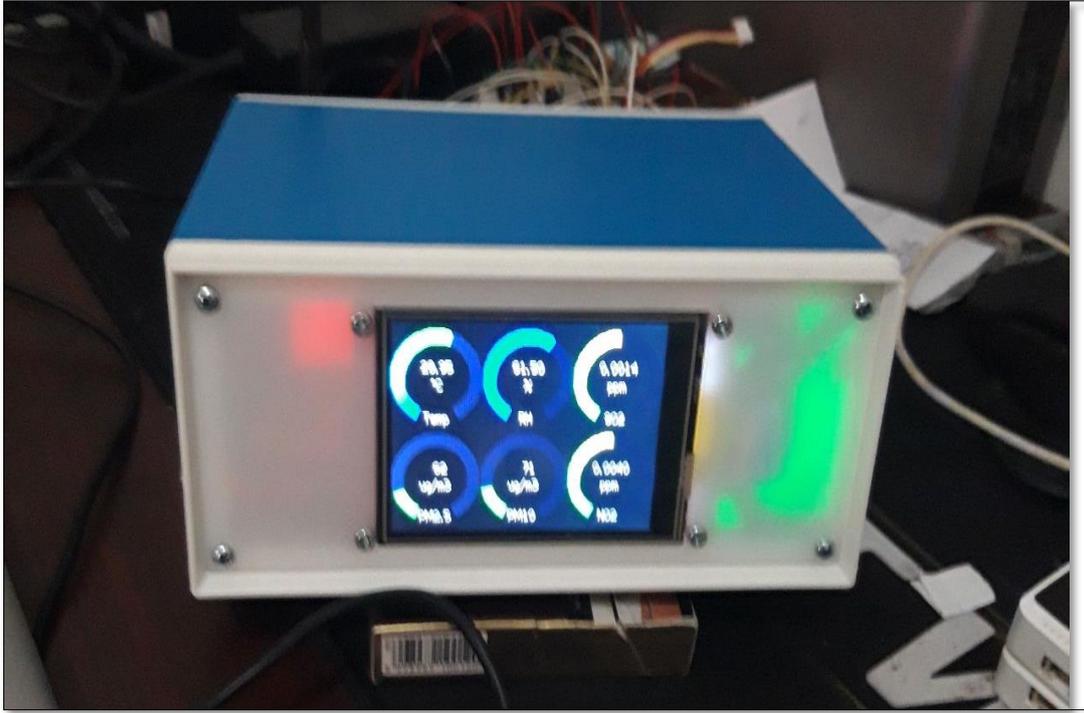
Perancangan Elektronis yaitu suplai dari sistem menggunakan adaptor dengan keluaran tegangan 5 VDC dan arus output sebesar 2 A. Perancangan hardware ini menggunakan mikrokontroler Arduino Uno dan Node MCU ESP8266 untuk mendapatkan data dari sensor gas MQ-135, sensor MQ-7, sensor GP2Y1010AU0F, sensor suhu dan kelembaban DHT-22. Pada pin Rx dan Tx pada ESP8266 dihubungkan dengan pin Rx dan Tx pada Arduino Uno sebagai jalur akses melalui komunikasi serial di antara keduanya. Masing-masing pin sensor dihubungkan dengan mikrokontroler Arduino Uno.



**Gambar 2. Rancangan Skematik PCB Prototype Sistem Monitoring Kualitas Udara**

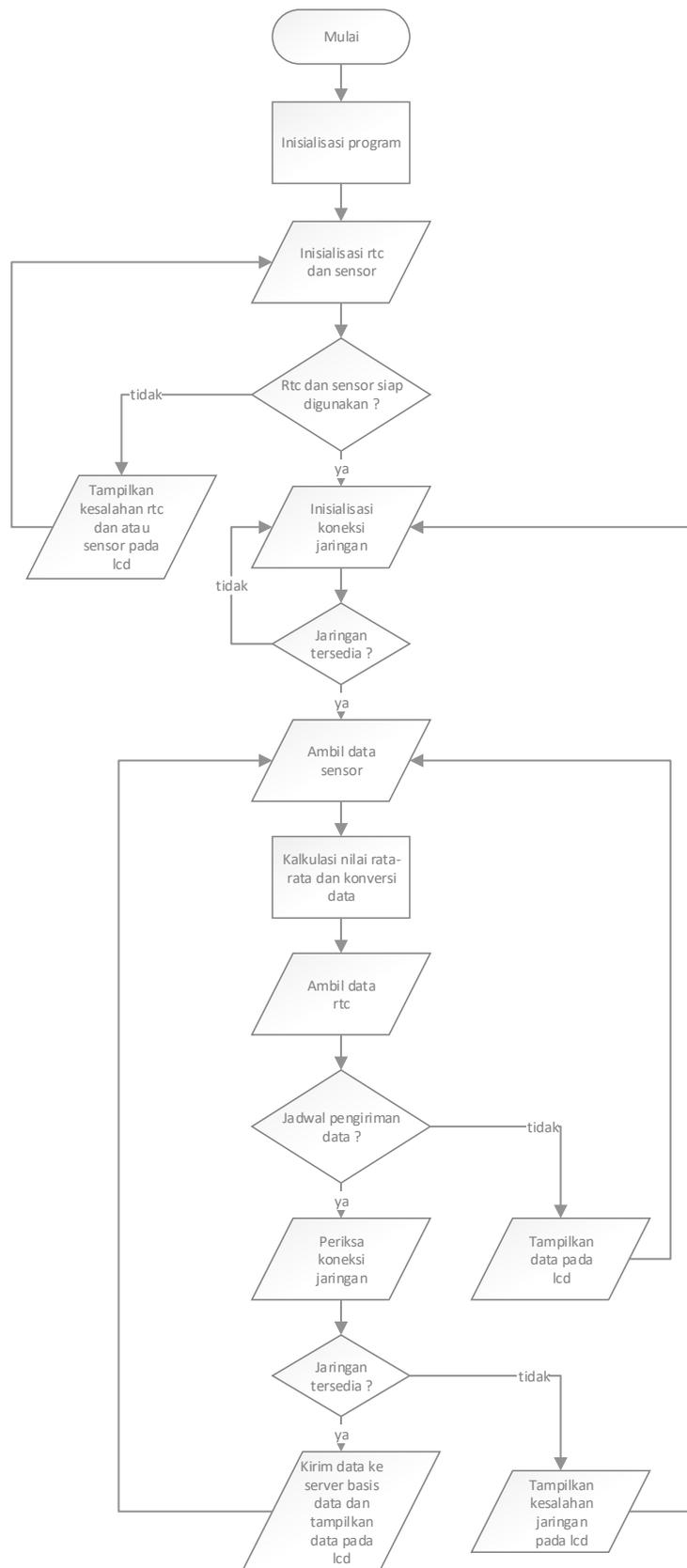
Perancangan mekanik bertujuan untuk membuat casing sebagai wadah meletakkan seluruh komponen yang telah dipasang pada PCB, perancangan mekanik digunakan bahan akrilik sebagai bahan penyusunnya. Selain itu dengan rancangan mekanik dapat

mempermudah pengecekan alat ketika melakukan *troubleshooting* serta mudah untuk digunakan. Hasil rancangan alat dapat ditunjukkan pada Gambar 3.



**Gambar 3. Hasil Perancangan Prototype Sistem Monitoring Kualitas Udara**

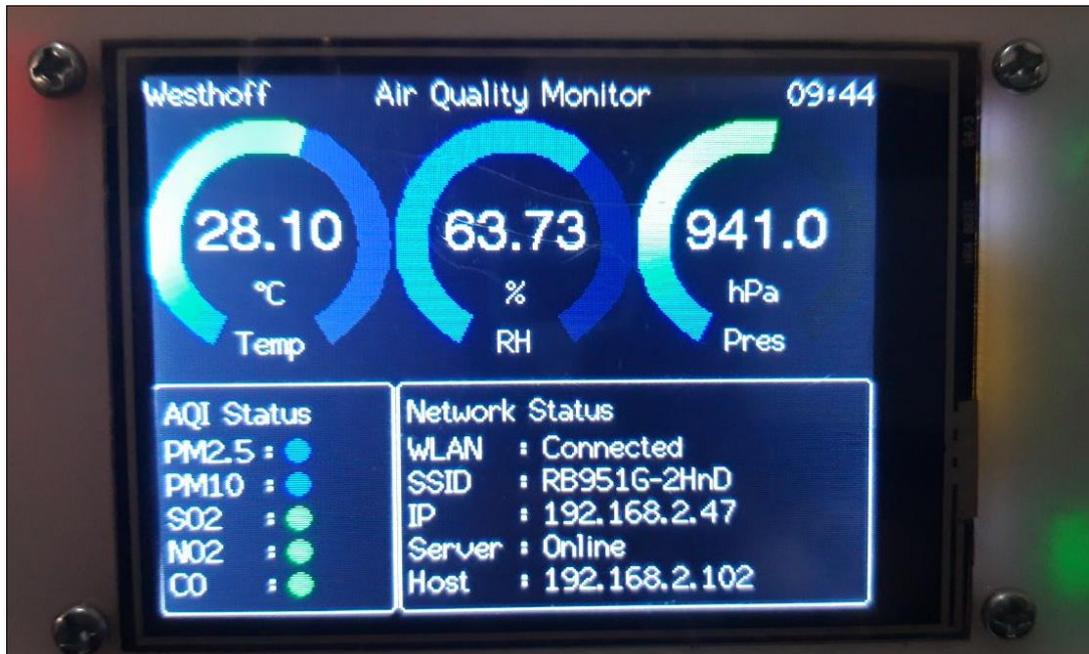
Sistem perancangan software dibuat untuk mengontrol hardware yang telah dirancang dan membentuk sistem sesuai dengan kebutuhan, serta untuk membangun website. Program bertujuan untuk memberikan perintah dan melakukan pembacaan data dari dan ke perangkat keras untuk menjalankan sistem. Perancangan perangkat lunak terdiri dari tiga bagian, yaitu perancangan program mikrokontroler menggunakan software Arduino IDE, perancangan database menggunakan software XAMPP untuk mengelola database [10], dan perancangan web menggunakan text editor Visual Studio Code untuk pembuatan program HTML, CSS, JavaScript, PHP dengan framework bootstrap. Cara kerja sistem secara garis besar ditunjukkan melalui flowchart pada Gambar 4.



**Gambar 3. Flowchart Cara Kerja Sistem Monitoring Kualitas Udara**

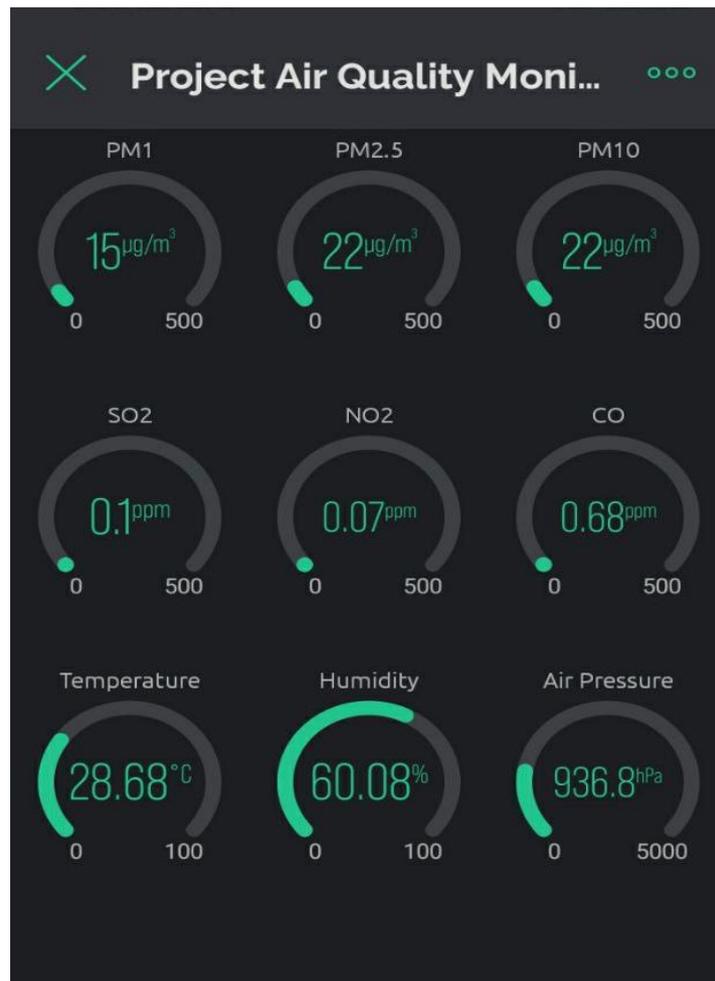
## HASIL

Pemantauan kualitas udara dilakukan menggunakan sensor yang datanya diolah oleh program pada mikrokontroler dan dikirim melalui internet untuk disimpan sebagai informasi. Pengiriman data sensor dilakukan secara langsung melalui koneksi nirkabel menggunakan modul GPRS (*General Packet Radio Service*) [12]. Sensor bertindak sebagai alat untuk mendeteksi atau mengukur berbagai perubahan seperti mekanik, magnetik, panas, cahaya, dan kimia, yang kemudian diubah menjadi sinyal listrik berupa tegangan atau arus [13]. Hasil pemantauan polusi udara dalam ruangan yang ditampilkan melalui *Liquid Crystal Display* (LCD) dapat dilihat pada Gambar 4.



**Gambar 4.** Tampilan *Liquid Crystal Display* (LCD) Prototype Sistem Monitoring Kualitas Udara

Blynk merupakan aplikasi yang dapat diakses pada sistem operasi iOS dan Android, memungkinkan kontrol perangkat seperti Arduino, NodeMCU, dan Raspberry Pi melalui koneksi internet. Aplikasi ini berfungsi untuk mengendalikan perangkat keras, menampilkan data sensor, menyimpan, dan memvisualisasikan data. Antarmuka aplikasi Blynk pada Android ditunjukkan pada Gambar 5. Blynk tidak terbatas pada satu jenis mikrokontroler tertentu, melainkan dapat berfungsi dengan berbagai perangkat keras yang didukung. Node MCU terhubung ke internet melalui WiFi menggunakan chip ESP8266, menjadikan Blynk siap untuk aplikasi *Internet of Things* (IoT). Blynk menyediakan berbagai widget, seperti tombol, indikator nilai, grafik historis, Twitter, dan email untuk kemudahan kontrol dan pemantauan.



**Gambar 5. Tampilan Aplikasi Android Blink Prototype Sistem Monitoring Kualitas Udara**

Hasil pengukuran dapat dipantau secara otomatis melalui kotak mikrokontroler atau secara remote menggunakan aplikasi Blynk pada perangkat Android. Hasil analisis deskriptive dari data pengukuran dijelaskan pada Tabel 1.

**Tabel 1. Data Hasil Pengukuran Prototype Sistem Monitoring Kualitas Udara**

Pengukuran Parameter	Rentang Konsentrasi ( $\mu\text{g}/\text{m}^3$ )	Batas Konsentrasi Yang Diizinkan ( $\mu\text{g}/\text{m}^3$ )* Dalam 24 jam
SO <sub>2</sub>	0,0100 – 0,1011	0,1
NO <sub>2</sub>	0,0005 – 0,9352	0,04
PM <sub>10</sub>	51 – 128	< 70
PM <sub>2,5</sub>	43 – 121	35

\*Peraturan Menteri Kesehatan RI No. 1077 Tahun 2011 tentang Pedoman Penyehatan Udara Dalam Ruang Rumah.

Hasil pengukuran pada tabel 1 menunjukkan bahwa konsentrasi SO<sub>2</sub> rata-rata selama 24 jam antara 0,0100 hingga 0,1011  $\mu\text{g}/\text{m}^3$ . Konsentrasi NO<sub>2</sub> rata-rata selama 24 jam antara 0,0005 hingga 0,9352  $\mu\text{g}/\text{m}^3$ . Sedangkan hasil pengukuran PM<sub>10</sub> menunjukkan konsentrasi antara 51 hingga 128  $\mu\text{g}/\text{m}^3$  dan PM<sub>2,5</sub> antara 43 hingga 121  $\mu\text{g}/\text{m}^3$ .

## PEMBAHASAN

Hasil monitoring kualitas udara di dalam ruangan menggunakan prototipe *Internet of Things* (IOT) telah menunjukkan bahwa konsentrasi SO<sub>2</sub> antara 0,0100 hingga 0,1011 µg/m<sup>3</sup>. Nilai rata-rata selama 24 jam menunjukkan bahwa konsentrasi maksimum SO<sub>2</sub> di dalam ruangan memenuhi batas konsentrasi yang diizinkan (0,1 µg/m<sup>3</sup>). Konsentrasi NO<sub>2</sub> antara 0,0005 hingga 0,9352 µg/m<sup>3</sup>, dengan hasil rata-rata 24 jam yang juga melebihi batas yang ditetapkan, yaitu 0,04 µg/m<sup>3</sup> dalam 24 jam. Berdasarkan data yang diperoleh hasil pengukuran PM<sub>10</sub> menunjukkan konsentrasi antara 51 hingga 128 µg/m<sup>3</sup> yang melebihi batas aman yang direkomendasikan. Sedangkan konsentrasi hasil pengukuran PM<sub>2.5</sub> antara 43 hingga 121 µg/m<sup>3</sup>, dimana melampaui batas aman yang direkomendasikan (35 µg/m<sup>3</sup>).

Platform pemantauan kualitas udara dalam ruangan berbasis IoT "Smart-Air" dan server web telah dibuat untuk memantau kualitas udara dalam ruangan di mana saja dan kapan saja. Perangkat ini dirancang untuk mengukur konsentrasi aerosol, VOC, CO, CO<sub>2</sub>, dan suhu-kelembapan. Perangkat tersebut berhasil diuji keandalannya dengan mengikuti prosedur yang ditentukan oleh Kementerian Lingkungan Hidup, Korea. Server web menyimpan semua data di *cloud* untuk menyediakan data untuk dianalisis lebih lanjut mengenai kualitas udara dalam ruangan. Selain itu, platform ini telah berhasil diimplementasikan di Universitas Hanyang Korea untuk menunjukkan kelayakannya [6].

Hasil penelitian Budianto dkk (2024) menunjukkan sistem monitoring dengan website berhasil mendeteksi beberapa parameter kadar gas (CO<sub>2</sub> dan CO), partikel debu, suhu, dan kelembapan udara. Data kualitas udara yang diperoleh dari sensor dapat ditampilkan secara *real-time* dan tersimpan di database. Pengujian dengan menggunakan variasi sampel jumlah orang menghasilkan kinerja dari sistem saat konsentrasi gas berada dalam rentang kemampuan deteksi sensor[9]. Sistem monitoring kualitas udara yang dibuat terealisasi 100% sesuai dengan rancangan yaitu sensor MQ135, MQ131, dan DHT22 dapat mengukur setiap parameter udara yang telah ditentukan, yaitu CO, NO, O<sub>3</sub>, suhu, dan kelembapan [9].

Penelitian Hasyim dkk (2024) telah berhasil mengembangkan sistem notifikasi monitoring kualitas udara dalam ruangan produksi berbasis *Internet of Things* (IoT) menggunakan ESP8266. Hasil pengujian menunjukkan bahwa sistem ini mampu memberikan notifikasi yang akurat dan responsif. Seperti halnya penelitian ini penggunaan aplikasi Blynk dapat digunakan untuk melakukan pemantauan kualitas udara secara *real-time*. Prototype ini sangat bermanfaat untuk meningkatkan keselamatan dan kesehatan di lingkungan produksi [14].

Kualitas udara di rumah dipengaruhi oleh berbagai faktor, termasuk material bangunan seperti asbes, ventilasi, serta bahan yang digunakan untuk furnitur dan interior. Selain itu, kepadatan penghuni, kualitas udara luar, radiasi dari radon, formaldehid, debu, dan kelembapan yang berlebihan juga berkontribusi. Aktivitas dalam rumah, seperti penggunaan sumber energi yang tidak ramah lingkungan, pemakaian bahan bakar murah seperti batu bara dan biomassa (seperti kayu, kotoran hewan, dan limbah pertanian), merokok, penggunaan pestisida, serta bahan pembersih kimia dan kosmetik, juga dapat memengaruhi kualitas udara. Zat-zat kimia ini dapat menciptakan polusi yang bertahan lama di dalam rumah[2]. Banyak rumah tangga di Indonesia masih menggunakan gas atau *Liquefied Petroleum Gas* (LPG) dan kayu bakar untuk keperluan memasak. Agar dapat mengurangi risiko pneumonia pada anak di bawah lima tahun, penting untuk menghindari udara yang kotor di dalam rumah. Menurut UNICEF dan WHO, salah satu cara untuk mencegah pneumonia pada anak-anak adalah dengan mengurangi polusi udara dalam ruangan [1].

Penelitian menunjukkan bahwa penggunaan bahan bakar padat dapat meningkatkan polusi udara dalam ruangan, yang menyebabkan gangguan kesehatan

seperti batuk pada semua usia serta demam dan diare pada individu berusia 21 tahun ke atas. Ini menunjukkan bahwa penggunaan bahan bakar ramah lingkungan dapat meningkatkan kualitas udara dalam ruangan dan, pada akhirnya, kesehatan individu[1]. Hasil survey rumah masyarakat di wilayah kerja Puskesmas Pasirkaliki Cimahi menunjukkan rata-rata emisi CO<sub>2</sub> primer yang dihasilkan dari kegiatan penggunaan gas LPG menghasilkan 0,007 ton CO<sub>2</sub>/rumah/bulan, sedangkan penggunaan bahan bakar bensin yaitu 0,073 ton CO<sub>2</sub>/rumah/bulan. Hasil perhitungan emisi sekunder konsumsi energi listrik menunjukkan rata-rata emisi 0,102 ton CO<sub>2</sub>/rumah/bulan [15].

Unsur utama yang mendasari *Internet of Things* (IoT) adalah kecerdasan buatan (*Artificial Intelligence/AI*), yang memungkinkan hampir semua perangkat menjadi "pintar." Dengan demikian, IoT berpotensi untuk meningkatkan berbagai aspek kehidupan melalui pengembangan teknologi yang berfokus pada AI. Proses pengembangan ini melibatkan pengumpulan data, penerapan algoritma AI, dan pemanfaatan infrastruktur jaringan yang ada[16],[17]. Penelitian mengenai kualitas udara dalam ruangan yang memanfaatkan mikrokontroler ESP8266, sensor MQ135, dan sensor DHT11 yang terhubung ke platform IoT menunjukkan bahwa sistem pemantauan untuk CO<sub>2</sub>, suhu, dan kelembaban udara berfungsi dengan baik[18].

Aplikasi Blynk memungkinkan pengguna untuk melihat data kualitas udara secara *real-time*, mengubah peraturan perangkat, dan menerima notifikasi jika polutan melebihi nilai ambang batas aman [14],[14]. Hasil pengujian sistem monitoring kualitas udara menghasilkan data yang disimpan pada platform Thingspeak secara *real-time* telah menunjukkan tingkat akurasi dan kinerja setiap sensor dengan baik. Kalibrasi antara sistem Thingspeak dan mikrokontroler dapat melakukan fungsi monitoring dan menampilkan grafik mengenai kualitas udara yang terdeteksi oleh sensor MQ135 secara *real-time* [18].

Studi ini menunjukkan bahwa IoT dapat diterapkan untuk memantau kualitas udara dalam ruangan menggunakan sensor yang mengukur berbagai parameter kualitas udara seperti SO<sub>2</sub>, NO<sub>2</sub>, PM<sub>10</sub>, dan PM<sub>2.5</sub>. Prototipe ini dirancang untuk memantau kualitas udara di dalam rumah dengan efisien melalui aplikasi Blynk di Android dari lokasi mana pun, meskipun dalam penerapannya membutuhkan waktu lama untuk desain dan uji coba pengukuran. Prototype yang telah dibuat memerlukan penyempurnaan lebih lanjut, serta dilakukan pengujian secara komprehensif untuk memastikan akurasi hasil pengukuran, serta dilakukan pengembangan dengan sensor yang lebih sensitive.

## SIMPULAN

Pengukuran rata-rata selama periode 24 jam menunjukkan bahwa konsentrasi SO<sub>2</sub> di dalam ruangan memenuhi standar yang ditetapkan yaitu 0,1 µg/m<sup>3</sup>. Namun konsentrasi NO<sub>2</sub>, PM<sub>10</sub>, dan PM<sub>2.5</sub> melebihi batas yang ditetapkan, masing-masing lebih dari 0,04 µg/m<sup>3</sup>, lebih dari 70 µg/m<sup>3</sup>, dan lebih dari 35 µg/m<sup>3</sup>.

Prototipe ini telah berfungsi untuk memantau kualitas udara dalam ruangan dengan mengukur parameter SO<sub>2</sub>, NO<sub>2</sub>, PM<sub>10</sub>, dan PM<sub>2.5</sub>. Data hasil pengukuran ditampilkan pada layar LCD dan dapat diakses secara jarak jauh melalui aplikasi Blynk yang terhubung dengan sistem *Internet of Things* (IoT). Pengukuran dilakukan secara otomatis oleh mikrokontroler, yang memungkinkan pemantauan *real-time* dan pengambilan tindakan sesuai kebutuhan.

Studi ini telah menunjukkan bahwa penggunaan teknologi IoT melalui aplikasi Blynk untuk pemantauan kualitas udara dalam ruangan dapat memberikan manfaat yang signifikan. Meskipun hasil pengukuran menunjukkan adanya konsentrasi polutan yang melebihi batas yang direkomendasikan, penelitian lebih lanjut diperlukan untuk meningkatkan akurasi sistem, dan memastikan keandalannya dalam pemantauan jangka panjang.

## UCAPAN TERIMA KASIH

Paper ini merupakan hasil penelitian Tahun ke-1 “*Internet of Things (IoT) Sistem Monitoring Indoor Air Pollution Pada Permukiman Penduduk di Wilayah Perkotaan Bandung*” yang dibiayai oleh DIPA Politeknik Kesehatan Kementerian Kesehatan Bandung Tahun 2023.

## DAFTAR RUJUKAN

- [1] I. Q. A'yun and R. Umaroh, “Polusi Udara dalam Ruang dan Kondisi Kesehatan: Analisis Rumah Tangga Indonesia,” *J. Ekon. dan Pembang. Indones.*, vol. 23, no. 1, pp. 16–26, 2023, doi: 10.21002/jepi.2022.02.
- [2] Kementerian Kesehatan RI, “Peraturan Menteri Kesehatan RI No. 1077 Tahun 2011 tentang Pedoman Penyehatan Udara Dalam Ruang Rumah.” Kementerian Kesehatan Republik Indonesia, Jakarta, 2011.
- [3] A. P. Yudison and Driejana, “Development of indoor air pollution concentration prediction by geospatial analysis,” *J. Eng. Technol. Sci.*, vol. 47, no. 3, pp. 306–319, 2015, doi: 10.5614/j.eng.technol.sci.2015.47.3.6.
- [4] F. M. Sidjabat, D. Driejana, and A. Sjafruddin, “Baseline Beban Emisi Sektor Transportasi Di Koridor Pasteur-Cileunyi Dan Ujungberung-Gedebage, Bandung, Jawa Barat, Indonesia,” *J. Teh. Lingkung.*, vol. 22, no. 1, pp. 52–62, 2016, doi: 10.5614/j.tl.2016.22.1.6.
- [5] A. Pratama and A. Sofyan, “Analisis Dispersi Pencemar Udara PM10 di kota Bandung Menggunakan Wrfchem Data Asimilasi,” *J. Tek. Lingkung.*, vol. 26, no. 2, pp. 11–30, 2020.
- [6] R. K. Suman, I. Ray Mohanty, M. K. Borde, U. Maheshwari, and Y. A. Deshmukh, “Development of an Experimental Model of Diabetes Co-Existing with Metabolic Syndrome in Rats,” *Adv. Pharmacol. Sci.*, vol. 2016, pp. 1–11, 2016, doi: 10.1155/2016/9463476.
- [7] World Health Organization (WHO), “Environmental Health Risk Assessment Guidelines,” *WHO*, 2012.
- [8] S. Agrawal and D. Vieira, “A Survey of Internet of Things,” *Abakós*, vol. 1, no. 2, pp. 78–95, 2013, doi: 10.36724/2664-066x-2020-6-2-25-32.
- [9] H. Budianto and B. Sumanto, “Perancangan Sistem Monitoring Kualitas Udara dalam Ruang Berbasis Internet of Things,” *J. List. Instrumentasi, dan Elektron. Terap.*, vol. 5, no. 1, pp. 9–17, 2024.
- [10] R. Muttaqin, W. Sakti, W. Prayitno, and N. Erna, “Rancang Bangun Sistem Pemantauan Kualitas Udara Berbasis Iot ( Internet Of Things ) dengan Sensor DHT11 dan Sensor MQ135,” *J. Pengelolaan Lab. Pendidik.*, vol. 6, no. 2, pp. 102–115, 2024.
- [11] Sugiono, *Metode Penelitian Kuantitatif Kualitatif dan R&D*. Yogyakarta: Alfabetha, 2019.
- [12] T. N. Hakim and M. F. Susanto, “Sistem Monitoring Kualitas Udara Berbasis Internet of Things.,” in *Prosiding The 11th Industrial Research Workshop and National Seminar*, Bandung, 2020, pp. 496–502.
- [13] F. Rizki, “Alat Pendeteksi Polusi Udara Dari Gas Karbonmonoksida (CO) Pada Ruang Berbasis Mikrokontroler AT89S51. Surabaya,” Universitas Pembangunan Nasional “Veteran” Jawa Timur, 2011. [Online]. Available: <https://adoc.pub/laporan-tugas-akhir-alat-pendeteksi-polusi-udara-dari-gas-ka.html>
- [14] F. Hasyim and I. Suharjo, “Sistem Notifikasi Monitoring Kualitas Udara dalam Ruang Produksi Berbasis Internet of Things ( IoT ) Meggunakan ESP8266,” *J. Ilm. Komput. Graf.*, vol. 17, no. 1, pp. 149–158, 2024.
- [15] N. Y. Hasan, T. B. Prijanto, and S. Setyoko, “Analisis Perhitungan Carbon Footprint Dari Penggunaan Gas , Bensin , Dan Listrik Rumah Tangga,” *J. Ris. Kesehat. Poltekkes Depkes*

- Bandung*, vol. 15, no. 1, pp. 172–178, 2023.
- [16] A. W. Burange and H. D. Misalkar, “Review of Internet of Things in development of smart cities with data management & privacy,” in *2015 International Conference on Advances in Computer Engineering and Applications*, India: IEEE, 2015. doi: 10.1109/ICACEA.2015.7164693.
- [17] C. Wang *et al.*, “Guest Editorial Special Issue on Internet of Things ( IoT ): Architecture , Protocols and Services,” *EEE Sensors J.*, vol. 13, no. 10, pp. 3505–3510, 2013, doi: <https://doi.org/10.1109/JSEN.2013.2274906>.
- [18] A. D. Ramadhani, A. Nurcahya, N. Azizah, and N. Ningsih, “Klasifikasi dan Monitoring Kualitas Udara Dalam Ruangan menggunakan Thingspeak,” *J. Tek. Elektro dan Komput. TRIAC*, vol. 10, no. 1, pp. 1–5, 2023.