

BAB I

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang Masalah

Polusi udara merupakan permasalahan yang dapat terjadi di dalam maupun di luar ruangan. Polusi udara dalam ruangan memiliki dampak yang lebih berbahaya bagi kesehatan dibandingkan polusi udara luar ruangan [1]. Salah satu permasalahan utama terkait kualitas udara dalam ruangan adalah *Sick Building Syndrome* (SBS), yaitu gangguan kesehatan yang dirasakan individu saat beraktivitas dalam suatu ruangan. Berdasarkan berbagai penelitian, peningkatan kadar CO₂ dalam ruangan memiliki korelasi positif terhadap peningkatan prevalensi gejala SBS [2] Dampak kesehatan akibat kualitas udara yang buruk mencakup peningkatan kasus asma, alergi, serta infeksi tertentu seperti pneumonia dan legionellosis [3] Oleh karena itu, diperlukan upaya untuk menurunkan kadar CO₂ dalam ruangan guna meningkatkan kualitas udara dan kesehatan penghuninya.

Salah satu solusi yang telah dikembangkan untuk mengatasi permasalahan ini adalah penggunaan filter berbasis zeolit yang terintegrasi dengan *air purifier* [4]. Namun, efektivitas filter zeolit dalam menyerap CO₂ masih perlu ditingkatkan, mengingat hasil pengujian di laboratorium menunjukkan variasi kemampuan serapan antara 15% hingga 40%. Selain itu, sensor gas CO₂ berbasis *Metal-Organic Framework* (MOF) yang diharapkan dapat mendeteksi keberadaan CO₂ dengan lebih sensitif hingga saat ini belum berhasil dibuat. Untuk pengujian sensor, diperlukan *chamber* yang terisolasi dengan baik dari lingkungan sekitar, memiliki kontrol suhu yang akurat, serta mampu mengkarakterisasi perubahan sifat listrik sensor akibat paparan CO₂. Selain itu, integrasi komponen elektronik dalam desain purwarupa *air purifier* juga memerlukan perbaikan agar perangkat dapat bekerja secara optimal.

Selain itu, banyak kasus keracunan gas CO₂ yang disebabkan oleh buruknya sistem sirkulasi udara dalam ruangan [5]. Studi yang dilakukan di Universitas Telkom Bandung menemukan bahwa konsentrasi CO₂ dalam ruangan laboratorium berkisar antara 393 hingga 518 ppm saat tidak ada aktivitas manusia, tetapi meningkat signifikan hingga 4501 ppm saat ruangan digunakan untuk beraktivitas [6]. Konsentrasi ini jauh melampaui batas standar yang ditetapkan dalam Peraturan Menteri Kesehatan Republik Indonesia Nomor 1077/Menkes/PER/V/2011, yaitu 1000 ppm selama 8 jam [7]. Jika dibiarkan, kadar CO₂ yang tinggi dalam ruangan dapat menyebabkan gangguan kesehatan mulai dari pusing dan sakit kepala hingga gangguan pernapasan dan kehilangan kesadaran.

Menurut *United States Environmental Protection Agency* (EPA), polusi udara dalam ruangan dapat 2 hingga 10 kali lebih berbahaya dibandingkan polusi udara luar ruangan. Standar keselamatan dan kesehatan pekerja perkantoran yang ditetapkan dalam Permenkes Nomor 48 Tahun 2016 juga menegaskan bahwa kualitas udara dalam ruangan harus memenuhi standar kesehatan yang telah ditentukan. Kadar CO₂ yang melebihi batas ambang dapat menyebabkan berbagai dampak kesehatan, baik dalam jangka pendek maupun jangka panjang. Dalam jangka pendek, kadar CO₂ yang tinggi dapat menyebabkan mengantuk, sakit kepala, dan penurunan aktivitas fisik. Pada kadar yang lebih tinggi, dapat terjadi peningkatan tekanan darah, gangguan pendengaran, kesulitan bernapas, hingga kehilangan kesadaran. Sementara itu, dalam jangka panjang, paparan CO₂ yang melebihi kadar maksimal dapat menyebabkan penyakit pernapasan kronis seperti asma dan infeksi paru-paru [7].

Dari aspek teknis, penelitian sebelumnya masih menghadapi beberapa kendala dalam implementasi *air purifier* [4]. Salah satu permasalahan utama adalah proses *slip casting* pada filter zeolit yang tidak merata ketebalannya, yang dapat mempengaruhi kemampuan serapan CO₂ serta sifat mekanik filter. Selain itu, komponen *heater* dan sistem pengondisian sinyal pada sensor belum terealisasi, sehingga arus keluaran MOF belum dapat diproses dengan baik oleh mikrokontroler. Di sisi lain, integrasi dan konektivitas kabel pada sistem *air*

purifier masih memerlukan perbaikan agar perangkat dapat bekerja secara optimal. Permasalahan lain juga ditemukan pada *chamber* yang digunakan untuk pengujian sensor, di mana sistem otomatisasi masih belum diterapkan dan konektor belum cukup rigid untuk memastikan kondisi uji yang stabil.

Berdasarkan permasalahan di atas, penelitian ini bertujuan untuk mengoptimalkan perancangan *air purifier* dengan beberapa fokus utama, yaitu meningkatkan kemampuan serapan CO₂ oleh filter zeolit lithium, mengembangkan sensor CO₂ berbasis MOF, memperbaiki desain *chamber* untuk karakterisasi sensor, serta mengintegrasikan komponen-komponen elektronik *air purifier*. Dengan optimalisasi ini, diharapkan purwarupa *air purifier* dapat bekerja lebih efektif dalam menyaring CO₂ serta memberikan solusi inovatif untuk meningkatkan kualitas udara dalam ruangan.

1.2 Rumusan Masalah

Berdasarkan penelitian sebelumnya dan permasalahan yang telah diidentifikasi, beberapa aspek utama yang perlu diperbaiki dalam penelitian ini adalah:

1. Apa jenis material filter yang lebih efektif dibandingkan Zeolite Molecular Sieve 13x HP 0,4-0,8 mm *Oxygen Concentrator* dalam meningkatkan kemampuan serapan CO₂ pada *air purifier*?
2. Bagaimana cara mengembangkan sensor CO₂ berbasis *Metal-Organic Framework* (MOF) agar memiliki sensitivitas yang lebih tinggi dan dilengkapi dengan pengondisi sinyal dan *heater* yang dapat meningkatkan akurasi pembacaan?
3. Bagaimana cara mengoptimalkan desain *chamber* berbasis vakum agar mampu menjaga kestabilan suhu dari interferensi lingkungan dan memantau variable suhu, tekanan dan kelembapan ruangan *chamber*?
4. Bagaimana meningkatkan keandalan sistem *hardware air purifier* dengan mengganti penggunaan *breadboard* menjadi PCB agar mengurangi risiko *data loss* dan meningkatkan integrasi komponen elektronik?

1.3 Tujuan dan Manfaat

Berdasarkan rumusan masalah yang dijabarkan, penelitian ini bertujuan untuk:

1. Menentukan jenis material filter yang lebih efektif dibandingkan Zeolite Molecular Sieve 13x HP 0,4-0,8 mm *Oxygen Concentrator* dalam meningkatkan kemampuan serapan CO₂ pada *air purifier*.
2. Mengembangkan sensor CO₂ berbasis *Metal-Organic Framework* (MOF) dengan sensitivitas yang lebih tinggi, serta melengkapinya dengan sistem pengondisi sintal dan *heater* guna meningkatkan efektivitas pembacaan
3. Mengoptimalkan desain *chamber* berbasis vakum agar mampu menjaga kestabilan suhu dari interferensi lingkungan selama proses karakterisasi yang dilengkapi dengan sistem monitoring suhu, tekanan, dan kelembapan ruangan *chamber*.
4. Meningkatkan keandalan sistem hardware *air purifier* dengan mengganti penggunaan breadboard menjadi PCB dan *Real-Time Operating System* guna mengurangi risiko *data loss* serta meningkatkan integrasi dan stabilitas komponen elektronik

1.4 Batasan Masalah

Guna membatasi cakupan pembahasan pada penelitian Tugas Akhir ini, maka diberikan batasan – batasan masalah sebagai berikut :

1. Menentukan efektivitas jenis material filter zeolite Li-X dalam mengabsorpsi CO₂ pada penggunaan *air purifier*.
2. Pengembangan sensor MOF dengan penambahan pengondisi sinyal dan *heater* untuk meningkatkan sensitivitas serta akurasi pembacaan
3. Melakukan optimalisasi desain *chamber* yang difokuskan pada kestabilan suhu dalam kondisi vakum untuk karakterisasi *sample*.
4. Perancangan sistem elektronik berfokus pada peningkatan keandalan air purifier melalui penggantian *breadboard* dengan PCB dan *Real-Time Operating System* (RTOS)

1.5 Metode Penelitian

Penelitian ini dilakukan untuk mengembangkan sistem *air purifier* dengan meningkatkan kinerja setiap sub-sistem nya. Untuk mencapai tujuan tersebut, penelitian ini dilakukan melalui beberapa tahapan sebagai berikut:

1. Studi Literatur

Studi literatur dilakukan untuk memahami dasar teori, penelitian terdahulu, teknologi, serta metode yang berkaitan dengan penelitian ini. Literatur yang dikaji meliputi:

- Kajian mengenai efektivitas berbagai jenis zeolite dalam menyerap CO₂ dengan berfokus pada perbandingan Zeolite Molecular Sieve 13X HP 0,4-0,8 mm dan Zeolite Lithium.
- Studi mengenai karakteristik dan sensitivitas sensor berbasis *Metal-Organic Framework* (MOF) dalam mendeteksi gas CO₂ pada rentang 400-5000 ppm serta penggunaan sistem pemanas untuk menjaga suhu optimal elemen sensing pada sensor gas.
- Kajian desain *chamber* vakum dan pengaruhnya terhadap stabilitas suhu dalam pengujian sample sensor serta sistem monitoring ruang *chamber*.
- Studi tentang penggunaan PCB untuk meningkatkan kestabilan sistem elektronik dalam perangkat sensor dan purwarupa *air purifier*.

2. Metode Eksperimental

Metode ini digunakan untuk melakukan pengujian laboratorium terhadap komponen utama sistem *air purifier*:

- Menganalisis kemampuan Zeolite Lithium dalam menyerap CO₂ dengan metode adsorpsi gas statis dan membandingkannya dengan Zeolite Molecular Sieve 13X HP 0,4-0,8 mm.
- Mengembangkan sensor berbasis MOF dengan pengondisi sinyal dan *heater*, serta menguji sensitivitasnya menggunakan karakterisasi listrik berbasis Keithley 2400.

- Menganalisis kestabilan suhu dalam *chamber* vakum menggunakan sistem kontrol PID untuk mengisolasi pengaruh lingkungan serta meninjau pengaruh elemen pemanas dan gas CO₂ terhadap ruang *chamber*.

3. Metode Kuantitatif

Metode ini digunakan untuk memperoleh data numerik guna mengevaluasi efektivitas sistem:

- Menggunakan sensor CO₂ untuk mencatat kadar gas sebelum dan sesudah melewati filter dan menghitung efisiensi adsorpsi berdasarkan perbedaan konsentrasi.
- Mengukur sensitivitas, *response time*, dan stabilitas sensor dalam mendeteksi CO₂ dalam berbagai kondisi suhu dan tekanan.
- Menentukan efisiensi penyaringan udara dengan metode *Clean Air Delivery Rate* (CADR) dalam ruangan laboratorium.

4. Metode Simulasi dan Analisis Data

- Simulasi Adsorpsi CO₂ oleh Filter Zeolite: Menggunakan pemodelan *Density Functional Theory* (DFT) untuk memprediksi efisiensi penyerapan CO₂ sebelum dilakukan pengujian laboratorium.
- Simulasi Kinerja Sensor MOF: Menganalisis karakteristik listrik sensor menggunakan pemodelan semikonduktor untuk meningkatkan sensitivitas deteksi CO₂.
- Analisis Stabilitas Suhu dalam *Chamber*: Menggunakan sistem kontrol PID berbasis MATLAB untuk mengevaluasi kestabilan suhu selama pengujian sensor.

5. Metode Pengujian Purwarupa

- Memverifikasi efektivitas sistem dalam menurunkan kadar CO₂ pada kondisi nyata dengan membandingkan kadar CO₂ sebelum dan sesudah penggunaan *air purifier*.
- Menguji kestabilan konektivitas PCB dalam sistem sensor menggunakan metode data logging berbasis ESP32 dan Cloud Storage untuk mencegah *data loss*.

1.6 Jadwal Pelaksanaan

Berikut merupakan jadwal pelaksanaan yang telah dirancang untuk mencapai tujuan penyusunan Tugas Akhir:

Tabel 1. Perancangan Jadwal dan *Milestone*.

No.	Deskripsi Tahapan	Durasi	Tanggal Selesai	Milestone
1	Peninjauan ulang dan optimalisasi tahap perencanaan	2 minggu	14 Sept 2024	Rencana tugas <i>final</i> disusun
2	Karakterisasi bahan material	4 minggu	28 Sept 2024	Data karakterisasi material
3	Perakitan komponen sensor CO ₂ , <i>air purifier</i> , dan display	2 minggu	30 Sept 2024	Sistem terpasang
4	Evaluasi	1 minggu	30 Sept 2024	Evaluasi performa awal sistem
5	Penyusunan desain purwarupa <i>air purifier</i>	2 minggu	12 Okt 2024	Desain purwarupa <i>final</i>
6	Pembuatan komponen <i>air purifier</i>	3 minggu	19 Okt 2024	Pembuatan komponen utama selesai
7	Konsultasi / bimbingan	5 bulan	31 Jan 2025	Masukan dan evaluasi dari pembimbing
8	Pembuatan laporan TA bagian CD 4	4 minggu	2 Nov 2024	Laporan CD 4
9	Kalibrasi alat	2 minggu	16 Nov 2024	Sensor dan sistem terkalibrasi
10	Implementasi dan pengujian subsistem dan integrasi alat	3 minggu	28 Nov 2024	Alat terintegrasi dan diuji
11	Evaluasi alat	1 minggu	30 Nov 2024	Evaluasi performa alat
12	Analisis data	2 minggu	7 Des 2024	Analisis data hasil pengujian
13	Pengujian sistem keseluruhan	3 minggu	21 Des 2024	Pengujian <i>final</i> sistem
14	Analisis hasil akhir	2 minggu	28 Des 2024	Evaluasi hasil akhir

15	Pembuatan laporan TA Bagian CD 5	3 minggu	11 Jan 2025	Laporan CD 5
16	Revisi laporan TA	3 minggu	19 Feb 2025	Laporan TA