

PROTOTYPE SISTEM PEMANTAU DAN PENGKONDISI UDARA OTOMATIS MELALUI DETEKSI KUALITAS UDARA FISIK DAN KIMIA BERBASIS IOT

PROTOTYPE OF THE MONITORING AND AN AUTOMATIC AIR CONDITIONING SYSTEM THROUGH PHYSICAL AND CHEMICAL AIR QUALITY DETECTION BASED ON IOT

Hendro Bayu Aji¹, Husneni Mukhtar², Faisal Budiman³

^{1,2,3}Prodi S1 Teknik Elektro, Fakultas Teknik Elektro, Universitas Telkom, Bandung

¹hendrobayu@student.telkomuniversity.ac.id, ²husnenimukhtar@telkomuniversity.ac.id,

³faisalbudiman@telkomuniversity.ac.id

Abstrak

Udara tercemar pada wilayah tertutup seperti di dalam ruangan ternyata sangat berbahaya bagi kesehatan manusia karena pada umumnya manusia banyak menghabiskan waktu untuk beraktivitas di dalam ruangan seperti di dalam rumah. Kondisi pencemaran udara di dalam ruangan diperparah lagi dengan masuknya udara tercemar dari luar ruangan melalui ventilasi pada ruangan rumah. Menurunnya kualitas udara akibat pencemaran udara dapat disebabkan oleh suhu, kelembapan, PM₁₀, dan CO₂. Pada penelitian Tugas Akhir ini dirancang sebuah prototipe yang mampu memantau kualitas udara berbasis IoT dan mengkondisikan sirkulasi udara otomatis melalui deteksi parameter suhu, PM₁₀, dan CO₂.

Melalui penelitian ini didapatkan hasil berupa penggunaan IoT dalam memantau data nilai sensor DS18B20, GY-BME280, PMS5003, dan MQ-135 dapat diakses dengan mudah oleh pengguna melalui *website* Thingspeak dan aplikasi Pocket IoT pada *smartphone* dengan operasi sistem android, dan sistem mampu mendeteksi parameter udara suhu, kelembapan, PM₁₀, dan CO₂. Waktu yang dibutuhkan aktuator dalam mengkondisikan polutan udara panas (5 menit 23 detik), dingin (1 menit 23 detik), PM₁₀ (1 menit 23 detik), dan CO₂ (13 detik) dan rata-rata kelembapan udara pada pengujian pemberian polutan suhu adalah 46,81 %RH, pemberian polutan PM₁₀ adalah 65,25 %RH, dan pemberian polutan CO₂ adalah 64,61 %RH. Pengujian alat dan sistem dari prototipe sistem pemantau dan pengkondisi udara otomatis melalui deteksi kualitas udara fisik dan kimia berbasis IoT menggunakan metode lup tertutup menghasilkan kesesuaian aktuator yang mampu mengkondisikan udara terpolusi kurang dari 10 menit sesuai target. Waktu rata-rata yang diperlukan oleh alat dalam mengirimkan data nilai sensor ke database Thingspeak adalah sekitar 16,35 detik secara komunikasi serial dan memiliki akurasi pengiriman data 99,65%.

Kata Kunci: *Kualitas Udara Fisik, Kualitas Udara Kimia, Pengkondisi Udara, Sistem Kontrol Lup Tertutup, Thingspeak, Pocket IoT.*

Abstract

Polluted air in closed areas such as indoors turns out to be very dangerous for human health because in general, humans spend a lot of time doing activities indoors such as indoors. The condition of indoor air pollution is exacerbated by the entry of polluted air from outside through the ventilation in the house. Decreasing air quality due to air pollution can be caused by temperature, humidity, PM₁₀, and CO₂. In this final project research, a prototype is designed that is able to monitor air quality based on IoT and condition automatic air circulation through detection of temperature parameters, PM₁₀, and CO₂.

Through this research, the results obtained in the form of using IoT in monitoring the sensor value data of DS18B20, GY-BME280, PMS5003, and MQ-135 can be accessed easily by users through the Thingspeak website and the Pocket IoT application on smartphones with android system operation, and the system is able to detect parameters air temperature, humidity, PM₁₀, and CO₂. The time required for the actuator to condition hot (5 minutes 23 seconds), cold (1 minute 23 seconds), PM₁₀ (1 minute 23 seconds), and CO₂ (13 seconds) air pollutants and the average humidity of the air in the temperature pollutant application test is 46.81% RH, giving PM₁₀ pollutants is 65.25% RH, and giving CO₂ pollutants is 64.61% RH. Testing tools and systems from prototype automatic air monitoring and air conditioning systems through IoT-

based physical and chemical air quality detection using the closed loop method results in suitability of actuators that are able to condition polluted air in less than 10 minutes on target. The average time required by the tool to send sensor value data to the Thingspeak database is about 16.35 seconds in serial communication and has an accuracy of 99.65% data transmission. Keywords : Physical air quality, chemical air quality, Air Conditioning, Closed Loop Control System, Thingspeak, Pocket IoT.

1. Pendahuluan

Sumber pencemaran udara pada wilayah tertutup seperti di dalam ruangan ternyata sangat berbahaya bagi kesehatan manusia. Pengertian pencemaran udara dijelaskan pada Peraturan Pemerintah Republik Indonesia Nomor 41 Tahun 1999 Tentang Pengendalian Pencemaran Udara [1]. Pada umumnya manusia banyak menghabiskan waktu untuk beraktivitas di dalam ruangan rumah sumber pencemaran udara yang sering ditemukan oleh karena kepadatan penghuni yang berlebih, perilaku merokok di dalam rumah, penggunaan obat nyamuk bakar, kegiatan memasak, penggunaan pendingin udara AC yang jarang dibersihkan, dan masih banyak lagi. Kondisi pencemaran udara di dalam ruangan diperparah lagi dengan masuknya udara tercemar dari luar ruangan melalui ventilasi pada ruangan kantor maupun rumah. Menurunnya kualitas udara akibat pencemaran udara dapat disebabkan oleh adanya parameter-parameter suhu, kelembapan, PM_{10} , dan CO_2 yang tidak stabil.

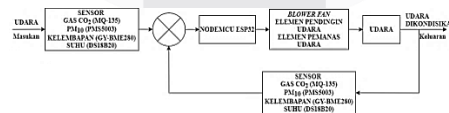
Dampak dari pencemaran udara di dalam ruangan menurut Peraturan Menteri Kesehatan Republik Indonesia Nomor 1077/MENKES/PER/V/2011 Tentang Pedoman Penyehatan Udara Dalam Ruang Rumah pada Bab 1 bagian A di paragraf empat [2] menjelaskan bahwa *di negara maju diperkirakan angka kematian pertahun karena pencemaran udara dalam ruang rumah sebesar 67% di pedesaan dan sebesar 23% di perkotaan, sedangkan di negara berkembang angka kematian terkait dengan pencemaran udara dalam ruang rumah daerah perkotaan sebesar 9% dan di daerah pedesaan sebesar 1%, dari total kematian (Buletin WHO 2000).* Solusi dalam mengurangi pencemaran udara di dalam ruangan masih konvensional seperti sering membersihkan rumah, menanam tanaman di halaman rumah, dan melarang perilaku merokok di dalam ruangan.

Pada penelitian ini akan dirancang sebuah prototipe yang mampu memantau kualitas udara berbasis IoT dan mengkondisikan sirkulasi udara otomatis melalui deteksi parameter suhu, kelembapan, PM_{10} , dan CO_2 . Parameter ini perlu dideteksi dan dikondisikan sesuai dengan batasan parameter pada Peraturan Menteri Kesehatan Republik Indonesia Nomor 1077/MENKES/PER/V/2011 Tentang Pedoman Penyehatan Udara Dalam Ruang Rumah pada Bab 2 bagian A dan B [2] karena pada tingkat kandungan standar tidak dapat berefek pada manusia, namun jika berlebih atau terlalu rendah dapat menyebabkan infeksi pada saluran pernafasan.

2. Dasar Teori dan Perancangan

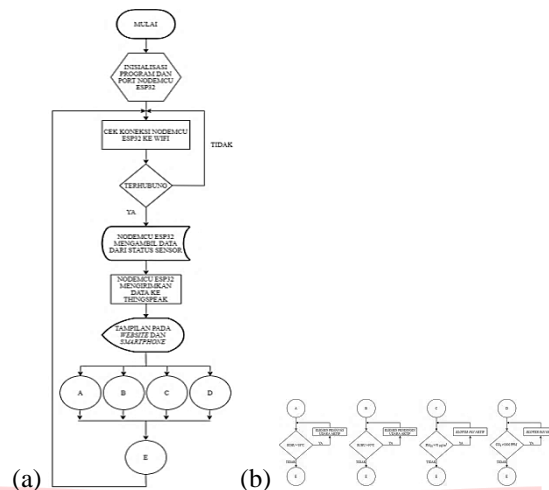
2.1 Desain Sistem

Fungsi dari alat yang dirancang adalah sebagai alat mendeteksi kualitas udara berdasarkan tingkat parameter-parameter suhu, kelembapan, PM_{10} , dan CO_2 pada ruangan. Selain itu juga, mengkondisikan udara menjadi normal kembali untuk parameter-parameter suhu, PM_{10} , dan CO_2 pada ruangan.



Gambar 2. 1 Diagram Blok sistem lup tertutup

Gambar 2. 1 merupakan diagram blok dari sistem yang dirancang pada penelitian Tugas Akhir ini yang bertujuan untuk mendeteksi parameter-parameter suhu, kelembapan, PM_{10} , dan CO_2 udara di dalam ruang uji dan aktuator-aktuator dapat bekerja dengan baik dalam mengendalikan kandungan tersebut sesuai dengan kondisi ideal, yaitu : suhu $18-30\text{ }^{\circ}\text{C}$, $PM_{10} \leq 70\text{ }\mu\text{g}/\text{m}^3$, dan $CO_2 \leq 1000\text{ PPM}$.



Gambar 2. 2 (a) Diagram alir sistem (b) Konektor diagram alir sistem

Berdasarkan Gambar 2. 2 (a) menjelaskan tentang proses kerja dari sistem alat. Proses dimulai dengan inisialisasi, kemudian mengecek koneksi ke wifi untuk mendapatkan akses jaringan internet sesuai dengan SSID dan kata sandi yang telah diberikan pada program. Ketika koneksi terhubung dan akses jaringan internet dalam kondisi baik, NodeMcu ESP32 akan mengambil data nilai dari sensor-sensor yang mendeteksi kualitas udara sesuai dengan fungsi deteksi parameter dari masing-masing sensor tersebut dan mengirimkan nilai tersebut ke *database* Thingspeak. Setelah nilai tersimpan dalam database maka akan otomatis ditampilkan grafik nilai dari masing-masing parameter dengan tampilan *website* Thingspeak dan aplikasi Pocket IoT. Selanjutnya pada Gambar 2. 2 (b) Konektor diagram alir sistem menunjukkan jika udara pada ruang uji terpolusi atau nilai batasan parameter yang telah ditetapkan tidak sesuai dengan aturan parameter, maka aktuator akan menyala guna untuk menetralkan polutan udara berlebih tersebut agar mencapai kondisi stabil. Jika sesuai, maka aktuator akan dalam kondisi mati. Aktuator untuk pengendali PM_{10} dan CO_2 menggunakan perangkat *blower fan* sebagai penyerap udara pada ruangan, sedangkan untuk pengendali suhu menggunakan pelat besi elemen pemanas udara dan TEC (*Thermoelectric Cooler*) *peltier*.

2.2 Pengujian Akurasi dan Pendekatan Nilai Sensor

Pengujian akurasi dan pendekatan nilai sensor memiliki tujuan untuk mengetahui keakuratan dari sensor-sensor yang digunakan dalam pengujian alat di penelitian Tugas Akhir ini. Ruang uji diletakkan pada lingkungan terbuka sehingga sensor-sensor pada sistem dapat mendeteksi kualitas udara fisik dan kimia pada kondisi udara normal yang masuk melalui ventilasi ke dalam ruang uji. Proses pengambilan data untuk pengujian akurasi dan pendekatan nilai sensor ini dilakukan dengan cara alat dinyalakan 5 menit terlebih dahulu sebelum pengambilan data dengan tujuan untuk menstabilkan nilai-nilai keluaran dari sensor-sensor. Pengambilan data tingkat derajat suhu, persentase kelembapan, kepadatan PM_{10} , dan konsentrasi CO_2 di dalam ruangan dilakukan pada Selasa, 22 September 2020 dengan kondisi waktu, yaitu: pagi (07:43-08:13 WIB), siang (12:13-12:43 WIB), dan malam (18:24-18:54 WIB).

2.2.1 Pengujian Akurasi Sensor Suhu DS18B20

Dalam mencari nilai akurasi sensor suhu DS18B20 terhadap detektor suhu udara TAFFWARE seri HTC-2 menggunakan rumus-rumus sebagai berikut untuk mengetahui nilai *error* dan akurasi adalah sebagai berikut:

$$\text{Selisih} = |\text{Nilai Sensor DS18B20} - \text{Nilai Detektor TAFFWARE seri HTC-2}| \dots\dots\dots(1)$$

$$\text{Error} (\%) = \frac{\text{Selisih}}{\text{Nilai Detektor TAFFWARE seri HTC-2}} \times 100\% \dots\dots\dots(2)$$

$$\text{Rata-rata Error} (\%) = \frac{\text{Total Jumlah Persen Error(Pagi,Siang,Malam)}}{\text{Jumlah Data}} \dots\dots\dots(3)$$

$$\text{Rata-rata Error Total} (\%) = \frac{\text{Rata-rata Error Pagi} + \text{Siang} + \text{Malam}}{3} \dots\dots\dots(4)$$

$$\text{Akurasi (\%)} = 100 - \text{Total Rata-rata Persen Error} \dots\dots\dots(5)$$

Sehingga dapat diketahui nilai rata-rata persen error, total rata-rata persen error, dan akurasi yang dapat dilihat pada Tabel 2. 1.

Tabel 2. 1 Hasil pengujian akurasi sensor suhu DS18B20

No.	Rata-rata <i>Error</i> (%)	Rata-rata <i>Error</i> Total (%)	Akurasi (%)
1	2.2 (Pagi)	3.0	97.0
2	3.0 (Siang)		
3	3.7 (Malam)		

2.2.2 Pengujian Akurasi Sensor Kelembapan GY-BME280

Pada proses pengujian akurasi sensor kelembapan melalui pengujian ini akan dibandingkan nilai presentase kelembapan antara sensor kelembapan GY-BME280 dengan detektor kelembapan udara TAFFWARE seri HTC-2. Sehingga diketahui perbandingan kelembapan antara pada penggunaan sensor kelembapan di sistem alat dan penggunaan alat detektor kelembapan khusus. Rumus yang digunakan dalam mencari nilai error dan akurasi adalah sebagai berikut:

$$\text{Selisih} = |\text{Nilai Sensor GY-BME280} - \text{Nilai Detektor TAFFWARE seri HTC-2}| \dots\dots\dots(1)$$

$$\text{Error (\%)} = \frac{\text{Selisih}}{\text{Nilai Detektor TAFFWARE seri HTC-2}} \times 100\% \dots\dots\dots(2)$$

$$\text{Rata-rata Error (\%)} = \frac{\text{Total Jumlah Persen Error (Pagi, Siang, Malam)}}{\text{Jumlah Data}} \dots\dots\dots(3)$$

$$\text{Rata-rata Error Total (\%)} = \frac{\text{Rata-rata Error Pagi + Siang + Malam}}{3} \dots\dots\dots(4)$$

$$\text{Akurasi (\%)} = 100 - \text{Total Rata-rata Persen Error} \dots\dots\dots(5)$$

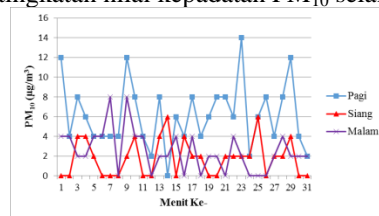
Sehingga dapat diketahui nilai rata-rata persen error, total rata-rata persen error, dan akurasi yang dapat dilihat pada Tabel 2. 2

Tabel 2.2 Hasil pengujian akurasi sensor kelembapan GY-BME280

No.	Rata-rata <i>Error</i> (%)	Rata-rata <i>Error</i> Total (%)	Akurasi (%)
1	2.9 (Pagi)	7.7	92.3
2	13.1 (Siang)		
3	7.0 (Malam)		

2.2.3 Pendekatan Nilai Sensor PM₁₀ PMS5003

Pendekatan Nilai Sensor PM₁₀ PMS5003 pada situs <https://aqicn.org/sensor/pms5003-7003/> melakukan percobaan menggunakan 3 buah sensor PMS7003, 5 buah PMS5003, dan 2 referensi BAM (*Beta Attenuation Monitors*) yang ditempatkan secara bersamaan pada luar ruangan dengan tujuan untuk memahami dari keakuratan pembacaan sensor secara individu dan perbandingan nilai hasil keluaran dari masing-masing sensor terhadap parameter PM₁₀. Sensor ini menggunakan sinar laser dan memanfaatkan prinsip hamburan sinar laser untuk meradiasikan partikel yang tersuspensi di udara. Kemudian mengumpulkan cahaya hamburan tersebut dalam derajat tertentu, sehingga mendapatkan nilai kurva perubahan cahaya hamburan dari sinar laser seiring waktu. Akhirnya diameter partikel ekuivalen dan jumlah partikel udara dengan diameter berbeda akan dikirimkan dalam sinyal digital ke mikrokontroler NodeMcu ESP32. Pada pengambilan kepadatan PM₁₀ udara dalam ruang uji dilakukan dengan meletakkan sensor PM₁₀ PMS5003 tersebut pada ruangan penguji lalu diukur perubahan tingkatan nilai kepadatan PM₁₀ selama 30 menit.



Gambar 2. 3 Data grafik PM₁₀ udara di ruangan uji pada kondisi pagi, siang, dan malam

Pada Gambar 2. 3 menunjukkan nilai rata-rata kepadatan PM₁₀ pada kondisi pagi hari yaitu 6.13 µg/m³, kondisi siang hari yaitu 1.81 µg/m³, dan kondisi malam hari yaitu 2.52 µg/m³. Distribusi dari *particulate matter* di udara sangat tidak seragam hal ini dikarenakan berasal dari berbagai macam sumber yang berbeda.

2.2.4 Pendekatan Sensor Gas CO₂ MQ-135

Sensor MQ-135 ketika dinyalakan terjadi proses pemanasan sensor selama 5 menit dengan tujuan untuk memanaskan koil Ni-Cr alloy agar dapat mendeteksi konsentrasi CO₂ di udara dengan baik. Karena susahnya menstabilkan kondisi kadar CO₂ dalam ruangan maka akan digunakan pendekatan yaitu menggunakan pendekatan berupa nilai deteksi konsentrasi CO₂ pada kondisi pagi, siang, dan malam. Untuk mendapatkan konsentrasi gas pada masing-masing parameter yang dapat dideteksi oleh sensor MQ-135 digunakan rumus adalah sebagai berikut:

$$PPM = A \times \left(\frac{R_s}{R_o} \right)^B$$

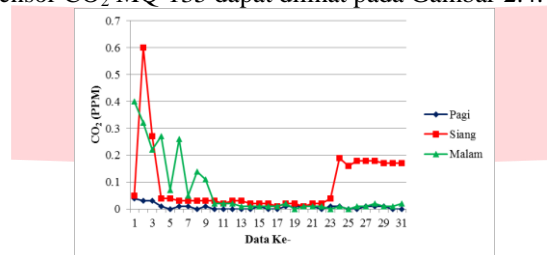
Keterangan :

A : 110.47

B : -2.862

Nilai A dan B merupakan konfigurasi sensor MQ-135.

Pendekatan konsentrasi CO₂ di udara dilakukan dengan meletakkan sensor CO₂ MQ-135 tersebut pada ruangan pengujian lalu diukur perubahan tingkatan nilai konsentrasi CO₂ selama 30 menit. Data nilai dari sensor CO₂ MQ-135 dapat dilihat pada Gambar 2.4.



Gambar 2.4 Data grafik CO₂ udara di ruangan uji pada kondisi pagi, siang, dan malam

Melalui pengujian pendekatan nilai CO₂ yang diuji pada kondisi pagi, siang, dan malam diketahui nilai rata-rata konsentrasi CO₂ yaitu pada kondisi pagi 0.01 PPM, pada kondisi siang 0.09 PPM, dan pada kondisi malam 0.07 PPM.

3. Pembahasan

3.1. Skenario Pengujian

Pengujian dilakukan dengan memasukkan bahan-bahan polutan udara ke dalam ruang uji dan menganalisa respon dari alat yang telah dirancang. Bahan-bahan polutan udara yang digunakan pada pengujian ini ditunjukkan pada Tabel 3. 1.

Tabel 3. 1 Bahan-bahan polutan udara masukan pada ruang uji

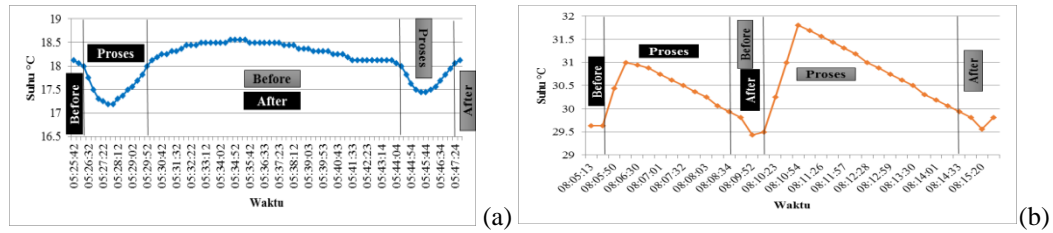
No.	Bahan-bahan	Jenis Polutan
1	Hair dryer	Pemanas suhu udara
2	Es batu	Pendingin suhu udara
3	Gas kenalpot motor	CO ₂
4	Asap pembakaran kertas	PM ₁₀

3.1.1 Hasil Pengujian Alat Terhadap Polutan Suhu

Pengujian alat terhadap polutan udara suhu panas dan dingin yang dimasukkan ke dalam ruang uji dilakukan untuk mendapatkan nilai hasil dari alat dalam mendeteksi dan mengkondisikan polutan udara tersebut jika melebihi dari batasan parameter yang telah ditetapkan. Pengujian ini dilakukan untuk mendapatkan nilai derajat suhu yang dideteksi dan dikendalikan oleh alat sebelum dan sesudah diberi polutan suhu udara. Suhu udara diklasifikasikan menjadi 3 kondisi pada Tabel 3. 2.

Tabel 3. 2 Klasifikasi nilai dan kondisi suhu udara

No.	Suhu (°C)	Keterangan
1	<18	Terpolusi dingin
2	18-30	Suhu normal
3	>30	Terpolusi panas



Gambar 3.1 Grafik perubahan nilai derajat suhu dalam ruang uji pemberian polutan udara (a) suhu dingin (b) suhu panas

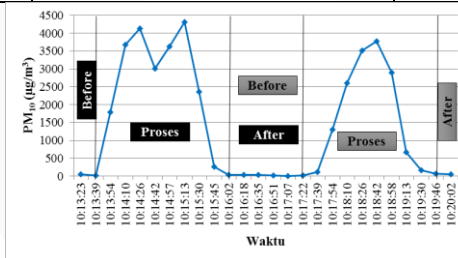
Pengujian pemberian polutan suhu dingin udara dilakukan selama 22 menit 42 detik dan pemberian polutan suhu panas udara dilakukan selama 10 menit 7 detik dengan grafik pada Gambar 3. 1. Pengujian dengan menggunakan 30 sampel yang dilakukan dengan lama batasan waktu pengkondisian suhu udara adalah 10 menit. Jika lama waktu pengkondisian suhu udara kurang dari 10 menit maka akan dinyatakan sesuai, namun jika lebih dari 10 menit maka akan dinyatakan tidak sesuai. Maka hasil dari pengujian alat terhadap polutan suhu ini menghasilkan kesesuaian aktuator dalam mengkondisikan udara. Waktu rata-rata yang diperlukan oleh alat untuk mengkondisikan polutan udara panas agar menjadi normal kembali adalah 5 menit 23 detik dan waktu rata-rata yang diperlukan oleh alat untuk mengkondisikan polutan udara dingin agar menjadi normal kembali adalah 1 menit 23 detik. Waktu rata-rata pengiriman data ke database Thingspeak adalah 17.03 detik.

3.1.2 Hasil Pengujian Terhadap Polutan PM₁₀

Pengujian alat terhadap polutan udara PM₁₀ yang dimasukkan ke dalam ruang uji dilakukan untuk mendapatkan nilai hasil dari alat dalam mendeteksi dan mengkondisikan polutan udara tersebut jika melebihi dari batasan parameter yang telah ditetapkan. Pengujian ini dilakukan untuk mendapatkan nilai kepadatan PM₁₀ yang dideteksi dan dikendalikan oleh alat sebelum dan sesudah diberi polutan PM₁₀ udara. PM₁₀ udara diklasifikasikan menjadi 2 kondisi Tabel 3. 3.

Tabel 3. 3 Klasifikasi nilai dan kondisi PM₁₀ udara

No.	PM ₁₀ (μg/m ³)	Keterangan
1	≤70	Kepadatan PM ₁₀ normal
2	>70	Terpolusi PM ₁₀



Gambar 3. 2 Grafik perubahan nilai kepadatan PM₁₀ dalam ruang uji pemberian polutan udara asap pembakaran kertas

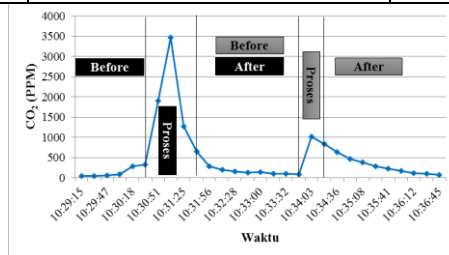
Pemberian polutan PM₁₀ udara pada pengujian ini dilakukan selama 6 menit 39 detik dengan grafik pada Gambar 3. 2. Pengujian dengan menggunakan 30 sampel yang dilakukan dengan lama batasan waktu pengkondisian PM₁₀ udara adalah 10 menit. Jika lama waktu pengkondisian PM₁₀ udara kurang dari 10 menit maka akan dinyatakan sesuai, namun jika lebih dari 10 menit maka akan dinyatakan tidak sesuai. Maka hasil dari pengujian alat terhadap polutan PM₁₀ ini menghasilkan kesesuaian aktuator dalam mengkondisikan udara. Waktu rata-rata yang diperlukan oleh alat untuk mengkondisikan polutan udara PM₁₀ agar menjadi normal kembali adalah 1 menit 23 detik. Waktu rata-rata pengiriman data ke database Thingspeak adalah 16.03 detik.

3.1.3 Hasil Pengujian Terhadap Polutan CO₂

Pengujian alat terhadap polutan CO₂ yang dimasukkan ke dalam ruang uji dilakukan untuk mendapatkan nilai hasil dari alat dalam mendeteksi dan mengkondisikan polutan udara tersebut jika melebihi dari batasan parameter yang telah ditetapkan. Pengujian ini dilakukan untuk mendapatkan nilai konsentrasi CO₂ yang dideteksi dan dikendalikan oleh alat sebelum dan sesudah diberi polutan CO₂ udara sebanyak volume 600 m³. CO₂ udara diklasifikasikan menjadi 2 kondisi Tabel 3.4.

Tabel 3.4 Klasifikasi nilai dan kondisi CO₂ udara

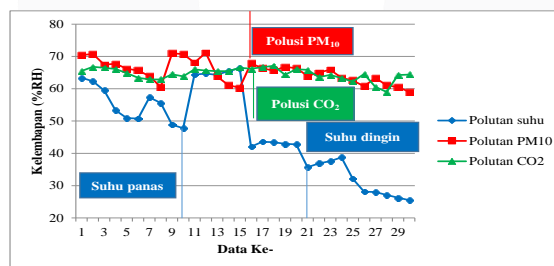
No.	CO ₂ (PPM)	Keterangan
1	≤1000	Konsentrasi CO ₂ normal
2	>1000	Terpolusi CO ₂

Gambar 3. 3 Grafik perubahan nilai konsentrasi CO₂ dalam ruang uji pemberian polutan udara gas kenalpot motor

Pemberian polutan CO₂ udara pada pengujian ini dilakukan selama 7 menit 30 detik dengan grafik pada Gambar 3. 3. Pengujian dengan menggunakan 30 sampel yang dilakukan dengan lama batasan waktu pengkondisian CO₂ udara adalah 10 menit. Jika lama waktu pengkondisian CO₂ udara kurang dari 10 menit maka akan dinyatakan sesuai, namun jika lebih dari 10 menit maka akan dinyatakan tidak sesuai. Maka hasil dari pengujian alat terhadap polutan CO₂ ini menghasilkan kesesuaian aktuator dalam mengkondisikan udara. Waktu rata-rata yang diperlukan oleh alat untuk mengkondisikan polutan udara CO₂ agar menjadi normal kembali adalah 13 detik. Waktu rata-rata pengiriman data ke *database* Thingspeak adalah 16 detik.

3.1.4 Hasil Pengujian Alat Terhadap Monitoring Kelembapan dan Rata-Rata Waktu Pengiriman Data Ke *Database* Thingspeak

Pengaruh kelembapan terhadap polutan udara suhu dingin, suhu panas, asap pembakaran kertas, dan gas kenalpot motor yang dimasukkan ke dalam ruang uji. Dapat dilihat pada Gambar 3. 4. Melalui grafik pengaruh presentase kelembapan udara pada pengujian pemberian polutan udara tersebut dapat diketahui bahwa kelembapan udara memiliki nilai perubahan dan cenderung tidak memiliki nilai kestabilan pada jenis masukan polutan suhu udara hal ini dikarenakan setiap kenaikan dan penurunan suhu udara akan berpengaruh terhadap kenaikan dan penurunan kelembapan juga. Sedangkan, kelembapan udara memiliki kestabilan pada pengujian pemberian polutan udara CO₂ dan PM₁₀. Rata-rata kelembapan udara pada pengujian pemberian polutan suhu adalah 46,81 %RH, pemberian polutan PM₁₀ adalah 65,25 %RH, dan pemberian polutan CO₂ adalah 64,61 %RH.



Gambar 3. 4 Grafik pengaruh kelembapan terhadap polutan udara suhu dingin, suhu panas, asap pembakaran kertas, dan gas kenalpot motor

Dalam mencari nilai akurasi waktu dalam mengirimkan data ke *database* Thingspeak menggunakan rumus-rumus sebagai berikut untuk mengetahui akurasi adalah sebagai berikut:

$$\text{Waktu Rata-rata Pengiriman Saat Pengujian (Detik)} = \frac{\text{Total Jumlah Waktu Pengiriman Data}}{\text{Jumlah Data}}$$

$$\text{Waktu Rata-rata Pengiriman data ke database (Detik)} = \frac{\text{Pengujian Suhu + PM10 + CO2}}{3}$$

$$\text{Target (Detik)} = \text{Waktu Rata-rata Pengiriman data ke database} - 16$$

$$\text{Akurasi (\%)} = 100 - \text{Target}$$

Keterangan : 16 detik merupakan *delay* atau waktu referensi NodeMcu ESP32 harus mengirimkan data ke *database* Thingspeak.

Tabel 3. 5 Akurasi waktu pengiriman data ke *database* Thingspeak

No.	Waktu Rata-rata Pengiriman Saat Pengujian (Detik)	Waktu Rata-rata Pengiriman data ke <i>database</i> (Detik)	Target (Detik)	Akurasi (%)
1	17.03 (Pengujian Suhu)	16.35	0.35	99.65
2	16.03 (Pengujian PM ₁₀)			
3	16 (Pengujian CO ₂)			

Nilai akurasi waktu yang diperlukan NodeMcu ESP32 dalam mengirimkan data sensor-sensor ke *database* Thingspeak yang ditunjukkan pada Tabel 3. 5 yaitu memiliki akurasi sebesar 99.65% dan waktu rata-rata pengiriman data ke *database* Thingspeak adalah 16.35 detik.

4. Kesimpulan

Berdasarkan hasil pengujian dan analisis dapat diambil beberapa kesimpulan sebagai berikut:

1. Pengujian alat dan sistem dari prototipe sistem pemantau dan pengkondisi udara otomatis melalui deteksi kualitas udara fisik dan kimia berbasis IoT menggunakan metode lup tertutup menghasilkan kesesuaian aktuator yang mampu mengkondisikan udara terpolusi kurang dari 10 menit sesuai target.
2. Waktu rata-rata yang diperlukan oleh alat dalam mengirimkan data nilai sensor ke *database* Thingspeak adalah sekitar 16.35 detik secara komunikasi serial dan memiliki akurasi pengiriman data 99.65%.
3. Waktu yang diperlukan oleh alat dalam mengkondisikan polutan udara ketika tidak sesuai dengan kondisi normal yang telah ditetapkan pada pengujian ini adalah sebagai berikut:
 - a. Suhu panas $>30^{\circ}\text{C}$ diperlukan waktu selama 5 menit 23 detik agar suhu udara ruangan dapat normal kembali.
 - b. Suhu dingin $<18^{\circ}\text{C}$ diperlukan waktu selama 1 menit 23 detik agar suhu udara ruangan dapat normal kembali.
 - c. PM₁₀ berlebih $>70 \mu\text{g}/\text{m}^3$ diperlukan waktu selama 1 menit 23 detik agar kepadatan PM₁₀ udara ruangan dapat normal kembali.
 - d. CO₂ berlebih >1000 PPM diperlukan waktu selama 13 detik agar konsentrasi CO₂ udara ruangan dapat normal kembali.
4. Rata-rata kelembapan udara pada pengujian pemberian polutan suhu adalah 46,81 %RH, pemberian polutan PM₁₀ adalah 65.25 %RH, dan pemberian polutan CO₂ adalah 64.61 %RH.

Reference:

- [1] Peraturan Pemerintah, "Peraturan Pemerintah Nomor 41 Tahun 1999 Tentang Pengendalian Pencemaran Udara," 1999, pp. 1–48, [Online]. Available: <http://ditjenpp.kemendiknas.go.id/arsip/ln/1999/pp41-1999.pdf>.
- [2] Menteri Kesehatan, "Peraturan Menteri Kesehatan Republik Indonesia Nomor 1077/MENKES/PER/V/2011 Tentang Pedoman Penyehatan Udara Dalam Ruang Rumah," 2011, pp. 1–32, [Online]. Available: http://hukor.kemkes.go.id/uploads/produk_hukum/PMK No. 1077 ttg Pedoman Penyehatan Udara Dalam Ruang Rumah.pdf.
- [3] K. Prabowo and B. Muslim, Bahan Ajar Kesehatan Lingkungan Penyehatan Udara. Kementerian Kesehatan Republik Indonesia, 2018, [Online]. Available: http://bppsdmk.kemkes.go.id/pusdiksdmk/wp-content/uploads/2018/09/Pyenyehatan-Udara_SC.pdf.
- [4] S. Raharjo, Jamaluddin, and Azhar, "Rancang Bangun Sistem Pengendalian Sirkulasi Udara Dalam Ruangan Berdasarkan Kadar Gas Karbon Monoksida (CO)," J. TEKRO, vol. 1, no. 2, 2018, [Online]. Available: <http://e-jurnal.pnl.ac.id/index.php/TEKTRO/article/view/1433>.
- [5] D. A. N. Atmaja, "Rancang Bangun Pemantauan Suhu Beserta Kualitas Udara Pada Terminal Arjosari Malang Melalui Website Berbasis Arduino," J. Mhs. Tek. Inform., vol. 2, no. 1, pp. 1–8, 2018, [Online]. Available: <http://eprints.itn.ac.id/3325/>.
- [6] A. I. Muchlis, "Rancang Bangun Prototype Smart Clean Room Berbasis Arduino," pp. 1–7, [Online]. Available: <http://eprints.uty.ac.id/1587/1/Naskah Publikasi perpus.pdf>.
- [7] Menteri Kesehatan, "Keputusan Menteri Kesehatan Republik Indonesia Nomor 1405/MENKES/SK/XI/2002 Tentang Persyaratan Kesehatan Lingkungan Kerja Perkantoran Dan Industri," 2002, pp. 1–35, [Online]. Available: <https://peraturan.bkpm.go.id/jdih/front/form/11757>.