

# Rancang Bangun Sistem *Monitoring* Kualitas Udara Berbasis IoT di Wilayah yang Terdampak Aktivitas Pertambangan Kota Sangatta

Resky Ramadhani Hayat<sup>1</sup>, Marson Ady Putra<sup>2</sup>, Dadang Suherman<sup>3</sup>

<sup>1,2,3</sup>Jurusan Teknik Elektro, Politeknik Negeri Samarinda

marson@polnes.ac.id

**Abstrak-** Aktivitas pertambangan di Kota Sangatta berdampak signifikan terhadap kualitas udara di sekitarnya, terutama melalui peningkatan emisi gas berbahaya dan partikel debu. Penelitian ini bertujuan merancang dan membangun sistem *monitoring* kualitas udara berbasis *Internet of Things* (IoT) untuk wilayah yang terdampak. Sistem ini menggunakan sensor MG-811, SHARP GP2Y1010AU0F dan DHT22 yang digunakan untuk mendeteksi konsentrasi gas CO<sub>2</sub>, partikel debu, suhu dan kelembapan. Sensor-sensor tersebut dihubungkan dengan mikrokontroler Arduino Uno dan ESP32 yang akan mengirimkan data ke LED dot Matrix P10 dan dashboard thingsboard untuk menampilkan hasil pengukuran. Hasil penelitian menunjukkan bahwa sistem ini mampu mengukur dan menampilkan parameter kualitas udara secara *real-time* dengan tingkat *error* pengukuran terhadap alat ukur pembanding sebesar 0.63% untuk suhu, 0.89% untuk kelembapan, 6.93% untuk konsentrasi gas CO<sub>2</sub>, dan 9.67% untuk partikel debu. Selain itu, sistem ini berfungsi dengan baik, menyajikan data yang relevan, serta dapat digunakan sebagai alat bantu dalam pengambilan keputusan untuk mengurangi dampak pencemaran udara.

**Kata kunci:** Arduino Uno, DHT22, ESP32, Internet of Things, kualitas udara, MG-811, SHARP GP2Y1010AU0F, ThingsBoard

## I. PENDAHULUAN

Lingkungan hidup mencakup seluruh komponen alami dan buatan yang saling berinteraksi dan membentuk ekosistem yang seimbang. Keberlanjutan lingkungan ini sangat ditentukan bagaimana cara manusia dalam memanfaatkan serta mengelola sumber daya alam secara bijak. Dalam proses ini, perilaku manusia menjadi faktor penentu keberlanjutan dan kualitas lingkungan di sekitarnya.

Namun, saat ini lingkungan mengalami tantangan seperti pencemaran yang terjadi di berbagai lokasi, mulai dari pemukiman hingga kawasan industri. Selain itu, kerusakan lingkungan dan eksploitasi sumber daya yang tidak terkendali, seperti di area pertambangan dan pembukaan lahan baru, mengakibatkan kualitas udara menurun. Kondisi ini berdampak buruk terhadap keberlangsungan hidup manusia serta makhluk hidup lainnya, yang dapat memicu terjadinya gangguan kesehatan dan perubahan iklim global.

Aktivitas pertambangan menjadi salah satu penyumbang utama terhadap penurunan kualitas udara. Dampak ini dirasakan langsung oleh masyarakat, termasuk penulis yang berdomisili di dekat kawasan operasional tambang. Peningkatan kadar gas berbahaya, partikel debu di udara, serta

perubahan suhu dan kelembapan menjadi persoalan nyata yang memengaruhi kesehatan serta kenyamanan hidup masyarakat sekitar.

Dalam menghadapi tantangan ini, keberadaan sistem pemantauan kualitas udara yang andal dan konsisten sangat diperlukan guna menyediakan data yang relevan bagi para pemangku kepentingan serta masyarakat umum. Teknologi IoT (*Internet of Things*) menjadi solusi yang cukup baik dalam menyediakan pemantauan kualitas udara secara *real-time* serta, menyediakan data pendukung dalam pengambilan keputusan upaya mengurangi dampak pencemaran udara. Oleh karena itu, penelitian ini akan merancang bangun sistem pemantauan kualitas udara yang memanfaatkan perangkat mikrokontroler. Sistem ini mengukur beberapa parameter utama dari kualitas udara, meliputi konsentrasi gas CO<sub>2</sub>, suhu, kelembapan, dan partikel debu, sehingga memungkinkan pemantauan yang lebih baik.

## II. TINJAUAN PUSTAKA

### A. Penelitian Terdahulu

Penelitian "*Pengukuran Kinerja Sistem Kualitas Udara dengan Teknologi WSN Menggunakan Confusion Matrix*" oleh Banu Putri Pratiwi, Ade Silvia Handayani, dan Sarjana membahas pentingnya pemantauan kualitas udara di daerah perkotaan yang berpengaruh langsung terhadap kesehatan masyarakat dan kenyamanan lingkungan [2]. Penelitian ini menunjukkan bahwa polusi udara dihasilkan dari berbagai aktivitas manusia seperti transportasi, industri, dan kegiatan rumah tangga. Oleh karena itu, sistem pengukuran kualitas udara berbasis teknologi *Wireless Sensor Network* (WSN) menjadi penting untuk diterapkan secara berkala guna mengantisipasi dampak negatif terhadap lingkungan.

Penelitian "*Rancang Bangun Alat Pengukur Gas Berbahaya CO dan CO<sub>2</sub> di Lingkungan Industri*" oleh Evert Nebath, David Pang, dan Janny O. Wuwung merancang sistem pemantauan gas berbahaya di lingkungan industri [3]. Sistem ini menggunakan sensor MG-811 untuk mendeteksi karbon dioksida (CO<sub>2</sub>) dan sensor MQ-7 untuk mendeteksi karbon monoksida (CO), yang kemudian dikendalikan oleh mikrokontroler Arduino Uno sebagai unit pemroses utama. Hasil penelitian menunjukkan bahwa gas buangan dari aktivitas industri berpotensi membahayakan kesehatan manusia,

sehingga diperlukan alat pemantauan yang akurat dan responsif terhadap keberadaan gas-gas berbahaya tersebut.

Penelitian “Rancang Bangun Alat Monitoring Daya Listrik di Asrama Berbasis Web Menggunakan ESP32” oleh Tresna Umar Syamsuri, Rahma Nur Amalia, dan Mudjiono mengembangkan sistem pemantauan daya listrik menggunakan mikrokontroler ESP32 [4]. Sistem ini memanfaatkan sensor ACS712 untuk mendeteksi arus dan sensor ZMPT101B untuk mendeteksi tegangan. Selain itu, sistem dilengkapi dengan kontrol relay yang dapat memutus aliran listrik jika terjadi kelebihan beban. Data dipantau secara *real-time* melalui platform Blynk dan diprogram menggunakan *software* Arduino IDE. Hasil pengujian menunjukkan bahwa meskipun terdapat kesalahan pembacaan arus rata-rata sebesar 11%, sistem tetap dapat diandalkan untuk pemantauan daya berbasis web.

Penelitian “Rancang Bangun Sistem Monitoring Kualitas Udara Pada Ruang Isolasi COVID-19 Berbasis Android Menggunakan Sensor SHARP GP2Y1010AU0F” oleh Wahyu Siti Ulam Sari, Gigih Priyandoko, dan Dedi Usman Effendy membahas pengembangan sistem pemantauan kualitas udara yang digunakan pada ruang isolasi pasien COVID-19 [5]. Sensor SHARP GP2Y1010AU0F digunakan untuk mendeteksi partikel debu secara akurat, sedangkan sensor DHT22 berfungsi mengukur suhu dan kelembapan dengan ketelitian tinggi. Sistem ini memberikan data secara *real-time*, dengan cakupan suhu dari -40°C hingga 80°C dan kelembapan dari 0% hingga 100%, sehingga memberikan pengawasan lingkungan yang komprehensif.

Penelitian “Rancangan Bangun Prototype Monitoring Kualitas Udara dalam Ruang” oleh Milenia Ulwan Zafira, Khakim Ghozali, dan Irzal Ahmad Sabilla mengembangkan sistem *monitoring* kualitas udara dalam ruang tertutup berbasis ThingsBoard [6]. Sistem ini menggunakan sensor MQ-4, MQ-135, dan MQ-7 untuk mendeteksi gas metana (CH<sub>4</sub>), karbon dioksida (CO<sub>2</sub>), dan karbon monoksida (CO). Data dari sensor dikirim dari Arduino Uno ke NodeMCU ESP8266 melalui komunikasi serial, kemudian diteruskan ke platform ThingsBoard melalui jaringan WiFi. Hasil pengujian menunjukkan bahwa ThingsBoard mampu menampilkan data sensor secara visual dan *real-time* tanpa keterlambatan signifikan, serta mendukung protokol komunikasi seperti MQTT dan HTTP.

**B. Kualitas Udara**

Kualitas udara merupakan faktor krusial yang berdampak langsung pada kesehatan manusia terutama di daerah perkotaan. Meningkatnya tingkat pencemaran udara menjadi perhatian serius karena sebagian besar berasal dari aktivitas manusia seperti transportasi, kawasan industri, perkantoran, dan pemukiman. Aktivitas-aktivitas ini menghasilkan emisi polutan berbahaya, termasuk gas-gas dan partikel tersuspensi (TSP) di udara. Kualitas udara menjadi salah satu faktor yang perlu dipantau di lingkungan industri. Di Indonesia, pemantauan kualitas udara mengacu pada Indeks Standar Pencemar Udara (ISPU) sebagaimana tertuang dalam Keputusan Menteri Negara Lingkungan Hidup Nomor: KEP 45/MENLH/1997 [2].

Kualitas Udara dianggap baik apabila konsentrasi polutan tidak melebihi ambang batas yang ditentukan. Kategori indeks dapat dilihat pada TABEL 1.

TABEL 1  
KATEGORI ANGKA RENTANG ISPU

No	Keterangan	Status Warna	Angka Rentang
1	Baik	Hijau	1-50
2	Sedang	Biru	51-100
3	Tidak Sehat	Kuning	101-299
4	Sangat Tidak Sehat	Merah	201-300
5	Berbahaya	Hitam	≥ 301

Persamaan yang digunakan untuk menentukan nilai indeks standar pencemar udara (ISPU) dinyatakan sebagaimana persamaan 1.

$$I = \frac{(Ia-Ib)}{(Xa-Xb)}(Xx - Xb) + Ib \tag{1}$$

Keterangan:

- I = ISPU terhitung
- Ia = ISPU batas atas
- Ib = ISPU batas bawah
- Xa = Konsentrasi ambien batas atas (µg/m<sup>3</sup>)
- Xb = Konsentrasi ambien batas bawah (µg/m<sup>3</sup>)
- Xx = Konsentrasi ambien nyata hasil pengukuran (µg/m<sup>3</sup>)

**C. Jenis Polutan Pencemaran Udara**

Polusi udara terjadi karena adanya partikel atau zat kimia berbahaya yang mengganggu keseimbangan lingkungan, mencakup udara, air, dan tanah. Contoh polutan udara mencakup asap kendaraan, emisi pabrik, dan pembakaran sampah. Berikut ini merupakan beberapa jenis polutan udara:

**1). Karbon Dioksida (CO<sub>2</sub>)**

Gas CO<sub>2</sub> adalah senyawa gas hasil pembakaran karbon dan oksigen yang bersifat relatif tidak beracun dan tidak mudah terbakar [6]. WHO (World Health Organization) menyediakan data perbandingan komposisi gas pencemar di antara lingkungan yang tidak tercemar dan lingkungan yang telah terkontaminasi, sebagaimana yang ditunjukkan pada TABEL 2.

TABEL 2  
KOMPOSI SI UDARA BERSIH DAN UDARA TERCEMAR MENURUT WORLD HEALTH ORGANIZATION (WHO)

Parameter	Udara Bersih	Udara Tercemar
CO <sub>2</sub>	310 - 330 PPM	350 - 700 PPM

**2). Particulate Matter (PM<sub>2.5</sub>)**

Partikel halus (PM<sub>2.5</sub>) merupakan partikel mikro di udara berukuran maksimal 2.5 mikrometer yang berbahaya bagi kesehatan jika terhirup dalam jangka panjang. Tingkat PM<sub>2.5</sub> diukur dengan teknik penyinaran sinar Beta (Beta Attenuation Monitoring) dengan unit mikrogram per meter kubik (µg/m<sup>3</sup>). Monitoring PM<sub>2.5</sub> yang dilaksanakan oleh BMKG tersebut baru dimulai pada tahun 2020 [9]. Kategori *particulate matter* (PM<sub>2.5</sub>) dapat dilihat pada TABEL 3.

TABEL 3  
KATEGORI PARTICULATE MATTER (PM<sub>2.5</sub>)

Parameter	Kategori
0-15.5 µg/m <sup>3</sup>	Baik
15.6-55.4 µg/m <sup>3</sup>	Sedang
55.5-150.4 µg/m <sup>3</sup>	Tidak Sehat
150.5-250.4 µg/m <sup>3</sup>	Sangat Tidak Sehat
>250.5 µg/m <sup>3</sup>	Berbahaya

D. Suhu

Suhu adalah indikator yang menunjukkan seberapa hangat atau dinginnya suatu objek, dan umumnya diukur dengan termometer. Dalam aktivitas sehari-hari, suhu sering kali diperkirakan secara sederhana melalui sentuhan. Namun, seiring dengan kemajuan teknologi, termometer dikembangkan guna memberikan hasil pengukuran suhu yang lebih akurat dan terpercaya [10].

E. Kelembapan

Kelembapan merupakan tingkat kandungan uap air di udara, yang diakibatkan oleh keberadaan kadar air di lingkungan. Kadar uap air terpengaruh oleh suhu. Kondensasi dapat terjadi ketika tekanan uap parsial setara dengan tekanan uap air jenuh. Secara matematis, kelembapan relatif (*Relative Humidity* atau RH) dinyatakan dalam bentuk persentase, yang merupakan perbandingan antara uap air parsial dan tekanan uap air jenuh [10].

F. Mikrokontroler Arduino Uno

Arduino Uno ditunjukkan pada Gambar 1 adalah mikrokontroler yang menggunakan ATmega328. Modul ini memiliki 14 pin digital *input/output*, dengan 6 pin untuk PWM *output* dan 6 pin untuk analog *input*. Selain itu, terdapat *osilator* kristal 16 MHz, koneksi USB, jack daya, header ICSP, dan tombol *reset*. Modul ini dilengkapi dengan semua komponen yang dibutuhkan untuk memprogram mikrokontroler, seperti kabel USB dan catu daya melalui adaptor atau baterai [3].

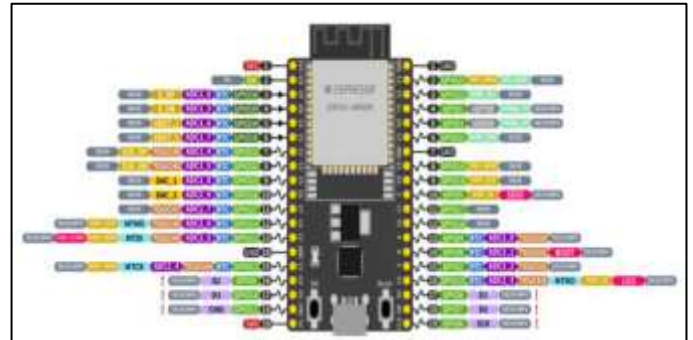


Gambar 1. Board Arduino Uno [11]

G. Mikrokontroler ESP32

Mikrokontroler ESP32 merupakan mikrokontroler yang telah dirancang oleh *Espressif System*, mendukung koneksi *Wi-Fi* dan *Bluetooth*, sehingga sangat sesuai untuk aplikasi IoT. Didesain sebagai perangkat *mobile* yang mudah digunakan. ESP32 juga dilengkapi dengan fitur penghematan daya yang efisiensi, seperti pengaturan *clock* gating yang optimal, mode daya yang beragam, serta penyesuaian daya yang fleksibel,

sehingga memungkinkan konsumsi energi yang sangat rendah [4]. Tata letak dan penjelasan fungsi pin dapat dilihat pada Gambar 2.



Gambar 2. Layout Pin Board Mikrokontroler ESP32 [4]

I). Software Arduino IDE

Software Arduino IDE merupakan perangkat lunak *open-source* yang dipakai untuk menulis, mengompilasi, serta *upload* program ke *board* mikrokontroler. Fitur terminal serial pada *software* ini memungkinkan pengguna untuk melakukan komunikasi UART/RS232 ke komputer. Arduino IDE kompatibel dengan beragam sistem operasi seperti Windows, macOS dan Linux, serta menyediakan beragam pustaka C/C++ yang dapat membantu mempercepat dan mempermudah proses pemrograman [4]. Tampilan *Software* Arduino IDE ditunjukkan pada Gambar 3.



Gambar 3. Software Arduino IDE

H. Sensor MG-811

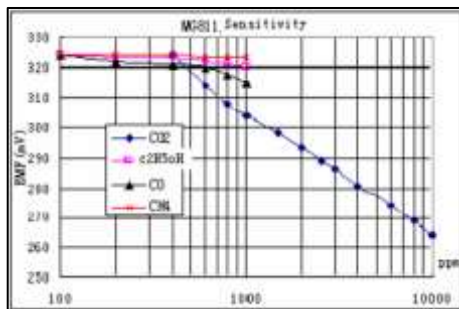
Sensor MG-811 ditunjukkan pada Gambar 4 adalah sensor gas yang dirancang khusus untuk mengukur konsentrasi karbon dioksida (CO<sub>2</sub>) di udara. Sensor ini mampu mendeteksi konsentrasi CO<sub>2</sub> dalam kisaran 350 hingga 10.000 PPM, sehingga ideal untuk aplikasi pemantauan kualitas udara. Sensor ini memiliki enam pin yang terdiri dari dua pin A, dua pin B, dan dua pin pemanas. Di dalamnya terdapat elemen pemanas berbentuk kumparan yang ditempatkan dalam tabung keramik aluminium oksida (Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>) [3].

Struktur *internal* sensor terdiri dari bagian pemanas dan elektrolit padat yang mengandung ion natrium (Na<sup>+</sup>) di antara dua elektroda. Saat terpapar gas CO<sub>2</sub>, terjadi reaksi elektrokimia yang menghasilkan gaya gerak listrik (emf) antara kedua elektroda. Besar emf yang dihasilkan memiliki hubungan

logaritmik terbalik dengan konsentrasi CO<sub>2</sub> yang terdeteksi, sebagaimana ditunjukkan pada Gambar 5.



Gambar 4. Bentuk Fisik dari Sensor MG-811 [3]



Gambar 5. Karakteristik Sensitifitas Sensor MG-811 [3]

I. Sensor SHARP GP2Y1010AU0F

Sensor debu SHARP GP2Y1010AU0F ditunjukkan pada Gambar 6 adalah sensor optik yang digunakan untuk mengukur konsentrasi partikel debu halus di udara, termasuk partikulat PM2.5. Sensor ini bekerja dengan mendeteksi cahaya yang dipantulkan oleh partikel debu menggunakan LED inframerah dan phototransistor sebagai detektor. Udara masuk melalui celah sensor, lalu partikel debu dipantulkan oleh cahaya inframerah dan diterima oleh phototransistor. Sinyal yang dihasilkan diperkuat dan dikeluarkan sebagai tegangan analog melalui pin Vo, di mana besar tegangan berbanding lurus dengan jumlah partikel debu di udara [3].

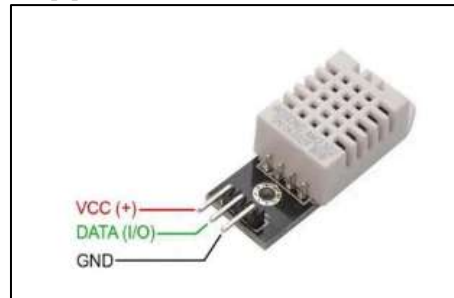


Gambar 6. Tampilan Fisik Sensor SHARP GP2Y1010AU0F [4]

J. Sensor DHT22

Sensor DHT22 ditunjukkan pada Gambar 7 adalah sensor yang digunakan untuk mengukur suhu dan kelembapan. Sensor ini menghasilkan keluaran berupa sinyal digital yang telah diproses oleh mikrokontroler 8-bit internal. DHT22 mampu

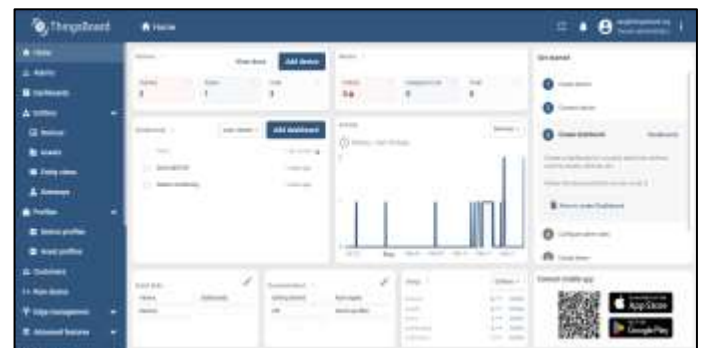
mentransmisikan data hingga jarak 20 meter, sehingga fleksibel untuk pemasangan di berbagai lokasi. Sensor ini memiliki rentang pengukuran kelembapan 0 hingga 100% RH dengan akurasi ±2% RH, serta suhu dari -40°C hingga +80°C dengan akurasi ±0.5°C. Pembaruan data dilakukan secara periodik setiap 2 detik [5].



Gambar 7. Tampilan Fisik Sensor DHT22 [15]

K. ThingsBoard

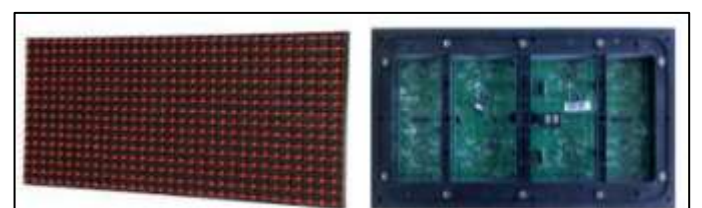
ThingsBoard ditunjukkan pada Gambar 8 adalah platform open-source di bidang Internet of Things (IoT) yang dirancang untuk mendukung pengembangan, pengelolaan, dan skalabilitas sistem IoT secara efisien. Platform ini menyediakan infrastruktur sisi server yang dapat dijalankan melalui layanan cloud maupun lokal, sehingga memungkinkan integrasi dan pengelolaan perangkat IoT secara fleksibel dan terstruktur [6].



Gambar 8. Tampilan Awal ThingsBoard [6]

L. LED dot Matrix P10

Panel LED dot matrix P10 ditunjukkan pada Gambar 9 adalah perangkat tampilan berukuran 16×32 cm yang dirancang untuk menampilkan teks, angka, dan simbol dalam bentuk visual dinamis. Panel ini terdiri dari susunan LED dalam baris dan kolom, serta mendukung efek animasi dan konfigurasi sambungan seri maupun paralel. P10 dapat diberi daya melalui power supply eksternal atau langsung dari Arduino. Umumnya, panel ini digunakan untuk aplikasi teks berjalan dan papan informasi digital [17].



Gambar 9. Bentuk Fisik Tampilan LED dot Matrix P10 [17]

M. AC/DC Switch Mode Power Supply (SMPS)

Konverter AC/DC SMPS ditunjukkan pada Gambar 10 adalah sistem penyedia daya yang menggunakan sakelar elektronik untuk mengatur dan menstabilkan tegangan keluaran. Umumnya digunakan pada rangkaian *power supply* perangkat elektronik. Perangkat ini tersedia dalam berbagai varian daya, salah satunya menghasilkan *output* tegangan sebesar 12V [11].



Gambar 10. Bentuk Fisik AC/DC SMPS 12V 5A [11]

N. Buck Converter

*Buck Converter* adalah perangkat elektronik yang berfungsi untuk menurunkan tegangan listrik DC menjadi tegangan DC yang lebih rendah dari tegangan sumbernya [11]. Bentuk fisik *buck converter* ditunjukkan pada Gambar 11.



Gambar 11. Bentuk Fisik Buck Converter tipe LM2596 [11]

III. METODE PERANCANGAN

A. Waktu dan Lokasi

Waktu dan tempat dalam pelaksanaan perancangan laporan skripsi ini adalah dilaksanakan pada bulan Januari 2025 sampai dengan Juni 2025, dengan tempat pelaksanaan di Laboratorium Mikroprosesor Jurusan Teknik Elektro Politeknik Negeri Samarinda. Pengambilan data lapangan dilakukan di Kelurahan. Singa Gembara, Kecamatan. Sangatta Utara, Kabupaten Kutai Timur, Provinsi. Kalimantan Timur, khususnya di wilayah yang terkena dampak aktivitas pertambangan. Lokasi pengambilan data telah ditetapkan dan diberi tanda, dengan rincian area yang ditampilkan pada Gambar 12 sebagai fokus penelitian.



Gambar 12. Alokasi Tempat Penelitian

B. Jenis Data dan Sumber Data

Pada perancangan penelitian ini, beberapa jenis data yang akan dikumpulkan dan dianalisis yaitu berupa data suhu, kelembapan, konsentrasi gas CO<sub>2</sub>, dan partikel debu. Data tersebut diperoleh secara *real-time* melalui sensor DHT22, MG-811, dan SHARP GP2Y1010AU0F yang terintegrasi dengan perangkat mikrokontroler. Selain itu, sumber data yang digunakan dalam perancangan ini berasal dari jurnal-jurnal ilmiah yang berkaitan dengan pemantauan kualitas udara dan sistem IoT, buku-buku, serta dokumen teknis yang menjelaskan spesifikasi sensor dan perangkat mikrokontroler seperti Arduino Uno dan ESP32. Data tambahan juga diperoleh dari situs web dan instansi resmi seperti Kementerian Lingkungan Hidup dan Kehutanan serta BMKG yang menyediakan informasi terkait standar kualitas udara dan batas emisi.

C. Peralatan dan Material

Dalam merancang bangun sistem *monitoring* kualitas udara berbasis IoT, terdapat berbagai peralatan dan material yang digunakan untuk merancang, membangun, dan menguji sistem tersebut yang disajikan dalam bentuk tabel.

1). Peralatan Kerja yang Digunakan

Berikut adalah TABEL 4 yang menyajikan daftar peralatan yang digunakan untuk membangun alat sistem *monitoring* kualitas udara tersebut hingga selesai.

TABEL 4  
PERALATAN KERJA YANG DIGUNAKAN

No	Alat	Keterangan
1	Laptop	1 unit
2	Tang Kombinasi	1 buah
3	Obeng <i>Plus (+)</i> dan <i>Minus (-)</i>	1 buah
4	Multimeter Digital	1 unit
5	Solder	1 buah
6	Gerinda	1 unit
7	Bor Listrik	1 unit
8	Timah (secukupnya)	-
9	Tang Potong	1 buah
10	Setrika	1 unit
11	Pisau <i>Cutter</i>	1 unit
12	Penggaris	1 buah
13	Amplas	1 buah

2). *Komponen Kontrol*

Berikut adalah TABEL 5 yang menyajikan daftar komponen kontrol yang digunakan untuk mengontrol dan juga *monitoring* parameter kualitas udara.

TABEL 5  
KOMPONEN-KOMPONEN

No	Komponen	Keterangan
1	Arduino Uno	1 unit
2	ESP32	1 unit
3	LED DOT MATRIX P10 16*32 Pixel	1 unit
4	Buck Regulator LM2596	3 unit
5	Sensor MG-811	1 unit
6	Sensor DHT22	1 unit
7	Sensor SHARP GP2Y1010AU0F	1 unit
8	Logic Converter 3.3-5V DC	1 unit
9	AC/DC Switch Mode Power Supply	1 unit
10	Breadboard	1 buah

3). *Material*

Berikut adalah TABEL 6 yang menyajikan daftar material yang digunakan untuk membangun alat sistem *monitoring* kualitas udara tersebut hingga selesai.

TABEL 6  
MATERIAL YANG DIGUNAKAN

No	Material	Keterangan
1	Terminal Blok 2 PIN	5 buah
2	Terminal Blok 3 PIN	4 buah
3	PIN header 2x8	4 buah
4	PIN header 1x6	1 buah
5	PIN header 1x3	2 buah
6	PIN header 1x2	1 buah
7	PIN header 1x19	2 buah
8	Specer 1,5 cm	10 buah
9	Resistor 4.7 kΩ	1 buah
10	Kapasitor 220 uF	1 buah
11	Kabel Jumper (secukupnya)	-
12	Papan PCB polos	2 buah
13	Mika 3mm (secukupnya)	-
14	Saklar ON/OFF 220V AC	1 buah

4). *Perangkat Lunak Pendukung*

Berikut adalah TABEL 7 yang menyajikan daftar perangkat lunak pendukung yang digunakan untuk membangun alat sistem *monitoring* kualitas udara tersebut hingga selesai.

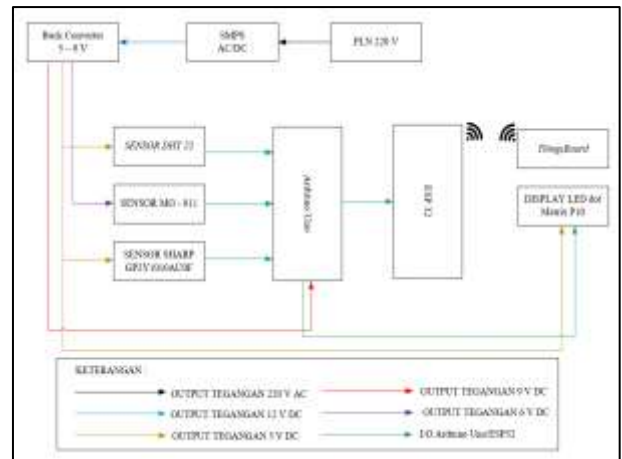
TABEL 7  
PERANGKAT LUNAK PENDUKUNG

No	Software	Keterangan
1	Arduino IDE 2.4.3	Versi 2.3.4
2	Microsoft Visio 2016	Versi 2016 Pro
3	Microsoft Office: [Word, Excel, Powerpoint]	Versi 2021 Office Home Student
4	Autodesk	Versi Fusion 360
5	EasyEda	Online Std Edition

D. *Gambar Umum Sistem*

Diagram sistem yang diusulkan dalam perancangan ini merupakan representasi visual tentang bagaimana sistem *monitoring* kualitas udara akan beroperasi, dengan perangkat mikrokontroler Arduino Uno dan ESP32 sebagai modul utama yang berperan dalam memproses setiap data yang diperoleh dari

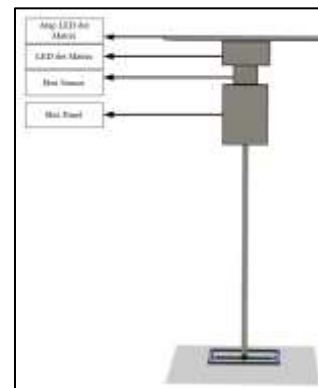
sensor-sensor yang digunakan. Diagram alir dari sistem *monitoring* kualitas udara ditunjukkan pada Gambar 13.



Gambar 13. Diagram Alir dari Sistem Monitoring Kualitas Udara

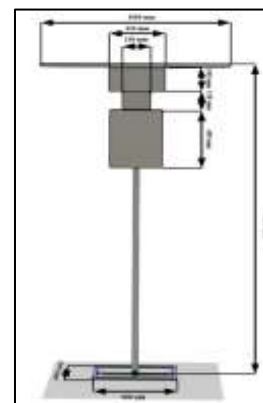
E. *Desain Alat*

Desain dari sistem *monitoring* kualitas udara yang diimplementasikan pada wilayah terdampak aktivitas pertambangan seperti yang ditunjukkan dari Gambar 14 yaitu desain perancangan alat.



Gambar 14. Desain Alat Sistem Monitoring Kualitas Udara

Adapun keterangan konstruksi dari desain perancangan sistem *monitoring* kualitas udara yang ditunjukkan pada Gambar 15.

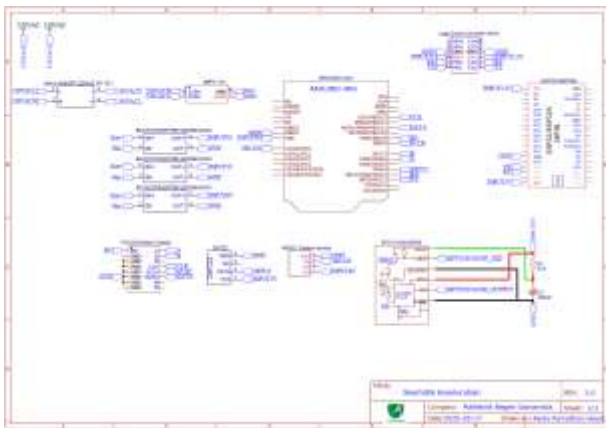


Gambar 15. Keterangan Konstruksi dari Desain Perancangan Sistem Monitoring Kualitas Udara

Pada Gambar 15 menunjukkan bahwa pada perancangan desain ini didasarkan pada ukuran sebenarnya. Material utama tiang yang digunakan adalah pipa galvanis dengan spesifikasi yang tepat dalam desain ini bertujuan untuk mendukung daya tahan pada penerapan di lapangan.

**F. Skematik Keseluruhan**

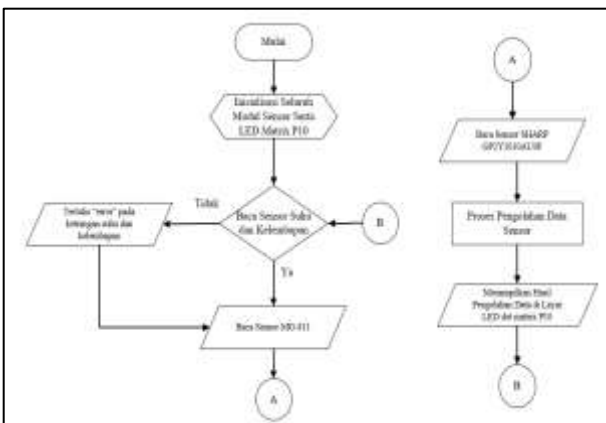
Skematik keseluruhan sistem menggambarkan hubungan antar komponen yang membentuk sistem *monitoring* kualitas udara berbasis IoT. Dalam perancangan ini, mikrokontroler Arduino Uno berfungsi sebagai pusat pengolahan data dari berbagai sensor, sedangkan ESP32 digunakan untuk mengirimkan data ke *platform* ThingsBoard melalui koneksi Wi-Fi. Skematik keseluruhan dapat dilihat pada Gambar 16.



Gambar 16. Skematik Keseluruhan Sistem Monitoring Kualitas Udara

**G. Diagram Pembacaan Sensor**

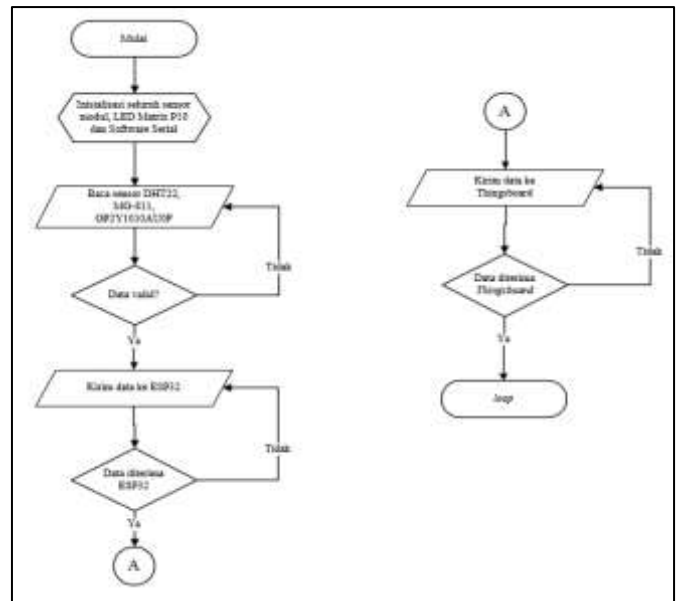
Diagram ini menggambarkan proses kerja program dalam membaca data dari sensor yang digunakan. Diagram alir pembacaan sensor ditunjukkan pada Gambar 17.



Gambar 17. Diagram Alir Pembacaan Sensor

**H. Diagram Pengiriman Data**

Diagram ini menggambarkan proses bagaimana program mengirim data dari parameter yang diukur yakni konsentrasi gas CO<sub>2</sub>, partikel debu, suhu dan kelembapan. Dari parameter tersebut dikirim dan disertai dengan waktu dan tanggal yang mana parameter tersebut akan di analisa dari perubahan waktu. Diagram alir pengiriman data dapat dilihat pada Gambar 18.



Gambar 18. Diagram Alir Pengiriman Data

**IV. HASIL DAN PEMBAHASAN**

**A. Pengujian Konsumsi Daya**

Pengujian konsumsi daya dilakukan untuk mengetahui seberapa besar daya yang digunakan oleh sistem *monitoring* kualitas udara berbasis IoT selama beroperasi. Tujuan dari pengujian ini adalah untuk menilai efisiensi daya sistem secara keseluruhan. Pengujian tersebut seperti yang ditunjukkan pada Gambar 19 yaitu mengukur tegangan dan arus listrik agar dapat menghitung total konsumsi daya sistem.



Gambar 19. Pengukuran Tegangan dan Arus Listrik

TABEL 8  
HASIL PENGUKURAN TEGANGAN DAN ARUS LISTRIK

No	Parameter	Hasil Pengukuran
1	Tegangan	11.52 V
2	Arus	0.884 A
3	Perhitungan Daya	10.18 W

Berdasarkan hasil pengukuran yang ditampilkan pada TABEL 8 diperoleh tegangan sebesar 11.52V dan arus sebesar 0.884A. Hasil ini menunjukkan bahwa total daya yang digunakan oleh sistem *monitoring* adalah sebesar 10.81-Watt

selama proses pengambilan data sensor dan pengiriman ke server berlangsung.

**B. Pengujian LED dot Matrix P10**

Pada tahap pengujian ini, panel LED dot matrix P10 diimplementasikan dalam sistem pemantauan kualitas udara yang dikendalikan menggunakan Arduino Uno. Perangkat ini berfungsi sebagai media antarmuka visual yang menampilkan konsentrasi gas CO<sub>2</sub>, partikel debu, serta suhu dan kelembapan kepada pengguna. Arduino Uno diprogram untuk mengirim data ke LED dot Matrix P10 dan memastikan bahwa tampilan yang dihasilkan memiliki tingkat kecerahan, kejernihan, dan kontras yang memadai. Pengujian ini bertujuan untuk memeriksa keakuratan tampilan data dan update sinkronisasi dengan kondisi lingkungan yang sebenarnya. Salah satu tahapan awal pengujian menampilkan teks sederhana seperti "Hello World" guna memastikan fungsi dasar dari LED dot matrix P10 berjalan dengan baik. Hasil pengujian ditunjukkan pada Gambar 20.



Gambar 20. Hasil Pengujian LED dot Matrix P10

**C. Pengujian Aplikasi Monitoring ThingsBoard**

Pengujian atau pengendalian melalui software thingsboard dilakukan dengan menggunakan perangkat komputer yang terhubung internet untuk mengakses server thingsboard seperti yang ditunjukkan pada Gambar 21. Proses pemantauan melalui thingsboard dapat bekerja dengan baik dengan menampilkan perubahan nilai sesuai dengan hasil pengukuran sensor.



Gambar 21. Tampilan ThingsBoard pada Perangkat Laptop

**D. Pengujian Sensor DHT22**

Pengujian ini bertujuan guna memastikan bahwa data yang ditampilkan benar-benar tepat dan sesuai dengan keadaan lingkungan yang sebenarnya. Oleh karena itu, hasil pengukuran sensor dibandingkan dengan thermometer digital HTC-1 sebagai alat ukur referensi yang telah terkalibrasi. Pengujian sensor tersebut dilakukan di dua kondisi berbeda antara kondisi LAB. Mikroprosesor dan kondisi lingkungan kos penulis. Hasil pengujian sensor dapat dilihat pada Gambar 22 dan

perbandingan nilai pengukuran menggunakan thermometer digital HTC-1 disajikan pada TABEL 9 dan TABEL 10.



Gambar 22. Hasil Pengujian Sensor DHT22 yang dibandingkan dengan Thermometer Digital HTC-1

Berdasarkan dari hasil pengujian menunjukkan bahwa rentang suhu yang diukur dari kondisi Laboratorium Mikroprosesor berada antara 24.5°C hingga 26°C dan rentang nilai dari kelembapan yang diukur dari kondisi Laboratorium. Mikroprosesor berada antara 55% hingga 69%. Sedangkan rentang suhu yang diukur dari kondisi lingkungan kos berada antara 28.5°C hingga 31°C dan rentang nilai kelembapan yang diukur dari kondisi lingkungan kos berada antara 79% hingga 89%. Sensor DHT22 memiliki respon yang relatif konsisten dengan HTC-1 meskipun terdapat perbedaan dalam pembacaan. Rata-rata persentase error sebesar 3.21% untuk suhu dan 8.75% untuk kelembapan pada kondisi Laboratorium Mikroprosesor. Sedangkan pada kondisi lingkungan kos rata-rata persentase error untuk suhu sebesar 6.76% dan untuk kelembapan 8.26%.

TABEL 9  
DATA HASIL PENGUJIAN TEMPERATURE DARI SENSOR DHT22 YANG DIBANDINGKAN DENGAN THERMOMETER DIGITAL HTC-1

No	Waktu Pengujian	LAB.Mikroprosesor		Error (%)
		Sensor DHT22	Sensor Thermometer Digital HTC-1	
		Temperature (°C)	Temperature (°C)	
1	19:08:06	26	25.3	2.77
2	19:10:01	26	25.2	3.17
3	19:12:13	26	25.1	3.53
4	19:14:04	26	25	4
5	19:16:03	26	25	4
Rata-rata Error (%)				3.21
No	Waktu Pengujian	Lingkungan Kos		Error (%)
		Sensor DHT22	Sensor Thermometer Digital HTC-1	
		Temperature (°C)	Temperature (°C)	
1	19:08:06	31	28.5	8.77
2	19:10:01	31	28.7	8.01
3	19:12:13	31	28.9	7.27
4	19:14:04	31	29	6.90
5	19:16:03	31	29.1	6.53
Rata-rata Error (%)				6.76

TABEL 10  
DATA HASIL PENGUJIAN HUMIDITY DARI SENSOR DHT22 YANG DIBANDINGKAN DENGAN THERMOMETER DIGITAL HTC-1

No	Waktu Pengujian	LAB.Mikroprosesor		Error (%)
		Sensor DHT22	Sensor Thermometer Digital HTC-1	
		Humidity (%)	Humidity (%)	Humidity (%)
1	19:08:06	63	69	8.70
2	19:10:01	62	68	8.82
3	19:12:13	61	66	7.58
4	19:14:04	59	65	9.23
5	19:16:03	58	64	9.38
Rata-rata Error (%)				8.74
No	Waktu Pengujian	Lingkungan Kos		Error (%)
		Sensor DHT22	Sensor Thermometer Digital HTC-1	
		Humidity (%)	Humidity (%)	Humidity (%)
1	19:08:06	81	89	8.99
2	19:10:01	81	88	7.95
3	19:12:13	80	88	9.09
4	19:14:04	80	87	8.05
5	19:16:03	80	87	8.05
Rata-rata Error (%)				8.43

E. Pengujian Sensor MG-811

Pengujian ini penting dilakukan untuk mengetahui bagaimana karakteristik sensor dalam mendeteksi perubahan konsentrasi gas CO<sub>2</sub> serta sejauh mana kestabilan dan keakuratannya dalam memberikan data. Oleh karena itu, pengujian ini dilakukan dengan membandingkan data pembacaan sensor MG-811 dengan alat ukur *Air Quality Monitor* yang sudah terkalibrasi sebagai acuan nilai referensi. Seperti yang ditunjukkan pada Gambar 23 dan Dari hasil pengujian tersebut menunjukkan konsentrasi gas CO<sub>2</sub> berada pada rentang 651 hingga 866 PPM. Sedangkan, pengujian konsentrasi gas CO<sub>2</sub> yang dilakukan pada lingkungan kos penulis menunjukkan nilai konsentrasi gas CO<sub>2</sub> berada pada rentang 827 hingga 1370 PPM. Rata-rata persentase error antara pembacaan sensor MG-811 dan alat ukur *Air Quality Monitor* adalah sebesar 6.09%. Nilai error ini menunjukkan bahwa sensor MG-811 memiliki tingkat akurasi yang cukup baik dan dapat diandalkan untuk mengukur konsentrasi gas CO<sub>2</sub> setelah dilakukan proses kalibrasi.

TABEL 11.



Gambar 23. Pengujian Sensor Konsentrasi Gas CO<sub>2</sub>

Dari hasil pengujian tersebut menunjukkan konsentrasi gas CO<sub>2</sub> berada pada rentang 651 hingga 866 PPM. Sedangkan, pengujian konsentrasi gas CO<sub>2</sub> yang dilakukan pada lingkungan kos penulis menunjukkan nilai konsentrasi gas CO<sub>2</sub> berada pada rentang 827 hingga 1370 PPM. Rata-rata persentase error antara pembacaan sensor MG-811 dan alat ukur *Air Quality Monitor* adalah sebesar 6.09%. Nilai error ini menunjukkan bahwa sensor MG-811 memiliki tingkat akurasi yang cukup baik dan dapat diandalkan untuk mengukur konsentrasi gas CO<sub>2</sub> setelah dilakukan proses kalibrasi.

TABEL 11  
DATA HASIL PENGUJIAN DARI SENSOR MG-811 YANG DIBANDINGKAN DENGAN ALAT UKUR AIR QUALITY MONITOR

No	Sensor MG-811 (PPM)	Alat ukur Air Quality Monitor (PPM)	Error (%)
1	818	827	1.11
2	786	827	4.96
3	800	866	7.57
4	786	789	0.39
5	786	734	7.08
6	775	772	0.37
7	775	734	5.57
8	775	728	6.44
9	786	673	16.78
10	775	651	19.03
11	786	827	4.96
12	786	833	5.65
13	775	827	6.30
14	775	827	6.30
15	765	827	7.49
16	1373	1370	0.19
17	1270	1289	1.48
18	1098	1152	4.71
19	775	827	6.27
20	1027	942	9.05
Rata-rata Error (%)			6.09

F. Pengujian Sensor SHARP GP2Y1010AU0F

Pengujian ini penting dilakukan untuk mengetahui bagaimana karakteristik sensor dalam mendeteksi perubahan partikel debu serta sejauh mana kestabilan dan keakuratannya dalam memberikan data. Oleh karena itu, pengujian ini dilakukan dengan membandingkan data pembacaan sensor GP2Y1010AU0F dengan alat ukur *Air Quality Monitor* yang sudah terkalibrasi sebagai acuan nilai referensi. Seperti yang ditunjukkan pada Gambar 24 dan TABEL 12.



Gambar 24. Pengujian Sensor Partikel Debu

Dari hasil pengujian tersebut menunjukkan nilai partikel debu berada pada rentang 256 hingga 335  $\mu\text{g}/\text{m}^3$ . Sedangkan, nilai partikel debu yang dilakukan pada lingkungan kos penulis berada pada rentang 10 hingga 35  $\mu\text{g}/\text{m}^3$ . Dari data tersebut terlihat bahwa sebagian besar nilai sensor menunjukkan *error* cukup baik berada pada rentang 0.25 hingga 2.59%. Rata-rata *error* yang dihitung dari seluruh data adalah sebesar 0.90% menunjukkan bahwa sensor mampu mendeteksi tren perubahan konsentrasi partikel debu, meskipun masih terdapat selisih nilai pada beberapa kondisi.

TABEL 12

DATA HASIL PENGUJIAN DARI SENSOR SHARP GP2Y1010AU0F YANG DIBANDINGKAN DENGAN ALAT UKUR AIR QUALITY MONITOR

No	Sensor GP2Y1010AU0F ( $\mu\text{g}/\text{m}^3$ )	Alat ukur Air Quality Monitor ( $\mu\text{g}/\text{m}^3$ )	Error (%)
1	335	332	0.90
2	292	290	0.58
3	196	197	0.65
4	134	135	0.87
5	239	240	0.39
6	310	309	0.40
7	196	197	0.65
8	174	172	1.20
9	159	157	1.01
10	193	194	0.71
11	26	26	1.92
12	35	35	0.61
13	13	13	0.92
14	35	35	0.61
15	53	53	0.67
16	72	71	1.30
17	63	62	1.03
18	10	10	0.25
19	22	23	2.59
20	56	56	0.80
Rata-rata Error (%)			0.90

G. Pengujian Sistem Keseluruhan

Selama proses pengujian secara keseluruhan tersebut, menunjukkan bahwa pengujian sistem *monitoring* ini telah berhasil diimplementasikan dengan baik. Sistem mampu menyajikan informasi kondisi udara secara *real-time* berdasarkan data yang diterima dari sensor-sensor yang terpasang, yang kemudian ditampilkan melalui *dashboard*, seperti yang ditunjukkan pada Gambar 25 dan Gambar 26. Adapun, data sistem *monitoring* kualitas udara yang dapat dilihat pada TABEL 13.



Gambar 25. Data Hasil Pengukuran Sistem Monitoring



Gambar 26. Tampilan Dashboard Sistem Monitoring

TABEL 13  
DATA HASIL MONITORING KUALITAS UDARA

No	Waktu Pengujian	CO <sub>2</sub> (PPM)	Partikel Debu ( $\mu\text{g}/\text{m}^3$ )	Kelembapan (%)
1	06:02:30	1270	47	93
2	07:02:30	1027	40	86
3	08:02:30	809	37	79
4	09:02:30	809	48	70
5	10:02:30	789	35	61
6	11:02:30	775	36	66
7	12:02:30	765	35	64
8	13:02:30	768	47	76
9	14:02:30	775	61	89
10	15:12:30	775	61	76
11	16:02:30	775	37	92
12	17:02:30	775	35	83
13	18:02:30	775	39	89
14	19:02:30	768	35	93
15	20:02:30	768	29	93
16	21:02:30	775	36	92
17	22:02:30	775	38	90
18	23:02:30	786	42	89
19	00:02:30	786	35	94
20	01:02:30	786	36	97
21	02:02:30	800	36	99
22	03:02:30	800	29	97
23	04:02:30	818	47	96
24	05:02:30	838	33	95

Berdasarkan data hasil *monitoring* kualitas udara yang ditunjukkan pada tabel 13 sistem *monitoring* menunjukkan kinerja yang baik dalam merekam parameter udara secara *real-*

*time*. Konsentrasi gas CO<sub>2</sub> terpantau cukup tinggi tercatat pada pukul 06:02:30 sebesar 1270 PPM, kemudian secara bertahap terjadi penurunan cukup stabil dengan konsentrasi gas CO<sub>2</sub> berada di kisaran 766 hingga 838 PPM sepanjang rentang waktu 12:02:30 hingga 05:02:30 keesokan harinya. Meskipun angka ini masih tergolong tinggi dibandingkan dengan ambang batas konsentrasi gas CO<sub>2</sub> di udara yang umumnya berada di bawah 450 PPM, fluktuasi ini kemungkinan dipengaruhi oleh aktivitas di sekitar lokasi pengujian, serta kondisi lingkungan pada waktu-waktu tertentu yang dimana sirkulasi udara masih terbatas. Seiring meningkatnya intensitas cahaya matahari, konsentrasi gas CO<sub>2</sub> mengalami penurunan signifikan, mencerminkan perubahan alami lingkungan yang mulai seimbang seiring berjalannya waktu dan meningkatnya sirkulasi udara.

Sedangkan, konsentrasi partikel debu selama pengamatan berada pada rentang 39 hingga 61 µg/m<sup>3</sup>, dengan nilai tertinggi tercatat pada pukul 14:02:30 dan 15:12:30. Meskipun demikian, keseluruhan nilai konsentrasi partikel debu masih berada dalam ambang batas aman berdasarkan standar kualitas udara. Tidak terdapat perubahan signifikan yang mengindikasikan adanya gangguan besar dari aktivitas lingkungan sekitar selama pengujian.

Sementara itu, kelembapan udara menunjukkan penurunan konsisten dari 93% yang tercatat pada pukul 06:02:30 menjadi 61 hingga 76% pada siang hari, sebelum kembali meningkat pada malam hari, mencapai 99% tercatat pada pukul 02:02:30. Seiring dengan kenaikan suhu dari 26°C menjadi 37°C yang tercatat pada pukul 10:02:30 dan 12:02:30. Setelah itu, suhu menurun secara bertahap kembali pada rentang 26°C hingga 28°C pada malam dan dini hari. Perubahan ini mencerminkan karakteristik iklim tropis, di mana kelembapan tinggi pada dini hari akibat kondensasi embun secara bertahap berkurang karena peningkatan suhu dan penguapan menuju siang hari dan kembali menurun menjelang malam hari.

Secara keseluruhan, data yang ditampilkan menunjukkan bahwa sistem *monitoring* mampu merekam dan menyajikan informasi yang sesuai dengan kondisi udara lingkungan sekitar. Sistem *monitoring* ini telah mampu mendeteksi dan merekam perubahan parameter udara secara *real-time*, serta mencerminkan kondisi lingkungan harian yang wajar di lokasi pengujian.

## V. KESIMPULAN DAN SARAN

### A. Kesimpulan

Berdasarkan hasil penelitian yang telah dilakukan terdapat beberapa kesimpulan yang dapat diambil sebagai berikut:

- 1) Sistem *monitoring* kualitas udara berbasis IoT berhasil dirancang dan dibangun untuk digunakan di wilayah yang terdampak oleh aktivitas pertambangan kota Sangatta. Sistem ini menggunakan sensor MG-811, DHT22, dan SHARP GP2Y1010AU0F yang terintegrasi dengan mikrokontroler Arduino Uno dan ESP32.
- 2) Hasil pengujian mengungkapkan bahwa sistem ini mampu mengukur serta menampilkan parameter

kualitas udara seperti konsentrasi gas CO<sub>2</sub>, suhu, kelembapan dan partikel debu secara *real-time* pada LED dot matrix P10 dan aplikasi thingsboard.

- 3) Terdapat fluktuasi konsentrasi gas CO<sub>2</sub> yang cenderung tinggi berada pada 1271 PPM di pagi hari dan menurun seiring dengan meningkatnya intensitas cahaya matahari.
- 4) Konsentrasi partikel debu berada pada rentang nilai 39 hingga 61 µg/m<sup>3</sup> sehingga nilai tersebut masih berada dalam nilai ambang batas yang masih aman yaitu kurang dari 250 µg/m<sup>3</sup>, tanpa adanya lonjakan yang signifikan selama periode pengujian.
- 5) Suhu dan kelembapan menunjukkan kondisi lingkungan beriklim tropis dengan tingkat kelembapan yang cenderung tinggi yaitu berada pada 93% pada saat pagi hari, kemudian mengalami penurunan saat siang hingga berada pada 61%, dan kembali meningkat menjelang malam yaitu 89%. Sedangkan suhu berada pada 26°C di pagi hari, kemudian mengalami peningkatan mencapai 37°C pada siang hari dan kembali menurun pada malam hari yaitu berada pada 26°C.

### B. Saran

Beberapa saran yang dapat dijadikan pertimbangan untuk pengembangan penelitian selanjutnya adalah sebagai berikut:

- 1) Memanfaatkan panel surya sebagai sumber tegangan
- 2) Menambahkan sensor untuk mengukur parameter lain
- 3) Sistem diperluas ke lebih banyak titik pengukuran

## REFERENSI

- [1] Lusantono dan W. Oktarian, "Estimasi Dampak Kegiatan Pertambangan Granit di Provinsi Kepulauan Riau Terhadap Komponen Lingkungan Udara dan Kebisingan," *Jurnal Teknologi Pertambangan*, vol. 8, no.1, pp. 71–74, 2022.
- [2] B. P. Pratiwi, A. S. Handayani dan Sarjana, "Pengukuran Kinerja Sistem Kualitas Udara Dengan Teknologi WSN Menggunakan Confusion Matrix," *Jurnal Informatika Upgris*, vol. 6, no. 2, 2020.
- [3] E. Nebath, D. Pang dan J. O. Wuwung, "Rancang Bangun Alat Pengukur Gas Berbahaya CO dan CO<sub>2</sub> di Lingkungan Industri," *Jurnal Teknik Elektro dan Komputer*, vol. 3, no. 4, 2014.
- [4] T. U. Syamsuri, R. N. Amalia, Mudjiono dan A. Imron, "Rancang Bangun Alat Monitoring Daya Listrik di Asrama Berbasis Web Menggunakan ESP32," *Jurnal Sistem Kelistrikan*, vol. 9, no.3, 2022.
- [5] W. S. U. Sari, G. Priyandoko dan D. U. Effendy, "Rancang Bangun Sistem Monitoring Kualitas Udara Pada Ruang Isolasi COVID-19 Berbasis Android Menggunakan Sensor SHARP GP2Y1010AU0F," *JASEE Journal of Application and Science on Electrical Engineering*, vol. 3, no.2, 2022.
- [6] M. U. Zafira, K. Ghozal dan I. A. Sabilla, "Rancangan Bangun1 Prototype Monitoring Kualitas Udara dalam Ruang," *Jurnal Teknik Its*, vol. 11, no. 2, 2022.
- [7] D. Chaniago, A. Zahara dan I. S. Ramadhani, "Direktorat Pengendalian Pencemaran Udara, Direktorat Jenderal Pengendalian Pencemaran dan Kerusakan Lingkungan." Kementerian Lingkungan Hidup dan Kehutanan, September 2020. [Online]. Available: <https://ditppu.menlhk.go.id/portal/read/indeks-standar-pencemar-udara-ispu-sebagai-informasi-mutu-udara-ambien-di-indonesia>. [Accessed 17 Oktober 2024].
- [8] A. Daerobi, A. Multi and M. R. Siregar, "Rancang Bangun Sistem Pemantauan dan Pengendali Kualitas Udara pada Aplikasi Welding

- Habitat Proses Welding Pipeline Sistem dengan Data Logger,” *SAINSTECH Jurnal Penelitian dan Pengkajian Sains dan Teknologi*, vol. 3, no. 33, 2023.
- [9] BMKG, “Info BMKG - Cuaca, Iklim, dan Gempa bumi Indonesia,” [Online]. Available: <https://www.bmkg.go.id/kualitas-udara/informasi-partikulat-pm25.bmkg..> [Accessed 17 Oktober 2024].
- [10] I. K. Mahardika, S. Bektiarso, R. A. Santoso, A. Novit, R. B. Saiylendra dan R. K. Dewi, “Analisis Peran Suhu pada Pertumbuhan dan Perkembangan Tanaman Stroberi,” *Jurnal Fisika dan Pembelajarannya (PHYDAGOGIC)*, vol. 5, 2023.
- [11] R. Setyawan, P. Murdiyat dan M. A. Putra, “Rancang Bangun Robot Delta Berbasis Arduino Uno,” *Jurnal PoliGrid*, vol. 04, no.04, 2023.
- [12] E. Systems, “www.espressif.com,” 2025. [Online]. Available: [https://www.espressif.com/sites/default/files/documentation/esp32-wroom-32\\_datasheet\\_en.pdf](https://www.espressif.com/sites/default/files/documentation/esp32-wroom-32_datasheet_en.pdf). [Accessed 23 Mei 2025].
- [13] L. HANWEI ELECTRONICS CO., “MG811 Datasheet,” ALLDATASHEET.COM.
- [14] F. Ardiansyah, Misbah dan P. P. S. S., “Sistem Monitoring Debu dan Karbon Monoksida pada Lingkungan Kerja BOILER di PT. KARUNIA ALAM SEGAR,” *IKRAITH – Teknologi*, vol. 2, no.3, 2018.
- [15] A. Syafi'i, A. H. Kurniawan dan Rusda, “Rancang Bangun Alat Penyiram Tanaman Otomatis Berbasis ESP32 di Desa Purwajaya,” *Jurnal PoliGrid*, vol. 2, no. 5, 2024.
- [16] Siswanto, W. Gata dan R. Tanjung, “Kendali Ruang Server Menggunakan Sensor Suhu DHT 22, Gerak Pir dengan Notifikasi Email,” *Prosiding Seminar Nasional Sisfotek (Sistem Informasi dan Teknologi Informasi)*, vol. 1, no.1, pp. 134 - 142, 2017.
- [17] M. Yuhanas, C. F. Hadi dan R. F. Lestari, “Rancang Bangun Running Text Menggunakan Modul LED Matrix P10 Berbasis Arduino Uno di Fakultas Teknik Universitas PGRI Banyuwangi,” *Journal Zetroem*, vol. 3, no. 2, 2021.
- [18] E. Electronics, “P10 LED PANEL 32x16 PIXELS,” Digital Wizard, 2019.
- [19] P. K. Sp,j, “PS-601250 PS12V/5A Enclosed Switch Mode Power Supply,” Pulsar, Poland, 2014.
- [20] O. Semiconductor, “LM2596 3.0 A, Step-Down Switching Regulator,” Semiconductor Components Industries, LLC, 2008.
- [21] I. Budiman, S. Saori, R. N. Anwar, Fitriani dan M. Yuga, “Analisis Pengendalian Mutu di Bidang Industri Makanan (Studi Kasus: UMKM Mochi Kaswari Lampion Kota Sukabumi),” *JIP : Jurnal Inovasi Penelitian*, vol. 1, no.10, 2021.