

III. METODOLOGI PENELITIAN

3.1 Waktu dan Tempat Penelitian

Penelitian ini telah dilakukan pada bulan Desember 2024 – Agustus 2025 Bertempat di laboratorium instrumen dan tugas akhir fakultas Sains dan Teknologi Universitas Jambi.

3.2 Alat dan Bahan

Adapun alat dan bahan yang diperlukan untuk keperluan kegiatan penelitian yang dilakukan, pemilihan alat dan bahan dilandasi dari informasi pada literatur dan tinjauan Pustaka, berikut alat dan bahan penelitian yang dapat dilihat pada tabel 4.

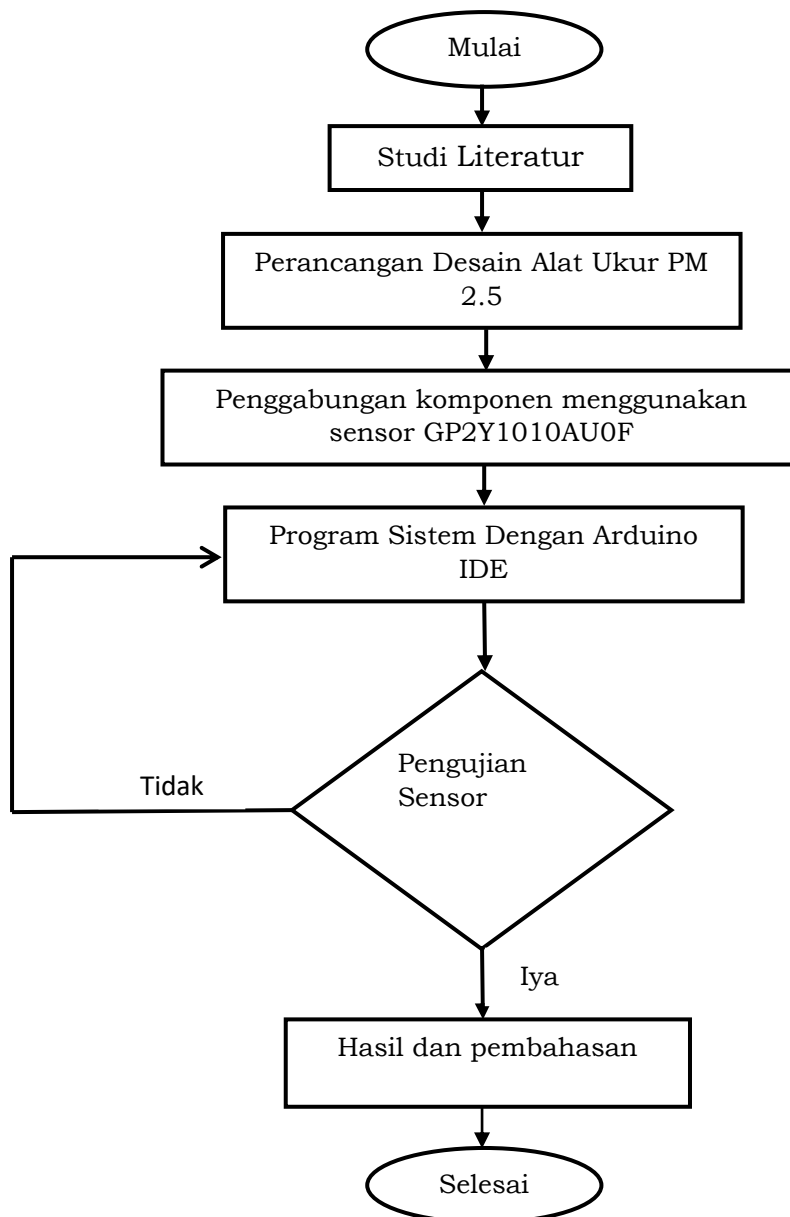
Tabel 1. Alat dan bahan yang digunakan dalam penelitian

Alat dan bahan	Fungsi
Kabel Jumper	penghubung antar komponen elektronik
Breadboard	Tempat menyusun rangkaian elektronik
Arduino uno	Mengendalikan perangkat elektronik
ESP32	Koneksi Internet & IoT
Sensor GP2Y1010AU0F	Mendeteksi konsentrasi partikel debu
RTC DS3231	Menyimpan dan menjaga waktu
LCD 16 × 2	Menampilkan Data Sensor
Baterai	Sumber daya listrik
Kipas 12 volt	Sirkulasi udara
Multimeter	Menguji Kontinuitas

Dari Tabel 4 menunjukkan alat dan bahan yang digunakan dalam penelitian ini yang telah disesuaikan dengan spesifikasi dan referensi literatur. Alat-alat yang tercantum dalam tabel mendukung kegiatan perancangan, sementara bahan-bahan memberikan gambaran tentang komponen yang diperlukan untuk membangun alat ukur *Particulate Matter* (PM) 2.5 menggunakan sensor GP2Y1010AU0F.

3.3 Metode Penelitian

Penelitian ini menggunakan metode eksperimen, yang bertujuan untuk menguji kinerja alat pemantauan kualitas udara berbasis sensor GP2Y1010AU0F. Metode eksperimen dipilih karena penelitian ini berfokus pada pengujian akurasi pembacaan sensor dengan melakukan serangkaian percobaan terkontrol. Pengujian dilakukan terhadap konsentrasi *Particulate Matter* (PM) 2.5 dengan variasi kondisi tertentu, seperti sirkulasi udara buatan dan distribusi partikel, sehingga dapat diketahui sejauh mana sensor mampu memberikan hasil pengukuran yang tepat dan konsisten.

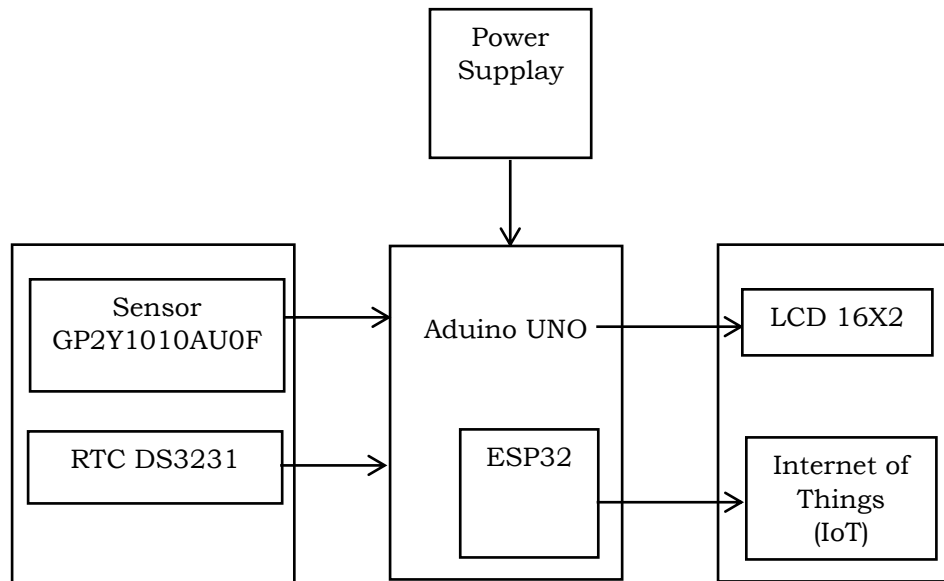


Gambar 1. Diagram alir

Perancangan Sistem Alat Ukur *Particulate Matter* (PM) 2.5

Perancangan sistem alat ukur *Particulate Matter* (PM) 2.5 adalah langkah awal dalam merancang dan membuat sistem yang dapat mengukur konsentrasi partikel PM 2.5 di udara. Perancangan ini dijelaskan melalui blok diagram sistem, yang memberikan gambaran visual tentang komponen utama, proses pengukuran, serta hubungan kerja antar komponen dalam sistem.

Pada perangkat keras, alat ukur *Particulate Matter* (PM) 2.5 terdiri dari perancangan dan perakitan komponen elektronik. Proses perakitan ini melibatkan pemasangan komponen sesuai dengan desain rangkaian yang telah dibuat. Struktur blok diagram memberikan pemahaman yang jelas mengenai komponen-komponen utama, proses pengukuran partikel *Particulate Matter* (PM) 2.5, serta cara kerja setiap komponen dalam menghasilkan data akurat mengenai konsentrasi *Particulate Matter* (PM) 2.5 di udara.



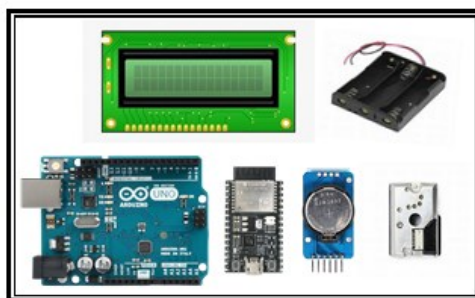
Gambar 2. Blok diagram

Pada gambar 3 memberikan gambaran sistem kontrol alat secara keseluruhan, yang terdiri dari beberapa komponen masukan dan keluaran dengan *power supply* sebagai sumber daya utama. *Power supply* ini menyediakan tegangan yang diperlukan untuk menjalankan sistem. Masukan (*input*) dalam sistem berasal dari sensor GP2Y1010AU0F, yang digunakan untuk mengukur konsentrasi partikel *Particulate Matter* (PM) 2.5, serta RTC DS3231 yang berfungsi mencatat waktu pengukuran secara *real-time*. Mikrokontroler yang digunakan adalah Arduino Uno, yang bertugas mengolah data dari sensor dan menampilkannya pada LCD sebagai keluaran (*output*) langsung. Selain itu, sistem juga dilengkapi dengan ESP32 sebagai modul WiFi, yang berfungsi mengirimkan data hasil pemantauan ke platform *ThingSpeak*, sehingga data dapat diakses melalui handphone atau komputer secara *real-time* sebagai bagian dari implementasi *Internet of Things* (IoT)

Desain Alat

Desain alat pengukur *Particulate Matter* (PM) 2.5 berbasis sensor GP2Y1010AU0F dan Arduino uno dirancang untuk memantau konsentrasi partikulat di udara secara *real-time*. Alat ini terdiri dari beberapa komponen

utama, yaitu sensor GP2Y1010AU0F sebagai pendeteksi partikulat menggunakan prinsip optik *scattering*, Arduino UNO sebagai mikrokontroler untuk pengolahan data sensor dan ESP32 sebagai modul komunikasi *Internet of Things* (IoT) sebagai output lokal untuk menampilkan hasil pengukuran. Selain itu, alat ini dilengkapi dengan *power supply* berupa adaptor, serta komponen pendukung seperti resistor, kapasitor, dan kabel konektor.

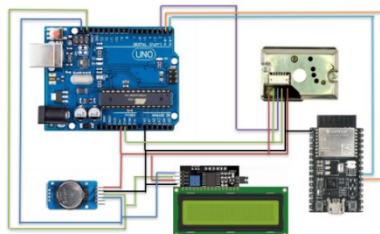


(Sumber: Ardiansyah, 2013., Ruslianto, 2023., Suryanto, 2019., Kurniawan, 2021., Darwis, 2021)

Gambar 3. Desain alat

Pada gambar 4 merupakan desain alat, dimana permukaannya terbuat dari akrilik dan terdiri dari Node MCU ESP32, sensor GP2Y1010AU0F, RTC DS3231, Arduinu uno LCD 16x2 dan *Holder Baterai*. Dalam penggunaannya, data analog dari sensor dibaca oleh Arduino uno melalui pin ADC (*Analog-to-Digital Converter*), kemudian dikonversi menjadi konsentrasi PM 2.5 dalam satuan $\mu\text{g}/\text{m}^3$. Hasil pengolahan data ini ditampilkan secara lokal melalui layar dan dikirimkan ke server *Internet of Things* (IoT) melalui modul Wi-Fi untuk pemantauan jarak jauh. Desain fisik alat dibuat kompak dan ringan dengan casing berbahan plastik yang dilengkapi ventilasi udara untuk memastikan udara masuk ke sensor secara optimal. Selain itu, alat ini memiliki antarmuka berupa tombol reset dan kalibrasi untuk kemudahan penggunaan.

Rangkaian Elektronika Sistem



(Sumber: Ardiansyah, 2013., Ruslianto, 2023., Suryanto, 2019., Kurniawan, 2021., Darwis, 2021)

Gambar 4. Skematik rangkaian

Pada gambar 5, dirancang suatu rangkaian elektronika berbasis NodeMCU ESP32 yang berfungsi sebagai sistem pemantauan konsentrasi *Particulate Matter* (PM) 2.5 dalam ruangan. Rangkaian ini terdiri dari mikrokontroler NodeMCU ESP32 yang dihubungkan dengan sensor GP2Y1010AU0F, sensor optik yang digunakan untuk mengukur konsentrasi partikel *Particulate Matter* (PM) 2.5 di udara. Mikrokontroler berperan sebagai pusat pengendali yang membaca data dari sensor dan mengolahnya untuk dikirimkan ke platform IoT atau ditampilkan pada perangkat lain.

Prosedur Penelitian

Proses pemasangan rangkaian alat pengukur *Particulate Matter* (PM) 2.5 berbasis sensor GP2Y1010AU0F dimulai dengan menyiapkan semua komponen utama, termasuk sensor, Arduino UNO, NodeMCU ESP32, RTC DS3231, LCD, resistor, kapasitor, *breadboard*, dan kabel *jumper*. Setelah memastikan kondisi komponen dalam keadaan baik, diagram rangkaian dirancang untuk menghubungkan sensor ke mikrokontroler. Sensor GP2Y1010AU0F dihubungkan ke pin ADC Arduino UNO untuk membaca data analog, sementara pin daya dihubungkan ke VCC dan GND untuk suplai listrik.

Rangkaian kemudian dirakit pada *breadboard* atau PCB dengan memperhatikan urutan dan kestabilan koneksi. Arduino UNO diprogram menggunakan Arduino IDE untuk membaca data dari sensor dan mengolahnya menjadi konsentrasi *Particulate Matter* (PM) 2.5 dalam satuan $\mu\text{g}/\text{m}^3$. Setelah rangkaian selesai dirakit, dilakukan pengujian awal untuk memastikan semua komponen bekerja dengan baik, termasuk pembacaan data sensor yang ditampilkan di layar atau serial monitor. Untuk memastikan akurasi, hasil pengukuran dibandingkan dengan alat referensi atau metode kalibrasi lainnya. Seluruh proses pemasangan didokumentasikan dengan baik, termasuk diagram rangkaian, foto alat yang telah dirakit, serta hasil pengujian awal untuk mendukung validitas dan keberlanjutan penelitian.

Variabel

Dalam penelitian ini, terdapat dua variabel utama yang berperan, yaitu variabel bebas dan variabel terikat. Variabel bebas dalam penelitian ini adalah waktu, yang mencakup waktu pengambilan data pada berbagai interval selama periode tertentu. Waktu dipilih sebagai variabel bebas karena konsentrasi partikel *Particulate Matter* (PM) 2.5 dalam ruangan dapat berubah seiring waktu, tergantung pada aktivitas di dalam ruangan, ventilasi, dan kondisi lingkungan lainnya.

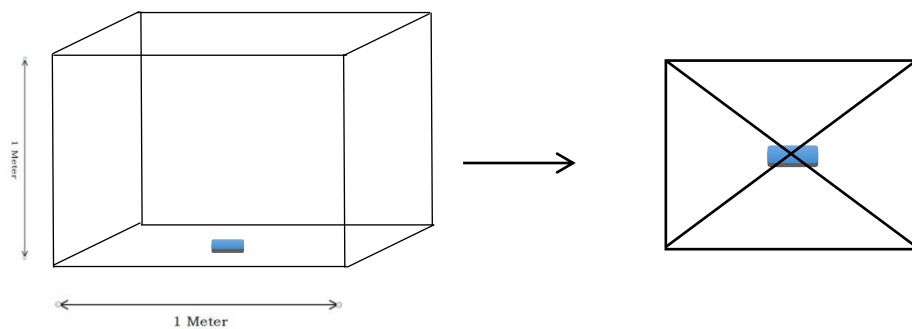
Sementara itu, variabel terikat dalam penelitian ini adalah konsentrasi partikulat *Particulate Matter* (PM) 2.5. Konsentrasi *Particulate Matter* (PM) 2.5

merupakan nilai yang diukur oleh sensor GP2Y1010AU0F, dan hasil pengukurannya bergantung pada perubahan waktu serta kondisi lingkungan selama pengambilan data. Konsentrasi *Particulate Matter* (PM) 2.5 adalah parameter utama yang diamati untuk menentukan seberapa besar polusi partikel halus yang ada di udara dalam ruangan pada berbagai waktu. Pengaruh dari variabel bebas, yaitu waktu, diharapkan akan memengaruhi variasi dari hasil pengukuran partikulat sebagai variabel terikat.

Teknik pengambilan data

Pengambilan data dilakukan setiap 30 menit dan 5 menit sekali untuk mendapatkan gambaran konsentrasi *Particulate Matter* (PM) 2.5 di dalam ruangan tertutup berukuran (100 x 100 x 100) cm, menggunakan alat pengukur berbasis sensor GP2Y1010AU0F. Proses dimulai dengan persiapan alat dan lingkungan pengukuran, memastikan alat telah terkalibrasi dan berfungsi dengan baik. Sensor dipasang pada posisi tetap di dalam ruangan untuk menjaga konsistensi pengukuran. Ruangan diisolasi dari sumber polusi eksternal, seperti ventilasi atau celah udara, untuk memastikan konsentrasi *Particulate Matter* (PM) 2.5 yang terukur hanya berasal dari aktivitas di dalam ruangan.

Pengukuran dilakukan secara periodik setiap 30 menit dan 5 menit selama 7 jam, menggunakan alat dalam konfigurasi dengan filter dan tanpa filter secara bergantian dan menggunakan penghisap serta tidak menggunakan penghisap di bagian atas alat. Data yang dihasilkan dari kedua konfigurasi ini disimpan dan dibandingkan dengan hasil pengukuran dari alat referensi standar. Data yang terkumpul kemudian dianalisis untuk mengevaluasi perbedaan kinerja alat dengan kipas dan tanpa kipas, serta untuk memvalidasi hasil terhadap alat referensi. Pendekatan ini memberikan pemahaman mendalam tentang efektivitas filter dalam meningkatkan akurasi pengukuran *Particulate Matter* (PM) 2.5 selama periode waktu yang panjang.



Gambar 5. Letak instrumen pengambilan data

3.4 Pengujian Sistem dan Analisis Data

Metode analisis yang digunakan dalam penelitian ini adalah metode kuantitatif, di mana metode ini berperan dalam pengolahan data kuantitatif untuk setiap analisis hasil pemantauan. Proses analisis menggunakan data yang diperoleh dari pembacaan sensor, yang kemudian diterima oleh mikrokontroler dan dikirim ke *Thingspek*. Tujuan utama dari kegiatan analisis ini adalah untuk mengevaluasi kinerja sistem pemantauan yang telah dibangun. Melalui analisis kuantitatif, hasil pemantauan diolah untuk menilai efektivitas alat dalam mendeteksi perubahan kualitas udara dalam ruangan. Tahapan dalam metode analisis data ini meliputi pengumpulan data, pengolahan data melalui mikrokontroler, dan evaluasi berdasarkan hasil yang ditampilkan di web server sebagai langkah akhir untuk meningkatkan kinerja sistem yang telah dirancang.

Analisis data

Data yang diperoleh dari alat pengukur *Particulate Matter* (PM) 2.5 berbasis sensor GP2Y1010AU0F dianalisis melalui beberapa langkah untuk memastikan keakuratan dan keandalan alat yang dirancang. Langkah pertama adalah pengumpulan data, di mana pengukuran dilakukan pada interval waktu tertentu dengan mencatat hasil pembacaan sensor pada berbagai kondisi lingkungan dalam ruangan. Data pembanding dari alat referensi standar juga dikumpulkan sebagai acuan validasi. Selanjutnya, data mentah diperiksa untuk mengidentifikasi data yang tidak valid atau *outlier*. Proses ini dikenal sebagai pembersihan data (*data cleaning*) yang memastikan data siap untuk dianalisis lebih lanjut.

Tahap berikutnya adalah pengolahan data, di mana tegangan keluaran sensor dikonversi menjadi konsentrasi partikulat dalam satuan $\mu\text{g}/\text{m}^3$ menggunakan persamaan kalibrasi yang sesuai. Data ini kemudian dikelompokkan berdasarkan waktu pengambilan untuk mengamati tren temporal dan variasi konsentrasi *Particulate Matter* (PM) 2.5. Analisis dilanjutkan dengan mengevaluasi akurasi dan presisi sensor dengan membandingkan hasil pengukuran dengan data dari alat referensi standar. Akurasi merujuk pada tingkat kesamaan atau kedekatan hasil pengukuran terhadap nilai sebenarnya (*true value* atau *correct result*). Akurasi yang rendah biasanya terjadi karena adanya penyimpangan signifikan (*bias*) yang disebabkan oleh kesalahan sistematis dalam proses pengukuran. Adapun persamaan rumus akurasi sebagai berikut:

$$\text{Error} = \left| \frac{x-y}{x} \right| \times 100\% \quad (1)$$

$$\text{Akurasi} = 100\% - \text{Error} \quad (2)$$

Dimana nilai X yaitu nilai Sebenarnya sedangkan nilai Y ialah nilai dari hasil pengukuran.

Presisi (ketepatan) mengacu pada tingkat kesesuaian antara beberapa hasil pengukuran yang dilakukan secara berulang pada kondisi yang sama. Dengan kata lain, presisi menggambarkan kedekatan antara hasil pengukuran yang diperoleh dengan nilai yang dianggap sebagai rujukan atau nilai teoritis yang diterima. Pengukuran ini dapat dikatakan memiliki tingkat presisi apabila data yang dihasilkan konsisten, yaitu nilai hasil pengukuran memiliki kedekatan yang sama satu dengan yang lain. Tingkat presisi dapat dihitung menggunakan rumus persamaan sebagai berikut:

$$SD = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (X_i - \bar{x})^2}{n-1}} \quad (3)$$

$$\text{Presisi} = \left(1 - \frac{SD}{\bar{x}}\right) 100\% \quad (4)$$

Keterangan:

SD = *Standar Deviasi*

X_i = Data ke i

$\bar{x}$ = Rata – rata

n = Jumlah pengukuran

Tahap akhir dalam analisis data adalah membuat interpretasi data yang mencakup perbandingan hasil pengukuran dari berbagai perlakuan untuk menentukan perlakuan mana yang menghasilkan tingkat akurasi terbaik dan mendekati hasil dari alat referensi standar. Hasil analisis ini akan menunjukkan perlakuan mana yang memiliki performa terbaik dalam mengukur konsentrasi partikel *Particulate Matter* (PM) 2.5 menggunakan sensor GP2Y1010AU0F di lingkungan tertentu.

Pengujian sensor

Pengujian bertujuan untuk memastikan bahwa sensor *Particulate Matter* (PM) 2.5 GP2Y1010AU0F berfungsi sesuai dengan spesifikasi teknisnya, sehingga sensor dapat mendeteksi *Particulate Matter* (PM) 2.5 dengan akurat dan menghasilkan keluaran yang konsisten. Validasi akurasi pembacaan dilakukan dengan kalibrasi awal sensor. Pengujian dilakukan di ruang tertutup untuk meminimalkan gangguan dari faktor eksternal seperti angin atau fluktuasi udara luar.

Metode kalibrasi

Kalibrasi alat pengukur PM 2.5 berbasis sensor GP2Y1010AU0F dilakukan dengan membandingkan hasil pengukurannya dengan alat pembanding yang telah terstandar dan banyak digunakan sebagai referensi

pengukuran kualitas udara. Proses kalibrasi dimulai dengan mempersiapkan kedua alat, yaitu alat yang dikembangkan dan alat pasaran standar, yang kemudian dipasang di lokasi pengukuran yang sama dalam posisi sejajar untuk memastikan keseragaman hasil. Selama proses pengukuran, data konsentrasi *Particulate Matter* (PM) 2.5 diambil secara bersamaan dari kedua alat dalam interval waktu 30 menit sekali dan 5 menit.

Hasil pengukuran dari alat yang dikembangkan dibandingkan dengan alat pasaran menggunakan analisis statistik untuk menilai kesamaan pola data, seperti koefisien korelasi dan nilai *error absolut* dan *erro relative*. Jika ditemukan perbedaan signifikan, parameter pada alat yang dikembangkan disesuaikan untuk meningkatkan akurasi pembacaan. Setelah kalibrasi selesai, pengujian ulang dilakukan di kondisi lingkungan yang berbeda untuk memastikan hasil pengukuran konsisten dan valid. Proses kalibrasi ini bertujuan untuk memastikan bahwa alat berbasis sensor GP2Y1010AU0F dapat memberikan hasil yang akurat dan sesuai dengan standar pengukuran kualitas udara.