

**RANCANG BANGUN ALAT *MONITORING* DENGAN  
FILTRASI KARBON BIOBRIKET BERBASIS *INTERNET OF  
THINGS* (IOT)**

**TUGAS AKHIR**

Diajukan oleh:

**MUFIRATI AKRAM  
220714015**

**Mahasiswa Fakultas Sains dan Teknologi  
Program Studi Teknik Fisika**



**FAKULTAS SAINS DAN TEKNOLOGI  
UNIVERSITAS ISLAM NEGERI AR-RANIRY  
BANDA ACEH  
TAHUN 2026 M/1447 H**

## LEMBAR PERSETUJUAN

### RANCANG BANGUN ALAT *MONITORING* DENGAN FILTRASI KARBON BIOBRIKET BERBASIS *INTERNET OF THINGS* (IOT)

#### TUGAS AKHIR

Diajukan Kepada Fakultas Sains dan Teknologi  
Universitas Islam Negeri (UIN) Ar-Raniry Banda Aceh  
Sebagai Salah Satu Beban Studi Memperoleh Gelar Sarjana (S1)  
dalam Prodi Teknik Fisika

Oleh:

**MUFIRATI AKRAM**

**220714015**

**Mahasiswa Fakultas Sains dan Teknologi  
Program Studi Teknik Fisika**

Disetujui untuk Dimunaqasyahkan Oleh:

**Pembimbing**

**Mursyidin, M.T.**

**NIDN. 0105048203**

Mengetahui,

**Ketua Program Studi Teknik Fisika**



**Nurhayati, S.Si., M.Si.**

**NIDN. 2014058901**

## LEMBAR PENGESAHAN

### RANCANG BANGUN ALAT *MONITORING* DENGAN FILTRASI KARBON BIOBRIKET BERBASIS *INTERNET OF THINGS* (IOT)


#### TUGAS AKHIR

Telah Diuji Oleh Panitia Ujian Munaqasyah Tugas Akhir  
Fakultas Sains dan Teknologi UIN Ar-Raniry Banda Aceh dan Dinyatakan Lulus  
Serta Diterima Sebagai Salah Satu Beban Studi Program Sarjana (S-1)  
Dalam Prodi Teknik Fisika

Pada Hari/Tanggal: Rabu, 28 Januari 2026  
9 Sya'ban 1447 H  
di Darussalam, Banda Aceh

Panitia Ujian Munaqasah Tugas Akhir:


Ketua/Sekretaris

  
**Mursyidin, M.T.**  
NIDN. 0105048203

Penguji I,


Penguji II,

  
**Muhammad Riza Fachri, S.T., M.T.**  
NIDN. 2008078802

  
**Hadi Kurniawan, M.Si.**  
NIDN. 2004038501

Mengetahui:  
Dekan Fakultas Sains dan Teknologi  
UIN Ar-Raniry Banda Aceh



  
**Prof. Dr. Jr. Muhammad Dirhamsyah, MT., IPU.**  
NIDN. 0002106203

## LEMBAR PERNYATAAN KEASLIAN TUGAS AKHIR

Yang bertanda tangan di bawah ini:

Nama : Mufirati Akram

NIM : 220714015

Program Studi : Teknik Fisika

Fakultas : Sains dan Teknologi

Judul : Rancang Bangun Alat *Monitoring* dengan Filtrasi Karbon  
Biobriket Berbasis *Internet of Things* (IoT)

Dengan ini menyatakan bahwa dalam penulisan tugas akhir ini, saya:

1. Tidak menggunakan ide orang lain tanpa mampu mengembangkan dan mempertanggungjawabkan;
2. Tidak melakukan plagiasi terhadap naskah karya orang lain;
3. Tidak menggunakan karya orang lain tanpa menyebutkan sumber asli atau tanpa izin pemilik karya;
4. Tidak memanipulasi dan memalsukan data;
5. Mengerjakan sendiri karya ini dan mampu bertanggungjawab atas karya ini.

Bila dikemudian hari ada tuntutan dari pihak lain atas karya saya, dan telah melalui pembuktian yang dapat dipertanggungjawabkan dan ternyata memang ditemukan bukti bahwa saya telah melanggar pernyataan ini, maka saya siap dikenai sanksi berdasarkan aturan yang berlaku di Fakultas Sains dan Teknologi UIN Ar-Raniry Banda Aceh.

Demikian pernyataan ini saya buat dengan sesungguhnya dan tanpa paksaan dari pihak manapun.

Banda Aceh, 20 Januari 2026  
Yang Menyatakan



(Mufirati Akram)

## ABSTRAK

Nama : Mufirati Akram  
NIM : 220714015  
Program Studi : Teknik Fisika  
Judul : Rancang Bangun Alat *Monitoring* dengan Filtrasi Karbon Biobriket Berbasis *Internet of Things* (IoT)  
Tanggal Sidang : 28 Januari 2026  
Jumlah Halaman : 71 halaman  
Pembimbing : Mursyidin, M.T.  
Kata Kunci : *Internet of Things*, ESP32, MQ-135, Karbon Biobriket, Filtrasi Udara

Penurunan kualitas udara di ruang tertutup akibat aktivitas pembakaran dan sumber polutan lainnya memerlukan sistem yang mampu melakukan pemantauan dan pengendalian secara berkelanjutan. Penelitian ini bertujuan untuk merancang dan menguji sistem *monitoring* dan filtrasi udara berbasis *Internet of Things* (IoT) dengan memanfaatkan karbon biobriket sebagai media filtrasi. Metode penelitian yang digunakan adalah Research and Development (R&D) yang meliputi tahap perancangan sistem, pembuatan prototipe, kalibrasi sensor, serta pengujian kinerja sistem. Sistem dikembangkan menggunakan sensor gas MQ-135, mikrokontroler ESP32, kipas filtrasi, dan media karbon biobriket. Data hasil pengukuran ditampilkan secara *real-time* melalui layar *Organic Light-Emitting Diode* (OLED) dan aplikasi Blynk. Pengujian dilakukan pada dua kondisi, yaitu filtrasi aktif dan filtrasi tidak aktif, menggunakan udara lingkungan serta beberapa sumber asap, meliputi asap korek api gas, obat nyamuk bakar, dan pembakaran kertas. Pada pengujian udara lingkungan, kondisi filtrasi aktif dilakukan dengan memanfaatkan media karbon biobriket dan aliran udara dari kipas, sedangkan filtrasi tidak aktif dilakukan tanpa aliran udara aktif. Hasil pengujian menunjukkan bahwa kondisi filtrasi aktif menghasilkan nilai rata-rata pembacaan sebesar 292,1 ppm, sedangkan filtrasi tidak aktif sebesar 223,5 ppm, dengan selisih 68,6 ppm yang dipengaruhi oleh respon sensor terhadap aliran udara. Pada pengujian menggunakan berbagai sumber asap, media karbon biobriket digunakan pada kedua kondisi, baik filtrasi aktif maupun filtrasi mati, dengan perbedaan pada keberadaan aliran udara dari kipas. Hasil pengujian menunjukkan bahwa kondisi filtrasi aktif secara konsisten menghasilkan nilai maksimum konsentrasi gas yang lebih rendah dibandingkan filtrasi mati. Pada asap korek api gas, nilai maksimum pada filtrasi mati mencapai hingga 1816 ppm dan menurun pada kisaran 889–1382 ppm pada filtrasi aktif. Pada asap obat nyamuk bakar, nilai maksimum filtrasi mati mencapai hingga 9408 ppm dan menurun menjadi 1057–2546 ppm pada filtrasi aktif. Hasil ini menunjukkan bahwa media karbon biobriket berperan sebagai adsorben gas, sementara aliran udara aktif dari kipas mempercepat penurunan konsentrasi gas selama pengujian.

## ABSTRACK

*Name* : Mufirati Akram  
*NIM* : 220714015  
*Mayor* : *Physics Engineering*  
*Title* : *Design and Development of an Internet of Things (IoT)-Based Monitoring System with Carbon Biobriquette Filtration*  
*Serial Date* : 28 January 2026  
*Thesis Thickness* : 71 page  
*Advisor* : Mursyidin, M.T.  
*Keyword* : *Internet of Things, ESP32, MQ-135, Carbon Biobriquette, Air Filtration*

*The decline in indoor air quality caused by combustion activities and other pollution sources requires a system capable of continuous monitoring and control. This study aims to design and evaluate an Internet of Things (IoT)-based air monitoring and filtration system utilizing carbon biobriquettes as the filtration medium. The research method employed was Research and Development (R&D), which included system design, prototype development, sensor calibration, and system performance testing. The system was developed using an MQ-135 gas sensor, an ESP32 microcontroller, a filtration fan, and carbon biobriquettes. Measurement data were displayed in real time through an Organic Light-Emitting Diode (OLED) screen and the Blynk application. Testing was conducted under two conditions, namely active filtration and inactive filtration, using ambient air and several smoke sources, including gas lighter smoke, mosquito coil smoke, and paper combustion smoke. In the ambient air test, the active filtration condition utilized carbon biobriquettes with forced airflow from the fan, while the inactive filtration condition was conducted without active airflow. The results showed that active filtration produced an average gas concentration reading of 292.1 ppm, while inactive filtration resulted in 223.5 ppm, with a difference of 68.6 ppm influenced by the sensor response to airflow. In tests using various smoke sources, carbon biobriquettes were applied in both conditions, with the primary difference being the presence of airflow from the filtration fan. The results indicated that active filtration consistently produced lower maximum gas concentration values compared to inactive filtration. For gas lighter smoke, the maximum concentration under inactive filtration reached 1816 ppm and decreased to 889–1382 ppm under active filtration. For mosquito coil smoke, the maximum concentration under inactive filtration reached 9408 ppm and decreased to 1057–2546 ppm under active filtration. These results demonstrate that carbon biobriquettes function as a gas adsorbent, while active airflow from the fan accelerates the reduction of gas concentration during the filtration process.*

## KATA PENGANTAR

Puji dan syukur penulis panjatkan ke hadirat Allah Ta'ala atas limpahan rahmat dan karunia-Nya sehingga penulis dapat menyelesaikan tugas akhir yang berjudul **“Rancang Bangun Alat *Monitoring* dengan Filtrasi Karbon Biobriket Berbasis *Internet of Things* (IoT)”**. Tugas akhir ini disusun sebagai salah satu syarat untuk memperoleh gelar sarjana pada Program Studi Teknik Fisika Fakultas Sains dan Teknologi Universitas Islam Negeri Ar-Raniry Banda Aceh. Pada kesempatan ini, penulis menyampaikan rasa terima kasih yang sebesar-besarnya kepada semua pihak yang telah memberikan bantuan, dukungan, dan kontribusi dalam penyusunan tugas akhir ini, kepada:

1. Prof. Dr. Ir. Muhammad Dirhamsyah, MT.,IPU., selaku Dekan Fakultas Sains dan Teknologi Universitas Islam Negeri Ar-Raniry Banda Aceh.
2. Nurhayati,S.Si, M.Si., selaku Ketua Program Studi Teknik Fisika dan Mulyadi Abdul Wahid, M.Sc selaku sekretaris program studi Teknik Fisika Fakultas Sains dan Teknologi Universitas Islam Negeri Ar-Raniry Banda Aceh.
3. Mursyidin, M.T., selaku dosen pembimbing tugas akhir yang telah memberikan bimbingan dan arahan selama proses penyusunan tugas akhir dan Hadi Kurniawan, M.Si., selaku pembimbing akademik yang telah memberikan bimbingan dan arahan selama menempuh pendidikan.
4. Segenap dosen Fakultas Sains dan Teknologi yang telah memberikan begitu banyak ilmu dan dukungan selama masa perkuliahan dan seluruh staff yang selalu sabar dalam melayani segala administrasi selama proses penelitian ini.
5. Orang tua tercinta, Ayahanda Murhami dan Ibunda Salmiyati, yang senantiasa menjadi sumber kekuatan utama dalam setiap langkah penulis. Beribu terima kasih penulis ucapkan atas kepercayaan, kesabaran, serta keyakinan yang selalu diberikan, bahkan pada saat penulis belum sepenuhnya percaya pada kemampuan diri sendiri. Dukungan yang diberikan tidak hanya berupa materi, tetapi juga doa, nasihat, dan semangat yang tidak pernah terputus. Kerja keras dan pengorbanan Ayah dan Mamak, disertai kasih sayang serta doa yang senantiasa mengiringi, menjadi dorongan besar bagi penulis untuk

terus berjuang dan menyelesaikan tugas akhir ini. Penulis menyadari sepenuhnya bahwa tanpa doa, dukungan, dan pengorbanan dari kedua orang tua, penyelesaian tugas akhir ini tidak akan dapat tercapai. Oleh karena itu, skripsi ini penulis persembahkan sebagai bentuk rasa hormat, terima kasih, dan bakti kepada Ayah dan Mamak.

6. Arum Nuriya dan Rafa Akmal Rafif, selaku kakak dan adik penulis, yang selalu menjadi penghibur di tengah kepenatan penulis selama proses penyusunan tugas akhir ini. Terima kasih atas canda, perhatian, serta semangat yang secara tidak langsung mampu meringankan beban dan mengembalikan motivasi penulis ketika merasa lelah dan jenuh. Kehadiran kalian menjadi penyemangat tersendiri bagi penulis untuk terus berjuang hingga dapat menyelesaikan tugas akhir ini.
7. Teman-teman seperjuangan yang telah memberi dukungan dan menemani selama proses penyusunan tugas akhir ini. Kehadiran kalian membuat perjalanan ini lebih ringan dan penuh semangat.

Penulis menyadari bahwa tugas akhir ini masih memiliki keterbatasan dan kekurangan. Oleh karena itu, penulis mengharapkan kritik dan saran yang membangun demi kesempurnaan di masa mendatang. Penulis berharap tugas akhir ini dapat memberikan manfaat bagi pembaca serta menjadi kontribusi positif dalam pengembangan ilmu pengetahuan dan teknologi.

Banda Aceh, 2 Januari 2026

Penulis,



Mufirati Akram

## DAFTAR ISI

<b>LEMBAR PERSETUJUAN .....</b>	<b>ii</b>
<b>LEMBAR PENGESAHAN .....</b>	<b>iii</b>
<b>LEMBAR PERNYATAAN KEASLIAN TUGAS AKHIR .....</b>	<b>iv</b>
<b>ABSTRAK .....</b>	<b>v</b>
<b>ABSTRACT .....</b>	<b>vi</b>
<b>KATA PENGANTAR.....</b>	<b>vii</b>
<b>DAFTAR ISI .....</b>	<b>ix</b>
<b>DAFTAR GAMBAR .....</b>	<b>xi</b>
<b>DAFTAR TABEL .....</b>	<b>xii</b>
<b>DAFTAR LAMPIRAN .....</b>	<b>xiii</b>
<b>BAB I PENDAHULUAN .....</b>	<b>1</b>
1.1 Latar Belakang .....	1
1.2 Rumusan Masalah .....	4
1.3 Tujuan Penelitian.....	5
1.4 Manfaat Penelitian .....	5
1.5 Batasan Penelitian .....	6
<b>BAB II TINJAUAN PUSTAKA.....</b>	<b>7</b>
2.1 <i>Internet of Things</i> .....	7
2.2 Konsep Dasar <i>Internet of Things</i> .....	8
2.3 Filtrasi karbon biobriket sebagai media pengendalian emisi gas.....	9
2.4 Sensor .....	11
<b>BAB III METODOLOGI PENELITIAN .....</b>	<b>14</b>
3.1 Jenis Penelitian.....	14
3.2 Identifikasi Riset ( <i>Research Identification</i> ) .....	15

3.3 Perancangan Sistem ( <i>System Planning</i> ).....	16
3.4 Perancangan Prototipe ( <i>Prototype Development</i> ) .....	17
3.5 Pengujian Prototipe ( <i>Prototype Testing</i> ) .....	20
3.6 Analisis Data dan Optimasi ( <i>Data Analyze and Optimization</i> ).....	22
<b>BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN.....</b>	<b>24</b>
4.1 Penerapan Metode <i>Research and Development</i> .....	24
4.2 Implementasi Prototipe Sistem .....	25
4.3 Pelaksanaan Pengujian <i>Black box</i> .....	26
4.4 Hasil Pengujian <i>Black box</i> Sistem Keseluruhan .....	27
4.5 Kalibrasi Sensor MQ-135 .....	28
4.6 Analisis Kinerja Sistem <i>Monitoring</i> dan Filtrasi Udara.....	30
4.6.1 Analisis Respon Sensor MQ-135 terhadap Sumber Gas dan Asap .....	31
4.6.2 Analisis Kinerja Kipas dan Media Karbon Biobriket dalam Sistem Filtrasi Udara .....	33
4.6.3 Analisis Sistem <i>Monitoring</i> Berbasis IoT Menggunakan Blynk.....	36
4.7 Hasil Pengujian Filtrasi Karbon Biobriket.....	37
4.8 Hasil Pengujian Filtrasi dengan Berbagai Sumber Asap.....	39
4.8.2 Pengujian dengan Sumber Asap Obat Nyamuk Bakar .....	41
4.8.3 Pengujian dengan Sumber Asap Pembakaran Kertas .....	42
4.9 Hasil Pengujian Kipas Filtrasi.....	44
4.10 Pembahasan Hasil Pengujian .....	45
<b>BAB V PENUTUP.....</b>	<b>48</b>
5.1 Kesimpulan .....	48
5.2 Saran.....	49
<b>DAFTAR PUSTAKA.....</b>	<b>50</b>
<b>LAMPIRAN.....</b>	<b>54</b>

## DAFTAR GAMBAR

<b>Gambar 2. 1</b> Cara kerja IoT .....	7
<b>Gambar 2. 2</b> Mikrokontroler ESP32 .....	9
<b>Gambar 2. 3</b> Referensi karbon biobriket .....	10
<b>Gambar 2. 4</b> Sensor MQ-135.....	12
<b>Gambar 3. 1</b> <i>Flowchart</i> metode penelitian .....	14
<b>Gambar 3. 2</b> <i>Flowchart</i> perancangan sistem .....	17
<b>Gambar 3. 3</b> Karbon Biobriket .....	19
<b>Gambar 3. 4</b> Visual Rangkaian Prototipe .....	19
<b>Gambar 4.1</b> Sistem <i>monitoring</i> dan filtrasi karbon biobriket.....	25
<b>Gambar 4. 2</b> Prototipe sistem filtrasi karbon biobriket .....	26
<b>Gambar 4. 3</b> Grafik nilai $R_o$ .....	30
<b>Gambar 4. 4</b> Grafik hubungan nilai konsentrasi terhadap waktu pada paparan asap kertas .....	32
<b>Gambar 4. 5</b> Perbandingan nilai konsentrasi antara filtrasi hidup dan filtrasi mati .....	34
<b>Gambar 4. 6</b> Rata-rata nilai konsentrasi antara filtrasi hidup dan filtrasi mati....	35
<b>Gambar 4. 7</b> Tampilan Sistem <i>Monitoring</i> Berbasis IoT.....	36
<b>Gambar 4. 8</b> Grafik perbandingan kondisi biobriket dengan nilai konsentrasi ...	38
<b>Gambar 4. 9</b> Perubahan nilai konsentrasi dari korek api gas terhadap waktu dengan filtrasi hidup.....	40
<b>Gambar 4. 10</b> Perubahan nilai konsentrasi dari korek api gas terhadap waktu dengan filtrasi mati.....	40
<b>Gambar 4. 11</b> Perubahan nilai konsentrasi dari asap obat nyamuk bakar terhadap waktu dengan filtrasi hidup.....	42
<b>Gambar 4. 12</b> Perubahan nilai konsentrasi dari asap obat nyamuk bakar terhadap waktu dengan filtrasi mati.....	42
<b>Gambar 4. 13</b> Perubahan nilai konsentrasi dari sumber asap pembakaran kertas	44
<b>Gambar 4. 14</b> Perubahan nilai konsentrasi dari sumber asap pembakaran kertas	44

## DAFTAR TABEL

<b>Tabel 3. 1</b> Konfigurasi koneksi komponen sistem dengan ESP32 .....	18
<b>Tabel 3. 2</b> Tabel pengujian menggunakan metode Black box .....	21
<b>Tabel 4. 1</b> Hasil Pengujian Black box Sistem <i>Monitoring</i> Kualitas Udara .....	27
<b>Tabel 4. 2</b> Data kalibrasi sensor MQ-135 dan perhitungan nilai Ro .....	28
<b>Tabel 4. 3</b> Data hasil pengujian filtrasi karbon biobriket .....	37
<b>Tabel 4. 4</b> Data hasil pengujian dengan sumber korek api gas .....	39
<b>Tabel 4. 5</b> Data hasil pengujian dengan sumber asap obat nyamuk bakar .....	41
<b>Tabel 4. 6</b> Data hasil pengujian dengan sumber asap pembakaran kertas .....	43
<b>Tabel 4. 7</b> Data hasil pengujian kipas filtrasi .....	45



## DAFTAR LAMPIRAN

Lampiran 1 Komponen-komponen yang terdapat dalam siste.....	54
Lampiran 2 Alat dan bahan sistem filtrasi beserta proses perakitan .....	55
Lampiran 3 Proses perakitan prototipe sistem <i>monitoring</i> .....	56
Lampiran 4 Sistem <i>monitoring</i> dan filtrasi berbasis IoT .....	57
Lampiran 5 Pengujian filtrasi dengan berbagai sumber gas / asap .....	58



# BAB I

## PENDAHULUAN

### 1.1 Latar Belakang

Pencemaran udara menjadi salah satu persoalan lingkungan global yang memiliki dampak besar terhadap kehidupan manusia dan ekosistem. Menurut Organisasi Kesehatan Dunia (WHO), lebih dari 90% penduduk dunia tinggal di tempat-tempat dengan udara yang tidak sehat untuk dihirup, mengakibatkan 4,2 kematian di seluruh dunia setiap tahun (WHO, 2022). Di Indonesia, polusi udara juga menjadi masalah yang signifikan, Kondisi ini tercermin dari tingginya tingkat pencemaran udara di sejumlah kota besar, termasuk Jakarta dan Surabaya. Kualitas udara yang baik sangat berpengaruh terhadap kenyamanan, produktivitas, dan kesehatan manusia, khususnya pada ruang tertutup. Konsentrasi CO<sub>2</sub> di bawah 1.000 ppm masih dianggap dapat diterima, namun nilai ideal berada pada kisaran 400–600 ppm. Peningkatan konsentrasi CO<sub>2</sub> di atas batas tersebut dapat menyebabkan rasa pengap, penurunan konsentrasi, serta gangguan pernapasan jika terpapar dalam waktu lama.

Permasalahan pencemaran udara tersebut tidak terlepas dari meningkatnya aktivitas manusia yang masih sangat bergantung pada sumber energi konvensional. Kebutuhan akan energi bersih dan terbarukan menjadi isu global yang mendesak di tengah berbagai tantangan lingkungan dan krisis energi. Dunia kini menghadapi konsekuensi dari ketergantungan terhadap energi fosil, baik dari aspek kelangkaan sumber daya, fluktuasi harga, hingga dampak lingkungan yang ditimbulkan. Meningkatnya emisi gas rumah kaca turut memperparah pencemaran udara serta memicu terjadinya pemanasan global. Sumber energi fosil yang meliputi minyak bumi, batu bara, dan gas alam masih banyak digunakan hingga saat ini. Selama lebih dari satu abad menjadi tulang punggung pembangunan industri, perlahan menunjukkan tanda-tanda keterbatasannya. Menurut laporan *International Energy Agency* (IEA) lebih dari 70% emisi karbon dioksida global berasal dari sektor energi yang bersumber dari bahan bakar fosil menjadi salah satu penyebab utama pencemaran lingkungan. Oleh karena itu, diperlukan upaya pengembangan sumber

energi alternatif yang lebih ramah lingkungan dan berkelanjutan, menjadi prioritas bagi banyak negara, termasuk Indonesia (Kholif, 2025).

Sebagai bentuk respons terhadap permasalahan tersebut, pemerintah Indonesia menetapkan berbagai kebijakan strategis dalam upaya pengendalian emisi karbon. Pemerintah Indonesia terus memperkuat komitmen supaya langkah ini diharapkan dapat berkontribusi dalam menekan emisi gas rumah kaca melalui kebijakan yang lebih baru. Pemerintah juga telah menetapkan kebijakan melalui Peraturan Presiden Nomor 98 Tahun 2021 tentang Penyelenggaraan Nilai Ekonomi Karbon (NEK) menggantikan Perpres No. 61 Tahun 2011 dan menjadi dasar pengendalian emisi nasional berbasis mekanisme pasar karbon. Kebijakan ini diperjelas melalui *Enhanced Nationally determined contribution (NDC)* tahun 2022 yang menetapkan target penurunan emisi sebesar 31,89% secara mandiri serta hingga 43,20% dengan dukungan internasional. Untuk mencapai target tersebut, dibutuhkan sistem MRV (*Measurement, Reporting, and Verification*) atau pengukuran, pelaporan, dan verifikasi emisi yang akurat. Teknologi *monitoring* dan filtrasi karbon dapat membantu proses ini dengan memantau dan mengurangi kadar CO<sub>2</sub> dari berbagai sumber secara efisien dan berkelanjutan (Farhan et al., 2025).

Selain sektor energi, sektor pertanian juga berkontribusi terhadap permasalahan lingkungan sekaligus memiliki potensi sebagai solusi energi terbarukan. Bidang pertanian memiliki kontribusi yang sangat signifikan terhadap perekonomian nasional. Namun, seiring dengan kemajuan sektor ini, timbul pula permasalahan lingkungan akibat peningkatan volume limbah pertanian seperti sekam, jerami, dan berbagai jenis limbah organik lainnya. Limbah tersebut sering kali tidak dimanfaatkan secara optimal, bahkan dibuang atau dibakar, yang berpotensi mencemari lingkungan dan menyebabkan kerugian ekonomi (Kriswantriyono et al., 2022). Dari sisi edukasi dan riset, alat ini juga memiliki potensi besar untuk digunakan dalam kegiatan praktikum, penyuluhan energi terbarukan, serta penelitian lebih lanjut terkait performa pembakaran biobriket dengan berbagai parameter (jenis bahan baku, kadar air, suhu pembakaran, dsb). Adanya data yang terukur dan terintegrasi akan membantu memperbaiki desain alat pembakaran dan meningkatkan kualitas biobriket secara keseluruhan. Bahkan,

pengembangan lebih lanjut dapat diarahkan pada integrasi dengan sistem IoT untuk pemantauan jarak jauh dan pengumpulan data secara kolektif.

Pemanfaatan limbah pertanian tersebut dapat diwujudkan melalui pengembangan energi biomassa, salah satunya dalam bentuk biobriket. Indonesia sebagai negara agraris dengan kekayaan sumber daya hayati yang melimpah memiliki potensi besar dalam pengembangan energi biomassa. Salah satu bentuk energi terbarukan yang cukup menjanjikan adalah biobriket, yaitu bahan bakar padat yang terbuat dari limbah biomassa, seperti serbuk gergaji, sekam padi, tempurung kelapa, limbah pertanian, hingga limbah organik rumah tangga. Biobriket memiliki keunggulan dari sisi ketersediaan bahan baku, kemudahan produksi, nilai kalor yang cukup tinggi, serta karakteristik ramah lingkungan jika diproses dan digunakan dengan tepat (Vegatama, 2022). Biobriket juga mampu mengurangi ketergantungan terhadap bahan bakar minyak dan gas, khususnya di wilayah pedesaan dan daerah terpencil yang belum sepenuhnya terjangkau infrastruktur energi modern.

Agar potensi biobriket sebagai media adsorben dapat dimanfaatkan secara optimal, diperlukan sistem pemantauan emisi yang terintegrasi dengan teknologi modern. Teknologi mikrokontroler memberikan peluang besar dalam menciptakan sistem pemantauan emisi yang sederhana, murah, dan efektif. Mikrokontroler seperti Arduino, ESP32, atau Raspberry Pi telah banyak digunakan dalam berbagai aplikasi otomasi dan pemantauan lingkungan. Dengan dukungan sensor gas MQ-135, sistem ini dapat membaca konsentrasi gas secara *real-time* dan memberikan informasi kepada pengguna dalam bentuk tampilan visual atau peringatan otomatis (Al, 2025). Penggunaan teknologi ini memungkinkan masyarakat untuk mengetahui tingkat emisi yang dihasilkan dari pembakaran biobriket secara langsung, sehingga meningkatkan kesadaran dan keamanan dalam penggunaannya.

Beberapa penelitian terdahulu telah mengkaji sistem *monitoring* gas dan pemanfaatan karbon, namun masih memiliki keterbatasan. Penelitian oleh (Putra et al., 2025) mengembangkan sistem *monitoring* kualitas udara berbasis IoT menggunakan sensor MQ-135 untuk mendeteksi gas CO<sub>2</sub>. Sistem tersebut mampu menampilkan data secara *real-time*, namun belum dilengkapi dengan mekanisme filtrasi, sehingga hanya berfungsi sebagai alat pemantauan tanpa upaya penurunan

konsentrasi gas. Penelitian lain oleh (Sari dan Nugroho., 2024) memanfaatkan karbon berbasis biomassa sebagai media adsorben untuk menurunkan konsentrasi CO<sub>2</sub>. Meskipun hasil penelitian menunjukkan kemampuan adsorpsi yang cukup baik, sistem tersebut belum terintegrasi dengan teknologi IoT, sehingga efektivitas proses filtrasi tidak dapat dipantau secara *real-time* dan berkelanjutan.

Selain itu, penelitian yang dilakukan oleh (Asrar et al., 2023) mengembangkan sistem kontrol automasi dan *monitoring* pembersih udara berbasis *Internet of Things* (IoT) dengan menggunakan filter limbah cangkang telur dan serat batang kelapa. Sistem tersebut mampu melakukan pemantauan kualitas udara serta pengendalian proses pembersihan udara secara otomatis. Namun, media filtrasi yang digunakan belum berupa karbon aktif atau karbon biobriket, sehingga kemampuan adsorpsi gas karbon dioksida (CO<sub>2</sub>) belum dikaji secara spesifik dan kuantitatif. Selain itu, penelitian tersebut lebih berfokus pada fungsi pembersih udara secara umum dan belum mengevaluasi kinerja media filtrasi dalam menurunkan konsentrasi CO<sub>2</sub> secara berkelanjutan berbasis data *real-time*.

Berdasarkan ketiga penelitian tersebut, dapat disimpulkan bahwa masing-masing masih memiliki keterbatasan. Penelitian Putra et al. (2023) hanya berfokus pada sistem *monitoring* tanpa filtrasi, penelitian Sari dan Nugroho (2024) menitikberatkan pada kemampuan adsorpsi karbon tanpa integrasi sistem IoT, sedangkan penelitian Asrar et al. (2023) belum menggunakan karbon biobriket sebagai media adsorben dan belum mengkaji efektivitas penurunan konsentrasi CO<sub>2</sub> secara kuantitatif. Oleh karena itu, masih terdapat celah penelitian berupa belum adanya sistem yang mengintegrasikan *monitoring* konsentrasi CO<sub>2</sub> secara *real-time* dengan filtrasi karbon biobriket dalam satu perangkat berbasis *Internet of Things* (IoT) untuk evaluasi kinerja adsorpsi karbon secara berkelanjutan.

## 1.2 Rumusan Masalah

Berdasarkan pemaparan latar belakang sebelumnya, maka permasalahan yang dikaji dalam penelitian ini dirumuskan sebagai berikut:

1. Bagaimana rancangan sistem alat *monitoring* dan pengendali emisi gas CO<sub>2</sub> berbasis IoT?

2. Bagaimana kinerja alat *monitoring* dan filtrasi karbon berbasis IoT dalam mengurangi emisi CO<sub>2</sub>?
3. Bagaimana pengaruh penggunaan biobriket sebagai media filtrasi terhadap perubahan kualitas udara lingkungan?

### 1.3 Tujuan Penelitian

Penelitian ini bertujuan untuk mengembangkan suatu sistem pemantauan dan filtrasi karbon berbasis *Internet of Things* (IoT) yang dapat digunakan untuk:

1. Untuk Merancang sistem pemantauan dan penyaringan emisi CO<sub>2</sub>.
2. Untuk menguji kinerja alat *monitoring* dan filtrasi karbon berbasis IoT dalam mengurangi emisi CO<sub>2</sub>.
3. Untuk menganalisis pengaruh penggunaan biobriket sebagai media filtrasi terhadap perubahan kualitas udara lingkungan.

### 1.4 Manfaat Penelitian

#### a. Manfaat Teoritis

1. Penelitian ini memberikan kontribusi terhadap pengembangan sistem *monitoring* kualitas udara berbasis IoT, khususnya dalam pemantauan perubahan gas pencemar menggunakan sensor MQ-135.
2. Menambah kajian ilmiah mengenai pemanfaatan karbon biobriket sebagai media alternatif filtrasi gas dalam sistem *monitoring* kualitas udara berbasis IoT.
3. Menjadi referensi bagi penelitian selanjutnya dalam pengembangan sistem *monitoring* dan filtrasi kualitas udara berbasis IoT yang terintegrasi dengan mikrokontroler dan sensor gas.

#### b. Manfaat Praktis

1. Penelitian ini menghasilkan prototipe sistem *monitoring* kualitas udara berbasis IoT yang mampu memantau perubahan kondisi udara secara *real-time* dan jarak jauh.
2. Sistem yang dirancang dapat membantu pengguna dalam mengetahui kondisi kualitas udara di ruang tertutup, sehingga dapat digunakan sebagai alat bantu pemantauan lingkungan.

3. Pemanfaatan karbon biobriket sebagai media alternatif filtrasi diharapkan dapat menjadi solusi awal yang sederhana, ramah lingkungan, dan mudah dikembangkan lebih lanjut.

### 1.5 Batasan Penelitian

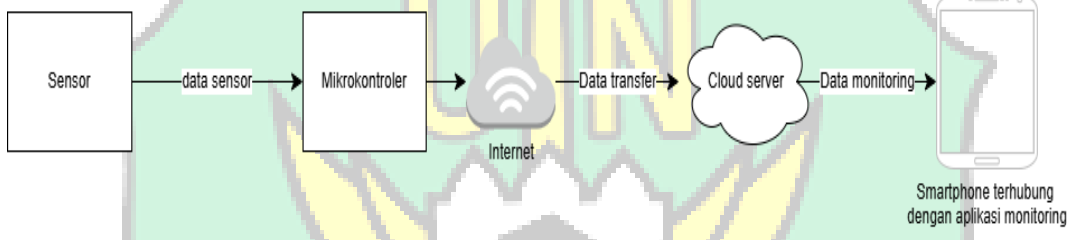
1. Penelitian ini dilakukan pada ruangan tertutup dengan ventilasi alami yang digunakan sebagai media pengujian dan kalibrasi sensor MQ-135. Pengujian tidak dilakukan pada lingkungan terbuka maupun kondisi ekstrem seperti area industri atau pabrik, sehingga hasil penelitian merepresentasikan kondisi ruangan dengan aktivitas normal dan sirkulasi udara terbatas.
2. Parameter yang diamati dalam penelitian ini adalah konsentrasi gas karbon dioksida (CO<sub>2</sub>) ekuivalen yang diukur menggunakan sensor MQ-135. Sumber asap yang digunakan dalam pengujian meliputi asap kertas, asap pembakaran obat nyamuk, dan gas korek api, yang berfungsi sebagai pemicu peningkatan konsentrasi gas di dalam ruangan. Gas selain CO<sub>2</sub> tidak dianalisis secara spesifik dan tidak menjadi objek utama dalam proses pengukuran maupun filtrasi.
3. Penelitian ini hanya berfokus pada pengujian sistem dalam kondisi lingkungan tertentu, seperti suhu dan kelembaban tertentu, dan tidak mencakup pengujian sistem dalam kondisi lingkungan yang ekstrem atau bervariasi.

## BAB II

### TINJAUAN PUSTAKA

#### 2.1 *Internet of Things*

*Internet of Things* (IoT) merupakan konsep yang menggambarkan keterhubungan antara berbagai perangkat fisik yang dilengkapi dengan sensor, aktuator, serta sistem komputasi tertanam, sehingga perangkat tersebut dapat saling berkomunikasi melalui jaringan internet. Keterhubungan ini memungkinkan objek-objek fisik untuk bertukar data dan informasi tanpa memerlukan interaksi langsung dari manusia (Mphale et al., 2024). Dalam sistem pengukuran, IoT berperan sebagai lapisan akuisisi dan transmisi data hasil konversi besaran fisis yang diperoleh dari sensor.



**Gambar 2. 1** Cara kerja IoT

Integrasi sensor dengan mikrokontroler memungkinkan sinyal hasil pengukuran diolah secara efisien (Witczak & Szymoniak, 2024). Sensor dalam sistem IoT berfungsi sebagai transduser, yaitu elemen yang mengubah besaran fisis lingkungan (seperti konsentrasi gas) menjadi sinyal listrik. Sinyal ini kemudian diproses oleh mikrokontroler sebagai data digital. Arduino merupakan platform mikrokontroler berbasis open-source yang banyak digunakan untuk keperluan akuisisi data dan pengolahan sinyal (Manoj et al., 2022). Keunggulan utama Arduino terletak pada kemudahan pemrograman, fleksibilitas antarmuka dengan berbagai sensor, serta biaya pengembangan yang relatif rendah (Mobaraki et al., 2021).

Karakteristik ini menjadikan Arduino sesuai untuk sistem pengukuran fisis yang membutuhkan respon waktu cepat dan kestabilan sinyal. Keandalan Arduino dalam menangani proses *real-time* dan kemampuannya bekerja pada variasi suhu serta kelembaban lingkungan menjadikannya relevan untuk aplikasi pemantauan

kualitas udara (Selvam & Al-Humairi, 2023). Perkembangan teknologi IoT juga berperan dalam sektor energi dan lingkungan. Penerapan IoT memungkinkan proses digitalisasi sistem pemantauan lingkungan sehingga data kondisi udara dapat diperoleh secara *real-time* dan berkelanjutan. Dengan adanya pemantauan berbasis data, proses evaluasi kinerja sistem filtrasi dan pengendalian emisi dapat dilakukan secara lebih akurat (Dian et al., 2025)

## 2.2 Konsep Dasar *Internet of Things*

Secara umum, IoT dapat dipahami sebagai sistem yang mengintegrasikan perangkat fisik, sensor, dan sistem komputasi untuk menjalankan fungsi tertentu berdasarkan data hasil pengukuran. Dalam sistem ini, sensor berperan sebagai elemen awal yang menangkap besaran fisis lingkungan, sedangkan mikrokontroler berfungsi sebagai unit pemroses yang menerjemahkan data tersebut ke dalam bentuk informasi (Raja et al., 2023). Alur ini mencerminkan prinsip dasar sistem pengukuran dalam fisika, yaitu proses sensing, konversi sinyal, dan interpretasi data.

Setelah perangkat terhubung ke jaringan internet dan memiliki alamat IP, data hasil pengukuran dapat dikirim secara otomatis ke server atau platform berbasis cloud. Data tersebut kemudian diolah baik secara lokal maupun jarak jauh untuk menghasilkan informasi yang dapat digunakan dalam pengambilan keputusan (Islam & Motakabber, 2025). Pemanfaatan cloud dalam sistem IoT memungkinkan analisis statistik dan pemantauan tren perubahan besaran fisis dalam jangka waktu tertentu. Sistem IoT modern sering dikombinasikan dengan teknik analisis lanjutan untuk meningkatkan akurasi pemantauan. Data sensor yang dikumpulkan secara kontinu dapat dianalisis untuk mengidentifikasi pola perubahan kondisi lingkungan, termasuk fluktuasi kualitas udara akibat aktivitas manusia (Olatomiwa et al., 2023).

ESP32 merupakan mikrokontroler yang banyak digunakan dalam sistem IoT karena telah dilengkapi dengan konektivitas WiFi dan Bluetooth. Fitur tersebut memungkinkan ESP32 berfungsi sebagai pengendali utama dalam pengumpulan, pemrosesan, dan pengiriman data sensor melalui jaringan internet secara *real-time* (Zenhadi, 2022). Selain itu, ESP32 memiliki antarmuka input-output yang fleksibel

sehingga mudah diintegrasikan dengan berbagai jenis sensor. Kemampuan ini mendukung sistem pengukuran lingkungan yang ringkas, efisien, dan responsif terhadap perubahan kondisi fisis di sekitarnya (Nugraha et al., 2024).



**Gambar 2. 2** Mikrokontroler ESP32

**Sumber:** Website [arduinoindonesia.id](http://arduinoindonesia.id)

*IoT* dapat didefinisikan sebagai konsep yang menghubungkan berbagai perangkat fisik ke jaringan internet sehingga perangkat tersebut mampu beroperasi dan saling bertukar data secara cerdas. Dalam sistem ini, kombinasi perangkat keras dan perangkat lunak memungkinkan terjadinya komunikasi antarperangkat, baik melalui jaringan nirkabel maupun kabel, dengan dukungan sensor yang terpasang pada masing-masing perangkat (Mouha, 2021). Penerapan teknologi IoT dinilai efektif dalam mendukung pemantauan kualitas udara di lingkungan laboratorium karena mampu menghasilkan data yang akurat serta dapat diakses secara langsung dan berkelanjutan. Selain itu, sistem IoT memungkinkan proses transmisi data berlangsung secara cepat dan efisien menuju pusat pengawasan, sehingga proses analisis dapat dilakukan dengan lebih optimal. Kondisi tersebut mendukung pengambilan keputusan yang lebih tepat serta tindakan yang responsif dalam menangani permasalahan kualitas udara di lingkungan laboratorium.

### **2.3 Filtrasi karbon biobriket sebagai media pengendalian emisi gas**

Filtrasi karbon biobriket merupakan proses penyaringan gas pencemar udara dengan memanfaatkan material karbon hasil karbonisasi biomassa sebagai media adsorben. Proses adsorpsi terjadi akibat interaksi antara molekul gas dan permukaan padatan karbon, sehingga konsentrasi gas di udara dapat berkurang (Norhikmah et al., 2021). Secara fisis, mekanisme adsorpsi dipengaruhi oleh luas permukaan

spesifik material karbon, energi ikatan antar molekul, serta waktu kontak antara aliran gas dan media filtrasi, yang menentukan jumlah gas yang dapat terikat pada permukaan karbon.



**Gambar 2. 3** Referensi karbon biobriket

**Sumber:** Website FTMM Universitas Airlangga

Pemanfaatan biomassa sebagai bahan baku biobriket sejalan dengan kebijakan pengembangan energi baru dan terbarukan di Indonesia yang menargetkan peningkatan kontribusi EBT hingga 23% pada tahun 2025 (Noor et al., 2022). Biobriket yang dihasilkan dari limbah biomassa memiliki kandungan karbon tinggi dan tidak hanya berfungsi sebagai sumber energi alternatif, tetapi juga berpotensi dimanfaatkan sebagai media filtrasi gas melalui mekanisme adsorpsi permukaan. Karakteristik termal serta struktur material karbon hasil karbonisasi berpengaruh terhadap efektivitas penyerapan gas CO<sub>2</sub>.

Berbagai penelitian menunjukkan bahwa biomassa berlignoselulosa seperti tempurung kelapa dan limbah serbuk kayu memiliki nilai kalor yang tinggi serta struktur mikro berpori setelah proses karbonisasi (Fahrussiam et al., 2023). Struktur pori tersebut berperan sebagai situs aktif adsorpsi gas, sehingga meningkatkan efektivitas filtrasi. Dengan demikian, penggunaan karbon biobriket dalam sistem filtrasi udara dapat dianalisis sebagai interaksi antara material padat berpori dan fluida gas dalam kajian fisis material. Dengan demikian, penggunaan karbon biobriket dalam sistem filtrasi udara dapat dianalisis sebagai interaksi antara material padat dan fluida gas dalam kerangka kajian fisis material. Densitas ( $\rho$ ) merupakan besaran fisis yang menyatakan massa per satuan volume suatu material. Secara matematis, densitas dinyatakan dengan persamaan:

$$\rho = \frac{m}{V} \quad \dots\dots\dots(2.1)$$

dengan:

$\rho$  = densitas (kg/m<sup>3</sup>)

$m$  = massa (kg)

$V$  = volume (m<sup>3</sup>)

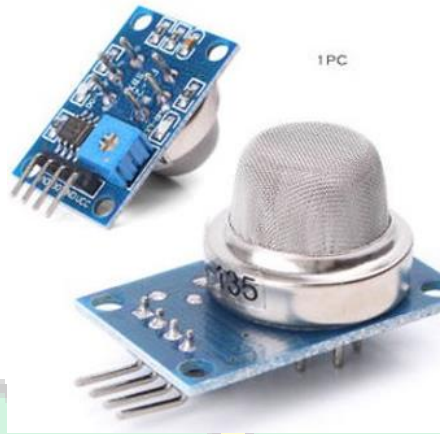
## 2.4 Sensor

Sensor merupakan perangkat yang berfungsi untuk mendeteksi besaran fisis tertentu dan mengubahnya menjadi sinyal listrik yang dapat diukur. Dalam sistem pengukuran, sensor berperan sebagai transduser, yaitu elemen yang mengonversi energi fisis menjadi sinyal listrik sehingga dapat diproses lebih lanjut. Perubahan besaran fisis seperti konsentrasi gas, suhu, atau tekanan akan memengaruhi sifat listrik sensor, misalnya resistansi atau tegangan keluaran, yang menjadi dasar dalam proses akuisisi data (Manisolidis et al., 2020).

Sensor gas bekerja berdasarkan perubahan resistansi material sensitif saat berinteraksi dengan molekul gas di udara. Perubahan resistansi ini memengaruhi tegangan keluaran sensor ( $V_{out}$ ), yang dapat dikaitkan dengan konsentrasi gas ( $C$ ) melalui rasio  $R_s/R_0$ , di mana  $R_s$  adalah resistansi sensor pada kondisi tertentu dan  $R_0$  adalah resistansi pada udara bersih (Rani, 2020). Hubungan ini menjadi dasar teori pengukuran gas dan kalibrasi sensor yang dijelaskan lebih rinci dalam Bab 3.

Salah satu sensor gas yang banyak digunakan dalam pemantauan kualitas udara adalah sensor MQ-135. Sensor ini memiliki sensitivitas yang relatif tinggi, waktu respon yang cepat, serta stabilitas kerja yang baik sehingga cocok digunakan dalam sistem pemantauan lingkungan. MQ-135 mampu mendeteksi keberadaan berbagai gas pencemar, seperti karbon monoksida (CO), nitrogen dioksida (NO<sub>2</sub>), amonia (NH<sub>3</sub>), sulfur dioksida (SO<sub>2</sub>), serta gas lain yang berpengaruh terhadap kualitas udara (Muttaqin et al., 2024). Dalam penelitian ini, sensor MQ-135 dimanfaatkan untuk merepresentasikan perubahan kualitas udara berbasis konsentrasi gas

ekuivalen karbon dioksida (CO<sub>2</sub> equivalent), sehingga hasil pengukuran menunjukkan kecenderungan kondisi udara, bukan konsentrasi CO<sub>2</sub> murni.



**Gambar 2. 4** Sensor MQ-135

**Sumber:** <https://share.google/P3pkJYnyRkmD7o9Hg>

Secara fisis, prinsip kerja sensor MQ-135 didasarkan pada perubahan resistansi material semikonduktor akibat interaksi molekul gas dengan permukaan sensor. Adsorpsi gas pada lapisan sensitif menyebabkan perubahan distribusi muatan listrik yang berimplikasi pada perubahan nilai resistansi sensor. Perubahan resistansi tersebut kemudian dikonversi menjadi sinyal listrik berupa tegangan keluaran yang dapat dibaca oleh sistem pengukuran. Sensor MQ-135 banyak diaplikasikan dalam sistem pemantauan kualitas udara karena responnya yang cepat dan kestabilan karakteristik listriknya. Data hasil pengukuran sensor kemudian diproses oleh mikrokontroler untuk ditampilkan atau dikirim melalui sistem IoT (Taufiq et al., 2024). Dengan demikian, sensor MQ-135 berperan sebagai elemen utama dalam sistem instrumentasi yang menghubungkan fenomena fisis lingkungan dengan sistem pemrosesan data digital.

Sensor ini beroperasi dengan mendeteksi perubahan nilai resistansi ketika gas tertentu terdistribusi di lingkungan sekitarnya. Perubahan resistansi tersebut selanjutnya dikonversi menjadi sinyal keluaran berupa tegangan atau arus listrik. Sensor MQ-135 umumnya dimanfaatkan dalam sistem pemantauan kualitas udara, termasuk untuk deteksi kebakaran, pengendalian sistem ventilasi, serta pengawasan

kondisi udara di dalam ruangan. Melalui sensor ini, pengguna dapat memonitor kualitas udara secara *real-time* dan mengambil langkah yang sesuai guna menjaga lingkungan tetap aman dan sehat (Feriyanto, 2022).

Sensor MQ-135 banyak diaplikasikan dalam sistem pemantauan kualitas udara untuk deteksi pencemaran, pengendalian ventilasi, dan sistem peringatan dini kebakaran. Data hasil pengukuran sensor diolah menggunakan mikrokontroler, seperti Arduino Uno, yang berfungsi sebagai unit pemroses sinyal dalam sistem instrumentasi. Arduino Uno dipilih karena kemampuannya membaca sinyal analog dari sensor serta kemudahan integrasinya dalam sistem pemantauan berbasis IoT (Nurjannah et al., 2024).

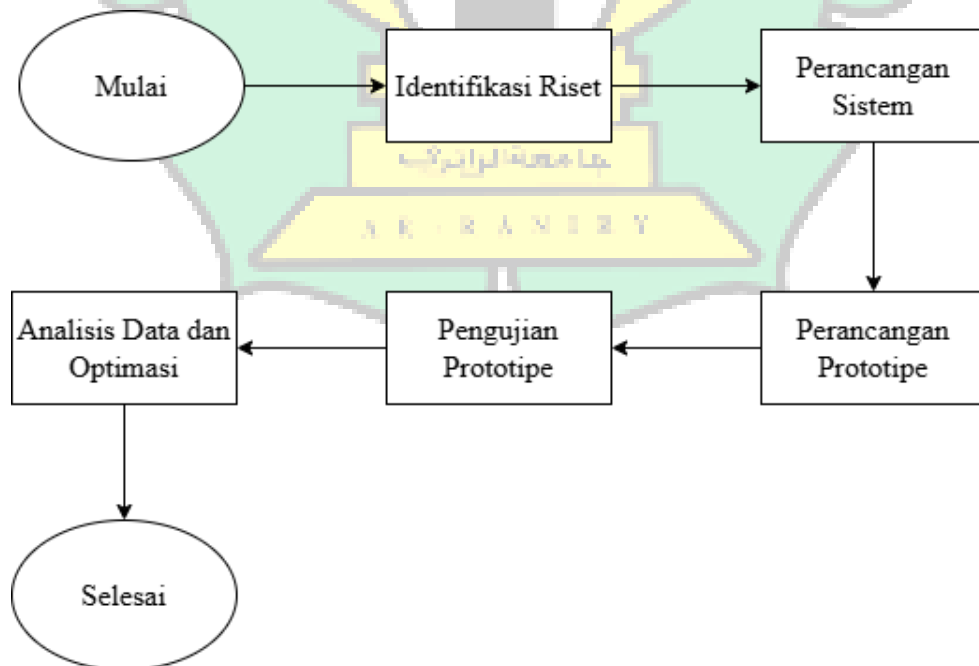
Peningkatan kadar karbon dioksida ( $\text{CO}_2$ ) di atmosfer dipengaruhi oleh aktivitas manusia, seperti pembakaran sekam padi, sampah rumah tangga, dan asap rokok, yang berkontribusi pada pembentukan gas rumah kaca dan berdampak negatif terhadap kesehatan (Kriswantriyono et al., 2022). US Environmental Protection Agency (EPA) melaporkan bahwa risiko pencemaran udara di dalam ruangan bisa 2–5 kali lebih tinggi dibandingkan di luar ruangan, sehingga penggunaan alat penyaring udara menjadi penting. Filter HEPA menangkap partikel hingga 0,3 mikron dengan efisiensi 99,97%, sedangkan penambahan karbon aktif meningkatkan kemampuan adsorpsi gas  $\text{CO}_2$ . Secara fisika, mekanisme ini terjadi melalui interaksi molekul gas dengan permukaan berpori karbon aktif, di mana gaya van der Waals dan ikatan fisik lainnya memungkinkan gas tertahan di dalam pori, sehingga mengurangi konsentrasi  $\text{CO}_2$  di udara (Allena et al., 2025).

## BAB III

### METODOLOGI PENELITIAN

#### 3.1 Jenis Penelitian

Penelitian ini menerapkan metode *Research and Development (R&D)* atau dalam bahasa Indonesia dikenal sebagai metode Penelitian dan Pengembangan. Pemilihan metode ini didasarkan pada kesesuaiannya dengan tujuan utama penelitian, yaitu merancang dan menghasilkan sebuah prototipe. Metode R&D berfokus pada proses pengembangan produk, baik dalam menciptakan produk baru maupun melakukan penyempurnaan terhadap produk yang sudah ada sebelumnya. Melalui suatu proses sistematis dan berkelanjutan yang mencakup tahap perencanaan, pembuatan, evaluasi, serta revisi produk. Dalam konteks penelitian ini, produk yang dikembangkan berupa suatu alat yang mampu memantau secara *real-time* parameter-parameter lingkungan selama proses filtrasi dengan menggunakan biobriket sebagai media absorbent. Metode ini dipilih karena fleksibel dan telah banyak digunakan dalam berbagai pengembangan produk teknologi dan pendidikan. Dibawah ini merupakan diagram alir (*Flowchart*) berdasarkan kebutuhan dan hasil analisis dari penelitian yang dilakukan.



**Gambar 3. 1** *Flowchart* metode penelitian

*Flowchart* pada Gambar 3.1 menunjukkan alur penelitian dan pengembangan prototipe sistem *monitoring* dengan filtrasi karbon biobriket. Penelitian dimulai dengan perencanaan yang mencakup penetapan tujuan, ruang lingkup, dan persiapan awal, kemudian dilanjutkan dengan identifikasi riset melalui kajian literatur untuk memperoleh dasar teori yang relevan, menentukan metode pengukuran yang tepat, serta memahami parameter-parameter penting yang akan diamati dalam prototipe. Berdasarkan hasil kajian tersebut, sistem dirancang secara konseptual dan diwujudkan dalam bentuk prototipe awal, yang selanjutnya diuji untuk menilai kinerja secara menyeluruh, termasuk efektivitas proses *monitoring* dan filtrasi, serta untuk mengumpulkan data sebagai dasar analisis lebih lanjut. Data yang diperoleh dianalisis untuk mengevaluasi performa sistem, dan optimasi dilakukan jika diperlukan, hingga seluruh proses penelitian dan pengembangan prototipe selesai dan didokumentasikan secara sistematis sebagai bagian dari laporan skripsi.

### **3.2 Identifikasi Riset (*Research Identification*)**

Penelitian ini difokuskan pada perancangan dan pembangunan sistem terintegrasi untuk *monitoring* kualitas udara dan filtrasi gas menggunakan biobriket sebagai media adsorben. Fokus utama adalah pengembangan alat berbasis mikrokontroler yang mampu mendeteksi konsentrasi karbon secara *real-time* serta mengaktifkan sistem filtrasi sesuai ambang batas yang ditetapkan. Identifikasi mencakup kebutuhan akan sensor yang sesuai untuk mendeteksi gas karbon, pemrosesan data secara digital melalui mikrokontroler, serta integrasi komponen filtrasi yang efektif dan responsif terhadap hasil pemantauan. Riset ini mengarah pada pemecahan masalah teknis dalam pengukuran emisi karbon, pengendalian sistem secara otomatis, dan optimalisasi desain alat agar efisien secara fungsional maupun ekonomis. Selain itu, penelitian ini juga mempertimbangkan aspek kalibrasi sensor, kestabilan sistem *monitoring*, serta efektivitas unit filtrasi dalam menurunkan kadar karbon yang terdeteksi.

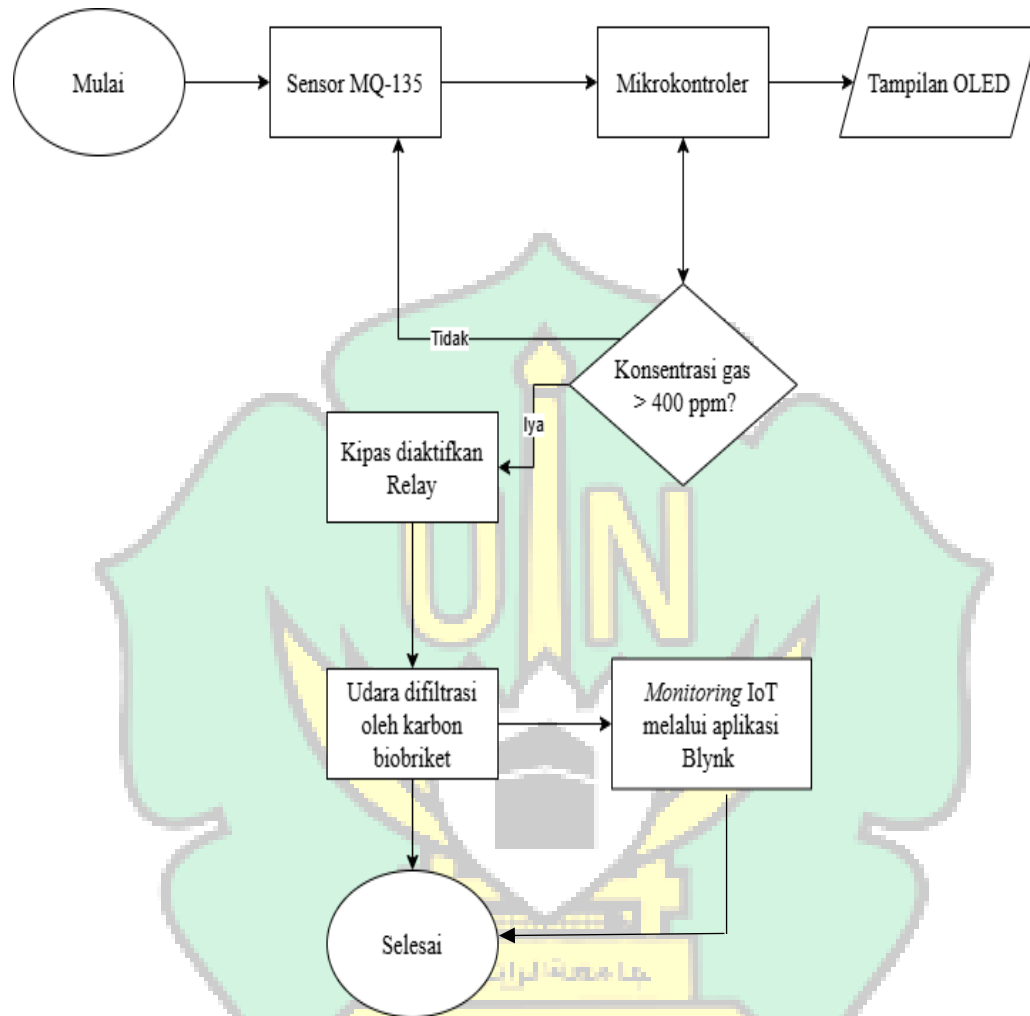
### 3.3 Perancangan Sistem (*System Planning*)

Penelitian ini menggunakan sejumlah komponen utama dalam merancang sistem *monitoring* dan filtrasi. Mikrokontroler ESP32 digunakan sebagai unit utama pengolahan data, sedangkan sensor MQ-135 digunakan untuk mendeteksi adanya gas dan asap, termasuk gas karbon dioksida (CO<sub>2</sub>). Sensor MQ-135 tidak bersifat spesifik pada satu jenis gas, melainkan sensitif terhadap beberapa gas dan partikel polutan seperti NH<sub>3</sub>, NO<sub>x</sub>, benzena, alkohol, dan CO<sub>2</sub>. Sensor bekerja berdasarkan perubahan resistansi pada elemen sensitif ketika terpapar gas, yang kemudian dikonversi menjadi nilai konsentrasi dalam satuan ppm (parts per million) sesuai kalibrasi dan karakteristik sensor.

Dalam penelitian ini, ambang deteksi awal ditetapkan sebesar 400 ppm, yang berarti apabila sensor membaca nilai di atas 400 ppm, kondisi udara dianggap telah mengandung gas atau asap yang signifikan. Penetapan ambang ini didasarkan pada pengujian awal sistem, yang menunjukkan bahwa respons sensor mulai berubah secara signifikan pada nilai tersebut. Ambang ini digunakan sebagai indikator awal peningkatan polutan, sehingga sistem dapat merespons secara *real-time* melalui kontrol kipas dan filtrasi, meskipun nilai ini bukan angka baku menurut SNI untuk satu jenis gas tertentu. Pemilihan nilai ini juga didukung oleh literatur penggunaan MQ-135, yang menunjukkan bahwa sensor biasanya memberikan respons yang relevan untuk aplikasi deteksi kualitas udara pada kisaran beberapa ratus ppm, serta dibandingkan dengan pedoman kualitas udara dalam ruangan sebagai acuan indikatif, di mana konsentrasi CO<sub>2</sub> sebaiknya berada di bawah 1000 ppm menurut Permenkes RI.

Untuk menampilkan data secara lokal, digunakan layar *Organic Light-Emitting Diode* (OLED), sedangkan modul relay dimanfaatkan untuk mengendalikan kipas sebagai bagian dari sistem ventilasi dan filtrasi. Sistem filtrasi dirancang menggunakan media karbon biobriket, dengan dukungan pipa paralon sebagai jalur aliran udara atau ventilasi. Jaring kawat dipasang sebagai penyaring awal untuk partikel kasar, dan kipas PC digunakan untuk memastikan sirkulasi udara berjalan efektif. Selain itu, sistem yang dirancang terhubung dengan teknologi IoT melalui aplikasi Blynk, sehingga data hasil pemantauan dapat

dikirimkan secara langsung ke layanan cloud. Dengan demikian, alur kerja sistem *monitoring* dan filtrasi dapat divisualisasikan melalui diagram alir seperti yang ditampilkan pada gambar berikut.



**Gambar 3. 2** *Flowchart* perancangan sistem

### 3.4 Perancangan Prototipe (*Prototype Development*)

Pada tahap ini, peneliti mulai merancang prototipe produk dengan memanfaatkan komponen elektronik yang telah ditentukan pada tahap perencanaan sebelumnya, serta menyesuaikannya dengan skema rangkaian sistem yang telah disusun. Proses pemrograman dilakukan menggunakan perangkat lunak *Arduino Integrated Development Environment (IDE)* sebagai langkah awal dalam menghasilkan sistem yang mampu membaca data emisi karbon dioksida dari pembakaran biobriket.

Perancangan perangkat keras pada penelitian ini melibatkan beberapa komponen utama yang saling terhubung dan dikendalikan oleh mikrokontroler ESP32. Setiap komponen memiliki fungsi berbeda dalam sistem *monitoring* dan filtrasi karbon biobriket. Mulai dari sensor sebagai *input*, aktuator sebagai pengendali proses filtrasi, hingga media tampilan sebagai sarana *monitoring* lokal. Untuk memastikan sistem dapat bekerja secara terintegrasi, diperlukan pemetaan koneksi pin yang tepat antara masing-masing komponen dengan ESP32. Koneksi pin disajikan pada tabel berikut.

**Tabel 3. 1** Konfigurasi koneksi komponen sistem dengan ESP32

No	Komponen Sistem	Pin Komponen	Pin Sistem	Keterangan
1	Sensor gas MQ-135	VCC	5 V	Catu daya sensor
		GND	GND	Ground sistem
		A0	GPIO 34	Sinyal keluaran analog
2	OLED Display I2C	VCC	3.3 V	Catu daya OLED
		GND	GND	Ground
		SCL	GPIO21	Jalur data I2C
		SDA	GPIO 22	Jalur clock I2C
3	LED	Anoda (+)	GPIO 2 (via resistor 220 ohm)	Indikator status sistem
		Katoda (-)	GND	Ground LED
4	Modul Relay	VCC	5 V	Catu daya relay
		GND	GND	Ground
		IN	GPIO 26	Sinyal kendali

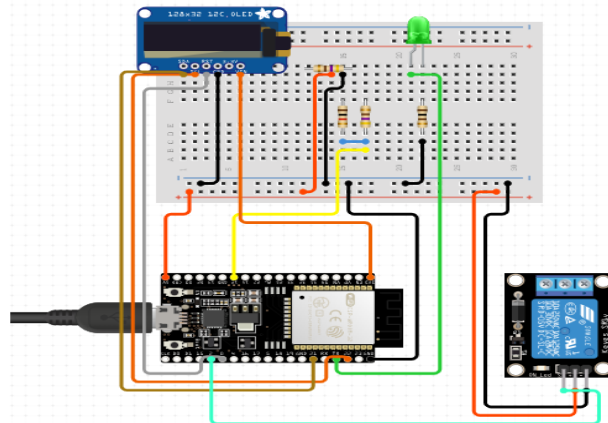
				relay
5	Sistem kipas filtrasi (DC 12 V)	(+)	Adaptor 12 V	Tegangan kipas
		(-)	Koneksi relay (COM-NO)	Jalur negatif dikendalikan relay

Biobriket yang akan dibuat dengan menggunakan bahan sekam padi dan serbuk gergaji, bahan perekat yang akan digunakan berupa tepung kanji yang dicampur dengan air kemudian biobriket bisa dipadatkan dan dicetak, setelah biobriket berhasil dicetak akan dilakukan penjemuran sampai benar-benar kering dan di oven supaya kering maksimal. Berikut merupakan contoh gambar biobriket.



**Gambar 3. 3** Karbon Biobriket

Integrasi teknologi *Internet of Things* (IoT) direncanakan akan dilakukan setelah sistem awal berhasil menangkap dan memproses data emisi secara akurat. Untuk memvisualisasikan rancangan prototipe secara lebih jelas, peneliti menggunakan platform *circuito.io* sebagai alat bantu desain visual. Berikut merupakan gambaran rangkaian prototipe.



**Gambar 3. 4** Visual Rangkaian Prototipe

### 3.5 Pengujian Prototipe (*Prototype Testing*)

Pengujian kinerja alat dilakukan di ruangan tertutup dengan ventilasi alami dan pengujian juga menggunakan berbagai sumber gas atau asap. Tujuan utama pengujian adalah untuk mengevaluasi tingkat akurasi sensor MQ-135 dalam mendeteksi konsentrasi karbon dioksida (CO<sub>2</sub>) yang dihasilkan selama proses pembakaran. Selain itu, pengujian efektivitas sistem filtrasi dilakukan dengan membandingkan nilai emisi sebelum dan sesudah melalui proses penyaringan. Peneliti juga merencanakan pengujian terhadap keandalan sistem IoT, khususnya dalam hal transmisi data ke platform cloud dan penyajian data secara *real-time* melalui aplikasi yang digunakan.

Pengujian prototipe dilakukan untuk memastikan bahwa alat *monitoring* dan filtrasi karbon biobriket berbasis IoT yang telah dirancang dapat berfungsi sesuai rancangan. Pengujian ini menggunakan metode *Black box*, yaitu pengujian berdasarkan *input* dan *output* tanpa meninjau proses internal mikrokontroler. Fokus pengujian adalah respons sensor MQ-135 terhadap perubahan konsentrasi gas CO<sub>2</sub> dari beberapa sumber, serta efektivitas filtrasi dan aliran udara melalui penggunaan kipas dan karbon biobriket.

#### A. Sensor diuji menggunakan beberapa sumber asap dan gas

1. Korek api gas digunakan untuk mensimulasikan peningkatan konsentrasi gas secara cepat dan bersifat sesaat.
2. Asap obat nyamuk bakar digunakan untuk menghasilkan asap dengan intensitas lebih tinggi dan durasi paparan lebih lama.
3. Asap pembakaran kertas, digunakan untuk mensimulasikan sumber asap dengan karakteristik fluktuatif akibat proses pembakaran yang tidak stabil.

#### B. Variabel yang diuji:

1. Kipas (hidup/mati)
2. Karbon biobriket (ada/tidak ada)
3. Jenis kalibrasi

C. Variabel terikat:

1. Nilai pembacaan sensor gas MQ-135 (ppm relatif)
2. Waktu respon sensor terhadap perubahan konsentrasi gas
3. Status aktuator kipas filtrasi
4. Keberhasilan pengiriman data ke aplikasi blynk IoT

Prosedur pengujian dilakukan dengan menyalakan prototipe dan memastikan sensor MQ-135 dalam kondisi stabil. Pembacaan baseline dicatat terlebih dahulu, kemudian dilakukan pengujian dengan masing-masing sumber CO<sub>2</sub> sesuai skenario kalibrasi. Variasi kipas dan karbon biobriket diterapkan untuk mengevaluasi efek aliran udara dan filtrasi terhadap pembacaan sensor. Selama pengujian, data sensor dipantau secara *real-time* melalui aplikasi IoT, dan indikator atau aktuator dicatat bila aktif.

**Tabel 3. 2** Tabel pengujian menggunakan metode Black box

No	Komponen	Input	Langkah Pengujian	Output yang Diharapkan	Hasil Uji
1	ESP32	Sistem dinyalakan	ESP32 menerima data sensor	Data berhasil diproses	-
2	Sensor MQ-135	Udara normal relatif (< 400)	Sensor diaktifkan tanpa sumber gas	Nilai gas stabil	-
3	Sensor MQ-135	Terdeteksi gas / asap ( $\geq 400$ ppm)	Sensor didekatkan ke sumber asap	Nilai gas meningkat di atas ambang	-
4	OLED	Data sensor tersedia	Sistem menampilkan data gas ke OLED	Nilai gas tampil di layar	-
5	LED	a. Udara normal relatif (< 400 ppm) b. Terdeteksi gas / asap ( $\geq 400$ ppm)	Sistem membaca kondisi lingkungan	- LED menyala stabis pada kondisi aman - LED berkedip sebagai indikator ketika gas melebihi ambang batas	-
6	Fan 5V filtrasi karbon biobriket	$\geq 400$ ppm (terdeteksi gas / asap)	Sistem mendeteksi gas tinggi dan mengaktifkan filtrasi	Kipas menyala otomatis dan udara terfilter	-
7	Blynk	Sistem dinyalakan dan terhubung ke Blynk	Memasukkan data koneksi Blynk dan Wi-Fi pada program Arduino	Data terbaca secara <i>real-time</i> di aplikasi Blynk	-

			IDE		
8	Sistem keseluruhan	Operasi berkelanjutan	Sistem dijalankan secara terus-menerus	Sistem berjalan stabil	-

### 3.6 Analisis Data dan Optimasi (*Data Analyze and Optimization*)

Pengambilan data dilakukan dengan menghubungkan perangkat ESP32 ke komputer melalui antarmuka USB serial, kemudian data keluaran sensor direkam secara *real-time* menggunakan fitur Data Streamer pada Microsoft Excel. Sensor MQ-135 digunakan untuk memantau konsentrasi gas di udara, di mana nilai konsentrasi di bawah 400 ppm merepresentasikan kondisi udara normal, sedangkan nilai ppm di atas 400 ppm menunjukkan terdeteksinya gas atau asap. Proses pencatatan data berlangsung secara *real-time* sejak perangkat ESP32 terhubung dengan fitur Data Streamer pada Microsoft Excel. Ketika konsentrasi gas terukur melampaui nilai ambang batas yang telah ditetapkan, sistem filtrasi diaktifkan secara otomatis, sementara proses pencatatan data tetap berjalan untuk memantau perubahan konsentrasi gas selama dan setelah proses filtrasi.

Pengambilan data dilanjutkan hingga konsentrasi gas mengalami penurunan dan kembali mendekati kondisi udara normal sebagai indikasi berfungsinya proses filtrasi. Setelah nilai konsentrasi berada pada rentang stabil, sistem dibiarkan dalam keadaan stabil sebelum pengujian berikutnya dilakukan untuk menghindari pengaruh sisa gas terhadap hasil pengukuran. Pengujian dilaksanakan pada dua kondisi, yaitu filtrasi aktif (hidup) dan filtrasi tidak aktif (mati), dengan masing-masing kondisi dilakukan sebanyak tiga kali pengulangan. Data hasil pengujian disajikan dalam bentuk tabel dan grafik menggunakan Microsoft Excel untuk memperlihatkan perbedaan karakteristik konsentrasi gas pada kedua kondisi tersebut.

Analisis data dilakukan secara kuantitatif deskriptif dengan membandingkan perubahan nilai konsentrasi gas sebelum dan sesudah proses filtrasi berdasarkan data hasil pencatatan sensor. Selain itu, dilakukan evaluasi terhadap kinerja sistem sebagai bagian dari tahapan optimasi pada metode R&D, meliputi respons sensor terhadap perubahan konsentrasi gas serta stabilitas pembacaan data.

Selain analisis nilai konsentrasi gas, dilakukan pula proses kalibrasi sensor MQ-135 untuk memperoleh nilai resistansi referensi ( $R_0$ ). Data awal yang diperoleh dari sensor berupa nilai Analog to Digital Converter (ADC) yang kemudian dikonversi menjadi tegangan keluaran sensor ( $V_{out}$ ). Nilai  $V_{out}$  selanjutnya digunakan untuk menghitung resistansi sensor ( $R_s$ ) berdasarkan prinsip pembagi tegangan, sesuai dengan datasheet sensor MQ-135.

Rumus-rumus yang digunakan adalah sebagai berikut:

$$V_{out} = \frac{ADC}{ADC_{maks}} \times V_{cc} \quad \dots\dots\dots(3.1)$$

$$R_s = R_L \left( \frac{V_{cc}}{V_{out}} - 1 \right) \quad \dots\dots\dots(3.2)$$

$$R_{0avg} = \frac{\sum R_0}{n} \quad \dots\dots\dots(3.3)$$

dengan:

$V_{cc}$  = Tegangan suplai sensor

$R_L$  = Resistor beban sensor

$V_{out}$  = Tegangan keluaran sensor yang diukur

$R_s$  = Resistansi sensor pada kondisi tertentu

$R_0$  = Resistansi sensor pada udara bersih

$R_{0avg}$  = Nilai rata-rata resistansi referensi sensor dari beberapa pengukuran

Proses kalibrasi ini memastikan bahwa sensor memberikan respons yang konsisten dan hasil pengukuran gas dapat dikorelasikan secara akurat dengan konsentrasi sebenarnya. Nilai  $R_{0avg}$  yang diperoleh digunakan sebagai patokan referensi untuk menghitung rasio  $R_s/R_0$  pada tahap pengukuran gas selanjutnya.

## BAB IV

### HASIL DAN PEMBAHASAN

#### 4.1 Penerapan Metode *Research and Development*

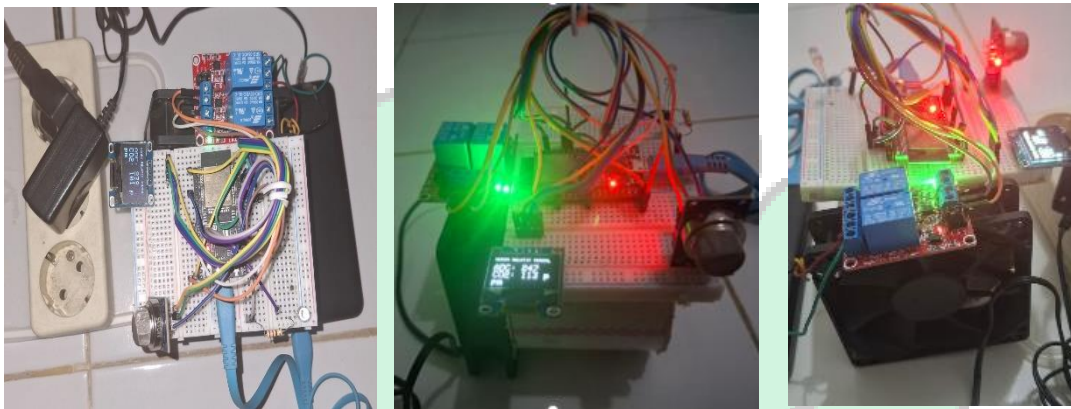
Penerapan metode *Research and Development* (R&D) pada penelitian ini bertujuan untuk mengembangkan prototipe sistem *monitoring* dan filtrasi karbon biobriket secara bertahap hingga diperoleh sistem yang dapat diuji secara fungsional. Tahapan pengembangan yang telah dirancang pada Bab III direalisasikan pada tahap implementasi untuk memastikan kesesuaian antara perancangan dan kondisi aktual sistem. Tahap awal penerapan metode R&D dilakukan melalui perakitan perangkat keras sistem, yang meliputi sensor MQ-135, mikrokontroler ESP32, OLED, LED indikator, kipas filtrasi, serta media karbon biobriket. Proses perakitan dilakukan berdasarkan skema rangkaian yang telah dirancang sebelumnya, dan setiap komponen diuji secara individual sebelum dilakukan integrasi sistem.

Selanjutnya, dilakukan pengembangan perangkat lunak menggunakan Arduino IDE untuk mengendalikan kerja sistem. Program dirancang untuk membaca data sensor, mengolah data menjadi nilai ppm relatif, menampilkan hasil pada OLED, serta mengirimkan data ke platform *monitoring* berbasis *Internet of Things*. Pengujian dilakukan pada setiap fungsi utama untuk memastikan sistem bekerja secara stabil. Setelah perangkat keras dan perangkat lunak terintegrasi, dilakukan pengujian awal sistem untuk mengevaluasi respon sensor, tampilan data, serta kinerja kipas filtrasi. Hasil evaluasi awal digunakan sebagai dasar untuk melakukan penyesuaian sistem sebelum dilakukan pengujian lanjutan.

Berdasarkan penerapan metode R&D tersebut, prototipe sistem *monitoring* dan filtrasi karbon biobriket berhasil dikembangkan dan berfungsi sesuai dengan tujuan penelitian. Sistem yang dihasilkan siap untuk dilakukan pengujian dan analisis lebih lanjut.

## 4.2 Implementasi Prototipe Sistem

Implementasi prototipe sistem *monitoring* kualitas udara dilakukan dengan mengintegrasikan sensor MQ-135 sebagai perangkat *input* dan mikrokontroler ESP32 sebagai unit pengolah data utama. Sensor MQ-135 dioperasikan dalam mode analog untuk mendeteksi perubahan konsentrasi gas di udara berdasarkan variasi tegangan keluaran sensor. Rangkaian sistem yang digunakan pada tahap implementasi ditunjukkan pada Gambar 4.1.



(a) Tampak atas

(b) Tampak samping

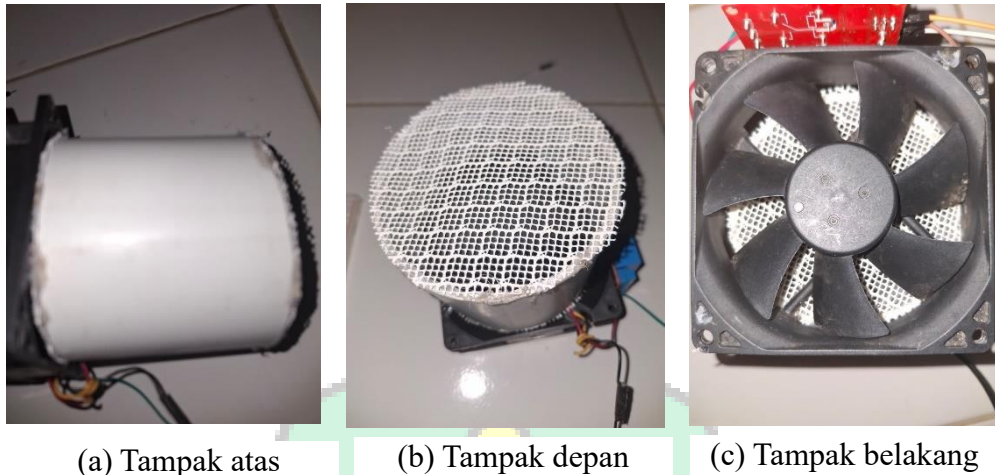
(c) Tampak belakang

**Gambar 4.1** Sistem *monitoring* dan filtrasi karbon biobriket

Sinyal analog dari sensor MQ-135 diterima oleh ESP32 melalui pin ADC internal dan dikonversi menjadi data digital. Data tersebut kemudian diolah menggunakan persamaan kalibrasi yang telah ditentukan sehingga menghasilkan nilai ppm relatif. Nilai ppm ini tidak digunakan sebagai nilai absolut konsentrasi gas, melainkan sebagai parameter pembandingan untuk mengamati perubahan kualitas udara sebelum dan sesudah proses filtrasi. Sistem dirancang dengan nilai ambang batas berdasarkan kondisi udara normal. Ketika nilai konsentrasi relatif melebihi ambang batas yang ditetapkan, sistem secara otomatis mengaktifkan kipas filtrasi. Sebaliknya, ketika nilai konsentrasi berada di bawah ambang batas, sistem berada dalam kondisi siaga. Mekanisme ini memungkinkan sistem melakukan pengendalian kualitas udara secara otomatis.

Hasil implementasi menunjukkan bahwa sistem mampu membaca data sensor secara kontinu dan menampilkan informasi kualitas udara secara *real-time* melalui Serial Monitor, layar OLED, serta platform *monitoring* berbasis *Internet of Things*. Selain itu, sistem mampu mengendalikan kipas filtrasi secara otomatis untuk

mengalirkan udara melalui media karbon biobriket yang ditempatkan di dalam pipa filtrasi, sebagaimana ditunjukkan pada Gambar di bawah ini.



**Gambar 4. 2** Prototipe sistem filtrasi karbon biobriket

Secara keseluruhan, implementasi prototipe sistem *monitoring* kualitas udara telah berjalan sesuai dengan perancangan. Seluruh komponen perangkat keras dan perangkat lunak dapat bekerja secara terpadu dan stabil, sehingga sistem dinyatakan siap untuk dilakukan pengujian lebih lanjut menggunakan metode *black box testing*.

#### 4.3 Pelaksanaan Pengujian *Black box*

Pengujian sistem dilakukan menggunakan metode *black box testing* untuk mengevaluasi kinerja fungsional prototipe berdasarkan kesesuaian antara *input* dan *output* yang dihasilkan. Pengujian ini difokuskan pada fungsi utama sistem, yaitu pembacaan data sensor MQ-135, pengolahan data, serta penampilan status kualitas udara pada sistem *monitoring*.

Setiap skenario pengujian dilakukan sesuai dengan perancangan yang telah dijelaskan pada Bab III dan diuji secara berulang pada kondisi yang sama untuk memastikan kestabilan dan konsistensi sistem. Hasil pengujian dicatat dalam bentuk tabel dan digunakan sebagai dasar analisis terhadap keberhasilan sistem dalam memenuhi fungsi yang telah dirancang.

#### 4.4 Hasil Pengujian *Black box* Sistem Keseluruhan

Pengujian *black box* dilakukan untuk mengevaluasi kesesuaian fungsi sistem *monitoring* dan filtrasi udara dengan spesifikasi yang telah dirancang. Pengujian difokuskan pada kemampuan sistem dalam membaca data sensor MQ-135, menampilkan informasi kualitas udara, serta mengendalikan aktuator filtrasi secara otomatis.

**Tabel 4. 1** Hasil Pengujian Black box Sistem *Monitoring* Kualitas Udara

No	Komponen	Input	Langkah Pengujian	Output yang Diharapkan	Hasil Uji
1	ESP32	Sistem dinyalakan	ESP32 menerima data sensor	Data berhasil diproses	Sesuai
2	Sensor MQ-135	Udara normal relatif (< 400)	Sensor diaktifkan tanpa sumber gas	Nilai gas stabil	Sesuai
3	Sensor MQ-135	Terdeteksi gas / asap ( $\geq 400$ ppm)	Sensor didekatkan ke sumber asap	Nilai gas meningkat di atas ambang	Sesuai
4	OLED	Data sensor tersedia	Sistem menampilkan data gas ke OLED	Nilai gas tampil di layar	Sesuai
5	LED	c. Udara normal relatif (< 400 ppm) d. Terdeteksi gas / asap ( $\geq 400$ ppm)	Sistem membaca kondisi lingkungan	- LED menyala stabil pada kondisi aman - LED berkedip sebagai indikator ketika gas melebihi ambang batas	Sesuai
6	Fan 5V filtrasi karbon biobriket	$\geq 400$ ppm (terdeteksi gas / asap)	Sistem mendeteksi gas tinggi dan mengaktifkan filtrasi	Kipas menyala otomatis dan udara terfilter	Sesuai
7	Blynk	Sistem dinyalakan dan terhubung ke blynk	Memasukkan data koneksi Blynk dan Wi-Fi pada program Arduino IDE	Data terbaca secara <i>real-time</i> di aplikasi blynk	Sesuai
8	Sistem keseluruhan	Operasi berkelanjutan	Sistem dijalankan secara terus-menerus	Sistem berjalan stabil	Sesuai

Berdasarkan tabel tersebut, seluruh fungsi utama sistem menunjukkan hasil yang sesuai dengan *output* yang diharapkan. Sistem mampu membaca perubahan

nilai kualitas udara, menampilkan data pada OLED dan aplikasi Blynk, serta mengklasifikasikan kondisi udara berdasarkan nilai ambang batas yang telah ditentukan. Kinerja aktuator berupa kipas filtrasi juga menunjukkan hasil yang sesuai dengan perancangan. Kipas dapat hidup secara otomatis ketika nilai konsentrasi melebihi ambang batas dan mati kembali saat kondisi udara berada pada kategori normal, respon sistem berlangsung secara konsisten pada setiap skenario pengujian.

Secara keseluruhan, hasil pengujian *black box* menunjukkan bahwa prototipe sistem *monitoring* dan filtrasi udara telah memenuhi seluruh kebutuhan fungsional yang dirancang. Oleh karena itu, sistem dinyatakan layak untuk dilanjutkan pada tahap pengujian kinerja sensor dan sistem filtrasi pada subbab berikutnya.

#### 4.5 Kalibrasi Sensor MQ-135

Sebelum dilakukan pengujian sistem secara keseluruhan, sensor MQ-135 harus dikalibrasi terlebih dahulu. Proses kalibrasi ini bertujuan untuk memperoleh nilai resistansi referensi ( $R_0$ ) yang digunakan sebagai acuan dalam perhitungan nilai ppm relatif. Nilai  $R_0$  sangat penting karena menjadi parameter dasar dalam proses konversi data hasil pembacaan sensor menjadi informasi kualitas udara.

Proses kalibrasi diawali dengan pemanasan sensor MQ-135 selama  $\pm 20$  menit. Tahapan pemanasan ini dilakukan untuk memastikan sensor berada pada kondisi kerja yang stabil, sehingga hasil pembacaan resistansi tidak dipengaruhi oleh perubahan karakteristik sensor akibat suhu awal atau kondisi belum stabil. Setelah proses pemanasan selesai, pengambilan data dilakukan pada kondisi udara normal tanpa adanya paparan sumber gas tertentu. Pembacaan sensor dilakukan secara periodik dan direkam dalam bentuk nilai *Analog to Digital Converter* (ADC), yang kemudian dikonversi menjadi nilai resistansi sensor ( $R_s$ ) dan resistansi referensi ( $R_0$ ).

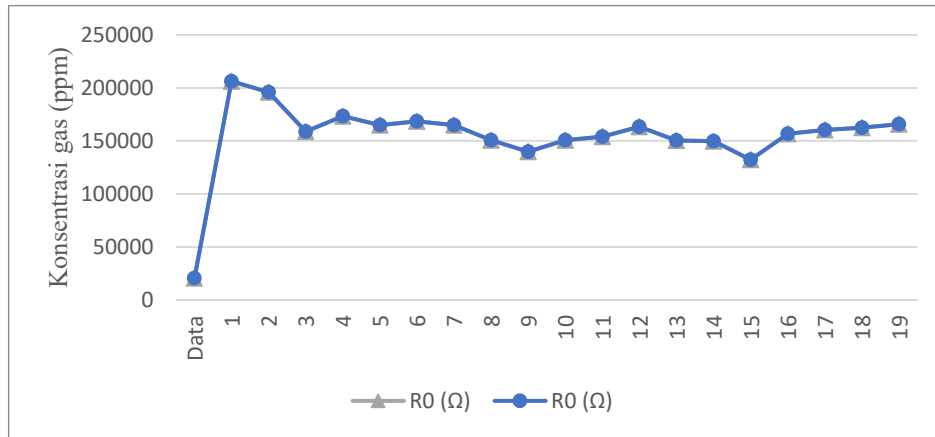
**Tabel 4. 2** Data kalibrasi sensor MQ-135 den perhitungan nilai  $R_0$

Pengambilan data ke-	ADC	$R_s$ ( $\Omega$ )	$R_0$ ( $\Omega$ )
1	290	131.206,90	204.782,30
2	288	132.187,50	206.312,80
3	302	125.596,00	196.025,10

4	366	101.885,30	159.018,30
5	338	111.153,80	173.484,40
6	354	105.678,00	164.937,80
7	347	108.011,50	168.580,00
8	354	105.678,00	164.937,80
9	384	96.640,63	150.832,70
10	411	89.635,05	139.898,70
11	384	96.640,63	150.832,70
12	377	98.620,70	153.923,10
13	357	104.705,90	163.420,70
14	385	96.363,63	150.400,40
15	386	96.088,09	149.970,30
16	432	84.791,66	132.339,40
17	371	103.774,00	156.664,90
18	363	102.809,90	160.461,50
19	359	104.066,00	162.423,30
20	352	106.335,20	165.963,70
Total		$\Sigma R_0$	3.079.380,8 ( $\Omega$ )

Berdasarkan data pada Tabel 4.1, diperoleh sebanyak 20 data pembacaan sensor yang digunakan sebagai dasar perhitungan nilai resistansi referensi ( $R_0$ ). Pemilihan 20 data tersebut dilakukan karena pada tahap ini pembacaan sensor telah menunjukkan kondisi yang relatif stabil dibandingkan data awal saat sensor masih dalam proses pemanasan. Nilai  $R_s$  diperoleh dari hasil konversi data ADC menjadi tegangan keluaran, kemudian dihitung menggunakan persamaan pembagi tegangan antara resistansi sensor dan resistor beban. Selanjutnya, nilai  $R_0$  ditentukan dari nilai rata-rata  $R_s$  pada kondisi udara bersih dengan mengacu pada rasio  $R_s/R_0$  sesuai datasheet sensor MQ-135. Nilai  $R_0$  rata-rata diperoleh dengan menghitung nilai rata-rata data keseluruhan  $R_0$  yang telah dikumpulkan.

Berdasarkan hasil perhitungan, diperoleh jumlah total resistansi referensi sebesar 3.079.380,8  $\Omega$  dengan jumlah data sebanyak 20. Dengan demikian, nilai  $R_0$  rata-rata yang diperoleh adalah 153.969,04  $\Omega$ . Untuk melihat kecenderungan perubahan nilai resistansi referensi ( $R_0$ ) terhadap waktu pengambilan data, hasil pengukuran pada Tabel 4.3 disajikan dalam bentuk grafik. Penyajian grafik ini bertujuan untuk mempermudah analisis kestabilan pembacaan sensor MQ-135 setelah proses pemanasan dilakukan.



**Gambar 4. 3** Grafik nilai  $R_o$

Berdasarkan Gambar 4.3, terlihat bahwa nilai  $R_o$  cenderung berada pada rentang yang relatif stabil setelah proses pemanasan sensor. Fluktuasi yang terjadi masih berada dalam batas wajar, sehingga nilai rata-rata  $R_o$  yang diperoleh dapat digunakan sebagai nilai referensi dalam pengujian selanjutnya.

Meskipun proses kalibrasi tidak menggunakan gas standar, pendekatan ini dinilai cukup untuk tujuan penelitian, yaitu sebagai parameter pembanding perubahan kualitas udara sebelum dan sesudah proses filtrasi. Fokus penelitian ini terletak pada analisis perubahan nilai relatif kualitas udara, sehingga nilai  $R_o$  yang diperoleh dari kondisi udara normal dapat digunakan secara konsisten dalam seluruh rangkaian pengujian sistem.

#### **4.6 Analisis Kinerja Sistem *Monitoring* dan Filtrasi Udara**

Data hasil pengujian dianalisis menggunakan analisis deskriptif kuantitatif, yang meliputi penyajian data dalam bentuk tabel dan grafik. Pengolahan data dilakukan menggunakan perangkat lunak spreadsheet untuk memperoleh nilai minimum, maksimum, serta pola perubahan data selama pengujian. Pengujian ini membahas kinerja sistem secara menyeluruh berdasarkan hasil pengujian sensor MQ-135, kerja kipas, serta pengaruh media filtrasi karbon biobriket terhadap perubahan nilai konsentrasi gas yang terdeteksi. Analisis dilakukan untuk mengevaluasi apakah sistem yang dirancang telah bekerja sesuai dengan tujuan penelitian, yaitu memantau perubahan kualitas udara secara *real-time* dan melakukan proses filtrasi secara aktif.

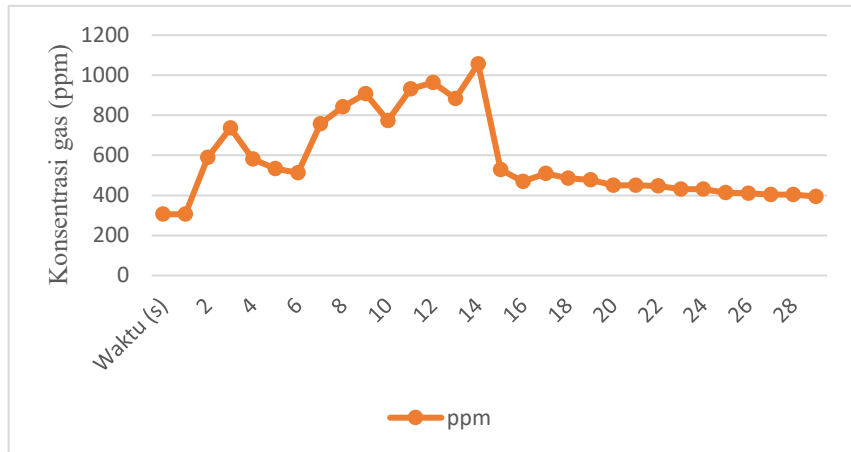
#### 4.6.1 Analisis Respon Sensor MQ-135 terhadap Sumber Gas dan Asap

Sensor MQ-135 digunakan sebagai komponen utama dalam sistem *monitoring* kualitas udara karena kemampuannya dalam mendeteksi perubahan konsentrasi gas secara relatif. Sensor ini bekerja dengan merespons perubahan komposisi gas di udara melalui variasi nilai resistansi yang kemudian dikonversi menjadi nilai ADC dan estimasi ppm. Pengujian sensor dilakukan untuk mengetahui karakteristik respon sensor terhadap perubahan kondisi udara akibat paparan sumber gas dan asap. Analisis ini bertujuan untuk mengevaluasi kemampuan sensor dalam mendeteksi perubahan kualitas udara secara konsisten.

Pada kondisi udara normal tanpa adanya paparan sumber gas tambahan, sensor MQ-135 menunjukkan nilai pembacaan yang relatif stabil. Nilai ADC dan estimasi ppm berada pada rentang yang tidak mengalami perubahan signifikan selama periode pengujian. Kondisi ini menunjukkan bahwa sensor mampu memberikan nilai *baseline* yang konsisten pada lingkungan pengujian. Nilai *baseline* tersebut menjadi acuan dalam membandingkan perubahan kualitas udara pada saat terjadi paparan gas atau asap. Stabilitas pembacaan ini penting untuk memastikan keandalan sistem *monitoring*.

Ketika sumber gas atau asap diberikan, sensor MQ-135 menunjukkan peningkatan nilai ADC yang diikuti dengan peningkatan nilai estimasi konsentrasi. Peningkatan ini menandakan bahwa sensor mampu merespons perubahan komposisi udara di sekitarnya. Respon sensor terjadi secara bertahap seiring dengan meningkatnya konsentrasi gas atau asap yang terdeteksi. Perubahan nilai yang konsisten menunjukkan bahwa sensor memiliki sensitivitas yang cukup baik terhadap perubahan kualitas udara. Hal ini menjadi indikator bahwa sensor dapat digunakan untuk mendeteksi adanya pencemaran udara secara relatif.

Untuk menggambarkan karakteristik respon sensor secara lebih jelas, hasil pengujian sensor MQ-135 terhadap paparan asap pembakaran kertas disajikan dalam bentuk grafik hubungan antara nilai konsentrasi terhadap waktu. Grafik ini dipilih sebagai representasi karena menunjukkan pola respon sensor yang stabil dan mudah diamati.



**Gambar 4. 4** Grafik hubungan nilai konsentrasi terhadap waktu pada paparan asap kertas

Berdasarkan Gambar 4.4, terlihat bahwa sensor MQ-135 menunjukkan respon yang jelas terhadap perubahan kualitas udara. Pada awal pengujian, nilai konsentrasi meningkat secara signifikan ketika sensor mulai terpapar asap, yang menandakan adanya peningkatan konsentrasi gas di lingkungan sekitar sensor. Peningkatan ini menunjukkan bahwa sensor MQ-135 mampu mendeteksi perubahan kandungan gas secara responsif.

Setelah sumber asap dihilangkan, nilai konsentrasi mengalami penurunan secara bertahap hingga kembali mendekati kondisi awal. Penurunan ini menunjukkan proses pemulihan sensor terhadap kondisi udara normal. Fluktuasi kecil yang masih terjadi setelah paparan asap hilang dipengaruhi oleh sisa gas di udara dan kondisi lingkungan pengujian.

Data yang digunakan pada grafik ini terdiri dari 15 data awal saat paparan asap dan 15 data akhir setelah sumber asap dihilangkan. Pemilihan data tersebut bertujuan untuk menampilkan secara jelas fase respon dan fase pemulihan sensor. Dengan demikian, grafik ini mampu merepresentasikan karakteristik respon

Perlu dicatat bahwa nilai ppm yang dihasilkan oleh sensor MQ-135 merupakan nilai estimasi yang diperoleh melalui pendekatan kalibrasi matematis, bukan nilai absolut berdasarkan standar baku kualitas udara. Oleh karena itu, nilai ppm dalam penelitian ini digunakan sebagai indikator perubahan kualitas udara dan analisis tren, bukan sebagai nilai ambang baku. Faktor lingkungan seperti suhu, kelembapan, dan sirkulasi udara juga dapat memengaruhi hasil pembacaan sensor.

Meskipun demikian, secara keseluruhan sensor MQ-135 dinilai cukup layak digunakan sebagai sensor *monitoring* kualitas udara dalam penelitian ini.

#### **4.6.2 Analisis Kinerja Kipas dan Media Karbon Biobriket dalam Sistem Filtrasi Udara**

Kipas dan media karbon biobriket berperan sebagai komponen utama dalam proses filtrasi udara pada sistem yang dikembangkan. Kipas berfungsi sebagai aktuator yang mengalirkan udara dari lingkungan menuju media karbon biobriket, sedangkan karbon biobriket berfungsi sebagai media filtrasi atau adsorben yang menyerap partikel gas dan senyawa pencemar di udara. Dalam penelitian ini, kipas yang digunakan merupakan kipas DC 12 V yang dioperasikan menggunakan adaptor 12 V sebagai sumber catu daya. Kombinasi kipas dan karbon biobriket dirancang untuk membentuk aliran udara terkontrol sehingga proses filtrasi dapat berlangsung secara efektif. Oleh karena itu, kinerja kipas dan media filtrasi tidak dapat dipisahkan dalam analisis sistem.

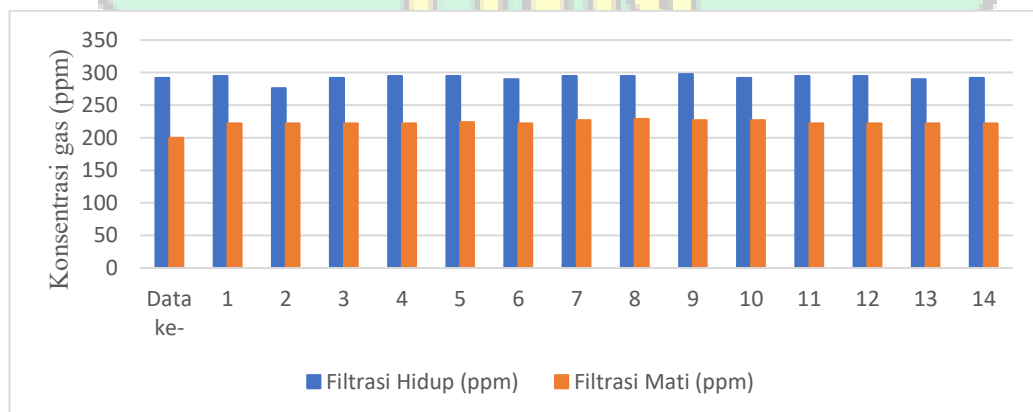
Sistem kendali kipas diatur secara otomatis berdasarkan nilai estimasi konsentrasi gas dalam satuan ppm yang dibaca oleh sensor MQ-135. Pada kondisi nilai konsentrasi berada di bawah ambang batas yang ditentukan, kipas berada dalam keadaan mati sehingga tidak terjadi aliran udara aktif menuju media filtrasi. Sebaliknya, ketika nilai konsentrasi melebihi ambang batas, kipas akan menyala dan mengalirkan udara menuju karbon biobriket untuk dilakukan proses filtrasi. Pada pengujian kinerja kipas ini, ambang batas diturunkan menjadi lebih rendah untuk memungkinkan pengamatan respon sistem pada kondisi udara lingkungan tanpa sumber asap tambahan. Penyesuaian ambang batas ini dilakukan khusus untuk keperluan pengujian fungsional kipas dan tidak digunakan pada pengujian filtrasi utama.

Pengujian kinerja kipas dan media karbon biobriket dilakukan untuk menganalisis pengaruh mekanisme filtrasi terhadap respons pembacaan sensor MQ-135. Pengujian dilaksanakan pada dua kondisi operasional sistem, yaitu filtrasi aktif ketika kipas menyala dan filtrasi tidak aktif ketika kipas dalam keadaan mati. Seluruh pengujian dilakukan pada udara lingkungan ruangan tanpa penambahan

sumber asap atau gas, sehingga perubahan nilai konsentrasi yang terukur merepresentasikan pengaruh sistem filtrasi itu sendiri.

Pada kondisi filtrasi aktif, kipas DC 12 V menghasilkan aliran udara terkontrol yang mengarahkan udara lingkungan melewati media karbon biobriket sebelum mencapai sensor. Media karbon biobriket berperan sebagai adsorben yang berpotensi menyerap sebagian gas atau senyawa pencemar. Sebaliknya, pada kondisi filtrasi tidak aktif, pergerakan udara di sekitar sensor berlangsung secara alami melalui proses difusi tanpa bantuan aliran udara paksa.

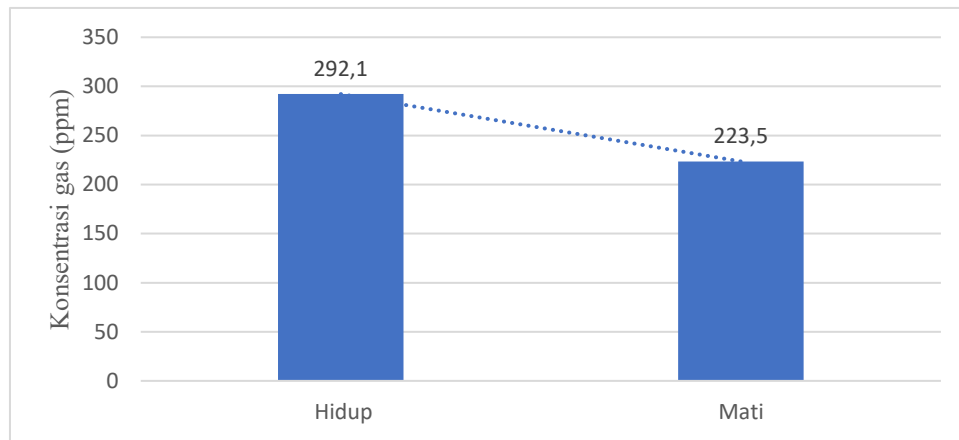
Pengambilan data dilakukan setelah pembacaan sensor mencapai kondisi stabil guna meminimalkan pengaruh fluktuasi awal dan gangguan lingkungan. Dari masing-masing kondisi pengujian diperoleh 15 data pembacaan, yang selanjutnya digunakan sebagai dasar analisis perbandingan karakteristik nilai konsentrasi akibat perbedaan mekanisme aliran udara dan keterlibatan media filtrasi.



**Gambar 4. 5** Perbandingan nilai konsentrasi antara filtrasi hidup dan filtrasi mati

Berdasarkan grafik perbandingan nilai konsentrasi, terlihat adanya perbedaan karakteristik pembacaan sensor pada kondisi kipas hidup dengan adanya karbon biobriket dan kipas mati dengan tidak adanya karbon biobriket. Pada kondisi kipas hidup, nilai konsentrasi cenderung mengalami fluktuasi yang lebih dinamis dibandingkan dengan kondisi kipas mati. Hal ini disebabkan oleh adanya aliran udara aktif yang dihasilkan oleh kipas, sehingga partikel gas dari lingkungan lebih cepat terdistribusi menuju sensor MQ-135 dan media karbon biobriket. Aliran udara tersebut menyebabkan sensor merespons perubahan kondisi udara secara lebih cepat dan sensitif. Selain itu, udara yang dialirkan melalui media karbon biobriket

memungkinkan terjadinya proses adsorpsi gas sebelum udara dilepaskan kembali ke lingkungan.



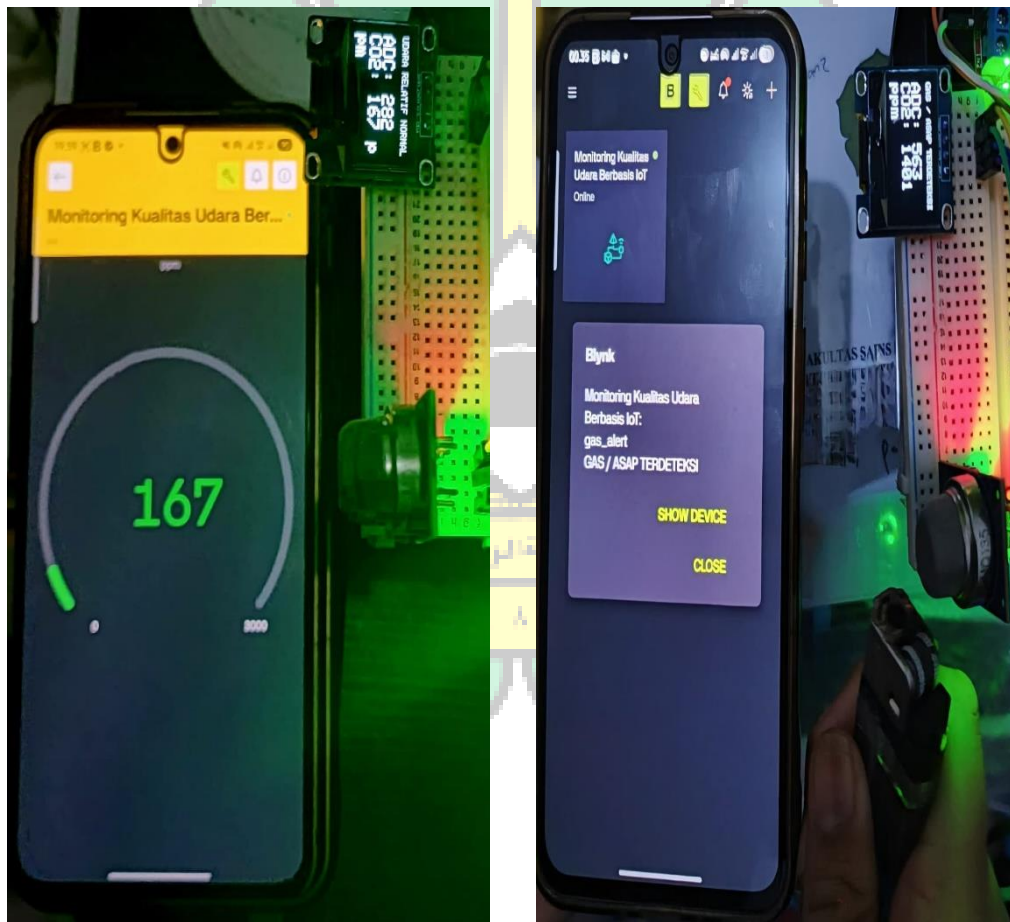
**Gambar 4. 6** Rata-rata nilai konsentrasi antara filtrasi hidup dan filtrasi mati

Hasil perhitungan nilai rata-rata menunjukkan bahwa konsentrasi gas pada kondisi filtrasi dengan kipas menyala memiliki nilai rata-rata sebesar 292,1 ppm, sedangkan pada kondisi filtrasi dengan kipas mati diperoleh nilai rata-rata sebesar 223,5 ppm. Berdasarkan hasil tersebut, terdapat selisih rata-rata sebesar 68,6 ppm antara kedua kondisi pengujian. Perbedaan ini menunjukkan bahwa keberadaan aliran udara aktif dari kipas mempengaruhi respon pembacaan sensor terhadap kondisi udara di sekitarnya. Aliran udara menyebabkan partikel gas lebih cepat terdeteksi oleh sensor sebelum sepenuhnya terserap oleh media karbon biobriket. Dengan demikian, nilai rata-rata yang lebih tinggi pada kondisi kipas menyala mencerminkan dinamika sistem filtrasi berbasis aliran udara aktif, bukan menunjukkan penurunan kinerja sistem.

Secara keseluruhan, perbedaan nilai pembacaan sensor pada kondisi kipas menyala dan kipas mati tidak dapat langsung diartikan sebagai perbedaan kualitas udara yang sesungguhnya. Perbedaan tersebut dipengaruhi oleh mekanisme aliran udara dan interaksi antara sensor, kipas, dan media karbon biobriket dalam sistem. Kipas berperan dalam mempercepat pergerakan udara menuju media filtrasi, sedangkan karbon biobriket berfungsi sebagai adsorben untuk mengurangi konsentrasi gas di udara. Hasil pengujian ini menunjukkan bahwa sistem telah bekerja sesuai dengan prinsip filtrasi udara yang dirancang, sehingga layak digunakan sebagai alat pemantauan dan filtrasi kualitas udara secara relatif.

#### 4.6.3 Analisis Sistem *Monitoring* Berbasis IoT Menggunakan Blynk

Sistem *monitoring* berbasis IoT pada penelitian ini memanfaatkan aplikasi Blynk sebagai media pemantauan konsentrasi gas. Data hasil pembacaan sensor MQ-135 diproses oleh mikrokontroler dan ditampilkan pada layar OLED dalam bentuk nilai konsentrasi gas (ppm) dan nilai ADC. Data yang sama juga ditampilkan pada aplikasi Blynk dalam bentuk indikator visual (*gauge*), sehingga kondisi kualitas udara dapat dipantau secara *real-time*. Untuk memastikan sistem *monitoring* berbasis IoT bekerja dengan baik, dilakukan pengamatan respon sistem terhadap perubahan konsentrasi gas di lingkungan sekitar sensor. Dokumentasi berikut memperlihatkan kondisi sistem yang ditampilkan melalui layar handphone di aplikasi Blynk secara *real-time*.



(a) Kondisi sebelum diberikan sumber gas      (b) Kondisi sesudah diberikan sumber gas

**Gambar 4. 7** Tampilan Sistem *Monitoring* Berbasis IoT

Gambar di atas menunjukkan dokumentasi sistem *monitoring* konsentrasi gas berbasis IoT pada kondisi sebelum dan sesudah diberikan sumber gas. Pada kondisi

awal, nilai konsentrasi gas terukur relatif rendah dan stabil. Setelah sumber gas didekatkan ke sensor, terjadi peningkatan nilai konsentrasi dan menampilkan notifikasi pada layar aplikasi Blynk dan OLED. Hal ini menunjukkan bahwa sensor MQ-135 mampu mendeteksi perubahan konsentrasi gas dengan baik serta sistem *monitoring* bekerja secara *real-time* dan konsisten.

#### 4.7 Hasil Pengujian Filtrasi Karbon Biobriket

Pengujian filtrasi karbon biobriket dilakukan untuk mengevaluasi kinerja media filtrasi dalam memengaruhi perubahan konsentrasi gas yang dinyatakan dalam satuan ppm. Pengukuran konsentrasi gas dilakukan menggunakan sensor MQ-135 pada dua kondisi perlakuan, yaitu kondisi dengan karbon biobriket dan kipas filtrasi hidup, serta kondisi tanpa karbon biobriket dan kipas filtrasi mati. Setiap pengujian dilakukan selama 120 detik dengan pencatatan nilai konsentrasi minimum dan maksimum yang terdeteksi selama proses berlangsung.

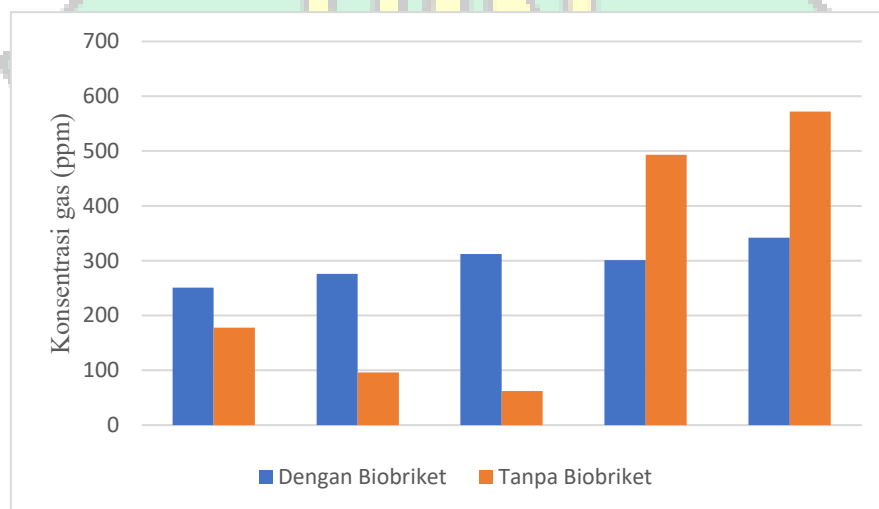
**Tabel 4. 3** Data hasil pengujian filtrasi karbon biobriket

Pengujian ke-	Konsentrasi Minimum (ppm)	Konsentrasi Maksimum (ppm)	Waktu	Karbon Biobriket	Status kipas filtrasi	Durasi (s)
1	83	251	19:44:45-19:46:45	Ada	Hidup	120
2	59	178	19:16:29-19:18:29	Tidak ada	Mati	120
3	161	276	19:46:46-19:48:46	Ada	Hidup	120
4	38	96	19:18:30-19:20:30	Tidak ada	Mati	120
5	211	312	19:48:48-19:50:48	Ada	Hidup	120
6	29	62	19:20:31-19:22:31	Tidak ada	Mati	120
7	222	301	19:50:49-19:52:49	Ada	Hidup	120
8	65	493	19:22:32-19:24:32	Tidak ada	Mati	120
9	253	342	19:52:51-19:54:51	Ada	Hidup	120
10	182	572	19:24:33-19:26:33	Tidak ada	Mati	120

Berdasarkan data pada Tabel 4.3, dapat diamati bahwa nilai konsentrasi gas maksimum pada kondisi tanpa karbon biobriket menunjukkan variasi yang cukup

besar, dengan beberapa pengujian menghasilkan nilai yang relatif rendah, namun pada pengujian lain terjadi peningkatan konsentrasi yang signifikan hingga mencapai lebih dari 500 ppm. Hal ini menunjukkan bahwa tanpa adanya media adsorben, konsentrasi gas yang terdeteksi oleh sensor sangat dipengaruhi oleh kondisi lingkungan dan akumulasi gas selama pengujian.

Sebaliknya, pada kondisi dengan karbon biobriket, nilai konsentrasi gas cenderung lebih terkendali dan tidak mengalami lonjakan ekstrem. Hal ini mengindikasikan bahwa karbon biobriket mampu menyerap sebagian gas yang terdeteksi sehingga membantu menstabilkan konsentrasi gas selama proses filtrasi. Untuk memperjelas perbandingan antara kedua kondisi tersebut, data hasil pengujian selanjutnya disajikan dalam bentuk grafik perbandingan konsentrasi gas maksimum.



**Gambar 4. 8** Grafik perbandingan kondisi biobriket dengan nilai konsentrasi

Grafik menunjukkan bahwa meskipun pada beberapa pengujian tanpa karbon biobriket diperoleh nilai konsentrasi gas yang rendah, kondisi tersebut bersifat tidak stabil dan dapat meningkat secara signifikan pada pengujian berikutnya. Sementara itu, keberadaan karbon biobriket mampu mengurangi fluktuasi konsentrasi gas melalui mekanisme adsorpsi.

Berdasarkan hasil tersebut, dapat disimpulkan bahwa karbon biobriket tetap berfungsi sebagai media adsorben dalam sistem filtrasi gas. Perbedaan konsentrasi gas yang terukur lebih dipengaruhi oleh kondisi operasional sistem, khususnya

aliran udara, namun keberadaan karbon biobriket terbukti berperan dalam menahan dan menstabilkan konsentrasi gas.

#### 4.8 Hasil Pengujian Filtrasi dengan Berbagai Sumber Asap

Evaluasi kinerja sistem filtrasi karbon biobriket dilakukan menggunakan beberapa jenis sumber asap dengan karakteristik yang berbeda. Sumber asap yang digunakan meliputi asap dari korek api gas, obat nyamuk bakar, serta hasil pembakaran kertas. Seluruh pengujian dilakukan pada dua kondisi operasi, yaitu saat sistem filtrasi diaktifkan dan saat filtrasi dinonaktifkan. Pada setiap pengujian dicatat nilai konsentrasi asap minimum dan maksimum dalam satuan ppm, serta durasi waktu pengujian, sebagai dasar untuk menilai kemampuan sistem dalam mengurangi konsentrasi asap.

##### 4.8.1 Pengujian dengan Sumber Korek Api Gas

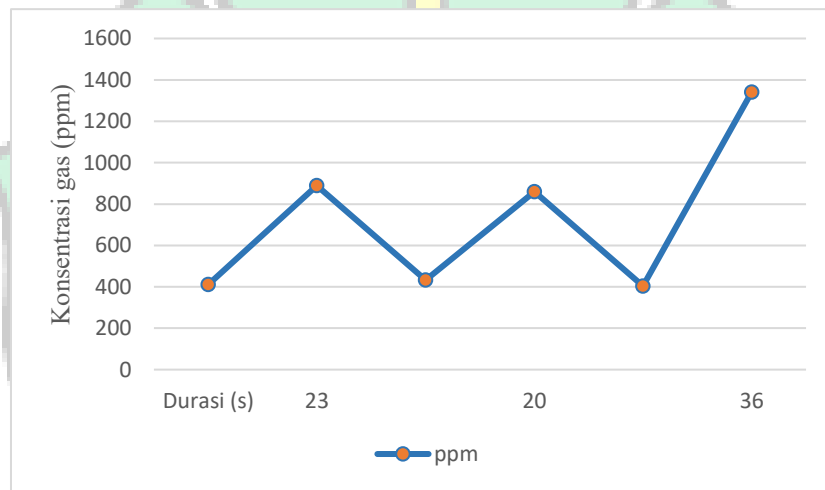
Pengujian ini menggunakan gas yang dihasilkan dari korek api gas sebagai sumber polutan. Data yang dikumpulkan berupa nilai konsentrasi gas dalam satuan ppm, meliputi nilai minimum dan maksimum yang terdeteksi oleh sensor. Selain itu, durasi pengujian juga dicatat untuk membandingkan waktu respons sistem pada kondisi filtrasi hidup dan filtrasi mati. Pencatatan durasi ini bertujuan untuk menunjukkan perbedaan kinerja sistem filtrasi dalam menurunkan konsentrasi gas hingga kembali mendekati kondisi normal. Adapun hasil pengujian disajikan pada tabel berikut.

**Tabel 4. 4** Data hasil pengujian dengan sumber korek api gas

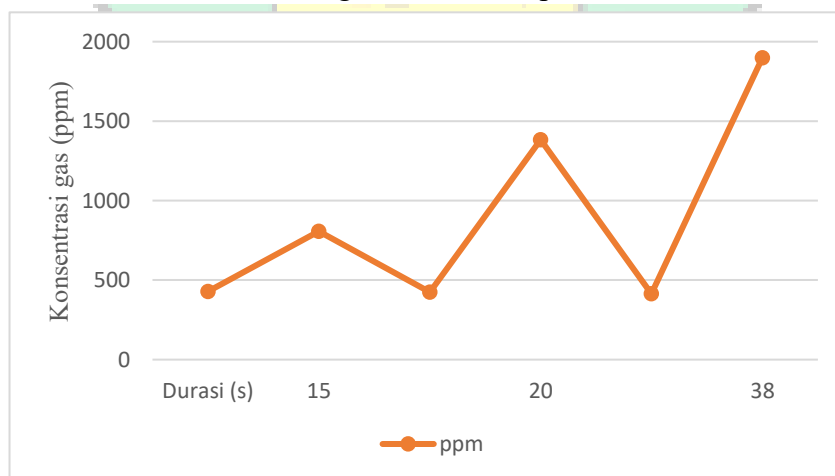
Uji ke-	Nilai Minimum (ppm)	Nilai Maksimum (ppm)	Waktu	Kondisi filtrasi	Durasi (s)
1	429	808	19:52:34-19:52:49	Mati	15
2	411	889	19:54:24-19:54:47	Hidup	23
3	425	1382	19:53:01-19:53:21	Mati	20
4	432	860	19:55:05-19:55:25	Hidup	20

5	414	1899	19:53:45- 19:54:07	Mati	38
6	404	1341	19:55:48- 19:56:12	Hidup	36

Berdasarkan data pada tabel, terlihat bahwa nilai maksimum konsentrasi asap pada kondisi filtrasi mati cenderung lebih tinggi dibandingkan kondisi filtrasi hidup. Pada kondisi filtrasi mati, nilai maksimum konsentrasi asap mencapai hingga 1816 ppm dan 1309 ppm, sedangkan pada kondisi filtrasi hidup nilai maksimum berada pada kisaran yang lebih rendah, yaitu antara 889 ppm hingga 1382 ppm. Perbedaan ini menunjukkan bahwa sistem filtrasi aktif mampu menekan puncak konsentrasi gas yang terdeteksi oleh sensor.



**Gambar 4. 9** Perubahan nilai konsentrasi dari korek api gas terhadap waktu dengan filtrasi hidup



**Gambar 4. 10** Perubahan nilai konsentrasi dari korek api gas terhadap waktu dengan filtrasi mati

Grafik hubungan nilai konsentrasi terhadap durasi waktu untuk sumber asap korek api gas menunjukkan bahwa pada kondisi filtrasi hidup terjadi penurunan nilai konsentrasi yang lebih cepat dibandingkan filtrasi mati. Hal ini mengindikasikan bahwa aliran udara yang melewati media karbon biobriket berperan dalam mempercepat proses penangkapan partikel asap selama proses filtrasi berlangsung.

#### 4.8.2 Pengujian dengan Sumber Asap Obat Nyamuk Bakar

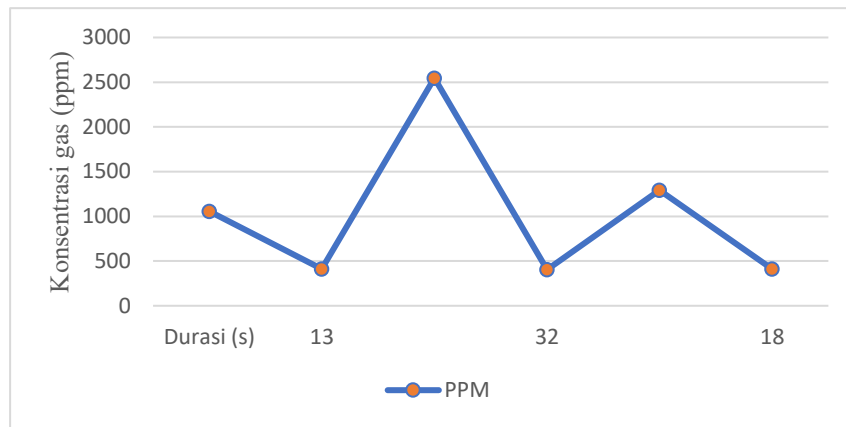
Pengujian dengan menggunakan asap dari obat nyamuk bakar menghasilkan nilai konsentrasi gas dalam satuan ppm yang lebih tinggi dibandingkan dengan sumber asap korek api gas. Hal ini disebabkan oleh karakteristik asap obat nyamuk bakar yang lebih pekat serta proses pembakaran yang berlangsung lebih lama dan stabil. Kondisi tersebut menyebabkan akumulasi partikel asap di sekitar sensor meningkat, sehingga respons sensor menunjukkan nilai konsentrasi yang lebih besar. Perbedaan ini digunakan untuk mengevaluasi kemampuan sistem filtrasi dalam mereduksi konsentrasi asap dengan tingkat kepadatan yang lebih tinggi. Di bawah ini merupakan table data hasil pengujiannya.

**Tabel 4. 5** Data hasil pengujian dengan sumber asap obat nyamuk bakar

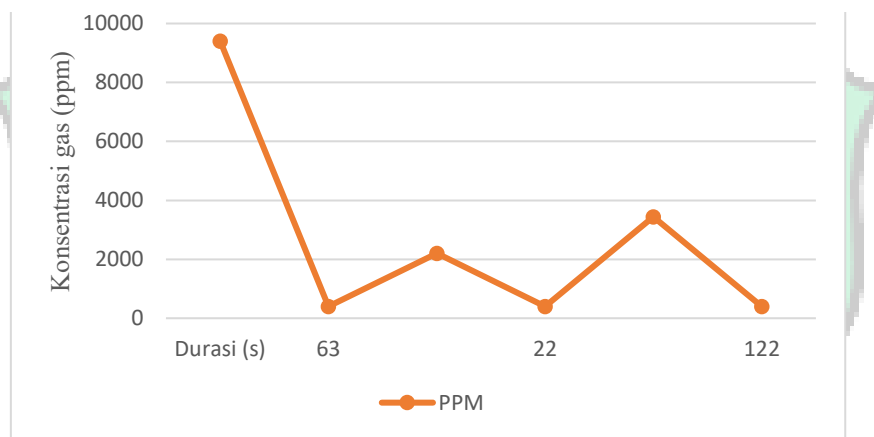
Uji ke-	Nilai Minimum (ppm)	Nilai Maksimum (ppm)	Waktu	Kondisi filtrasi	Durasi (s)
1	411	1057	20:21:37-20:21:50	Hidup	13
2	400	9408	20:16:01-20:17:04	Mati	63
3	411	1293	20:22:03-20:22:21	Hidup	18
4	400	2199	20:17:30-20:17:52	Mati	22
5	404	2546	20:22:31-20:23:03	Hidup	32
6	404	3444	20:18:07-20:21:09	Mati	122

Berdasarkan hasil pengujian yang disajikan pada di atas, nilai maksimum konsentrasi asap pada kondisi filtrasi mati menunjukkan lonjakan yang signifikan, dengan nilai tertinggi mencapai 9408 ppm. Sebaliknya, pada kondisi filtrasi hidup, meskipun nilai konsentrasi masih relatif tinggi, nilai maksimum yang terdeteksi

cenderung lebih rendah dan mengalami penurunan seiring bertambahnya durasi pengujian.



**Gambar 4. 11** Perubahan nilai konsentrasi dari asap obat nyamuk bakar terhadap waktu dengan filtrasi hidung



**Gambar 4. 12** Perubahan nilai konsentrasi dari asap obat nyamuk bakar terhadap waktu dengan filtrasi mati

Grafik hubungan nilai konsentrasi terhadap durasi waktu menunjukkan bahwa filtrasi hidung mampu mengurangi konsentrasi asap secara bertahap meskipun pada kondisi awal terdeteksi nilai konsentrasi yang tinggi. Hal ini menunjukkan bahwa karbon biobriket memiliki kemampuan adsorpsi terhadap partikel asap dari obat nyamuk bakar, meskipun efektivitasnya dipengaruhi oleh intensitas dan kontinuitas sumber asap.

#### 4.8.3 Pengujian dengan Sumber Asap Pembakaran Kertas

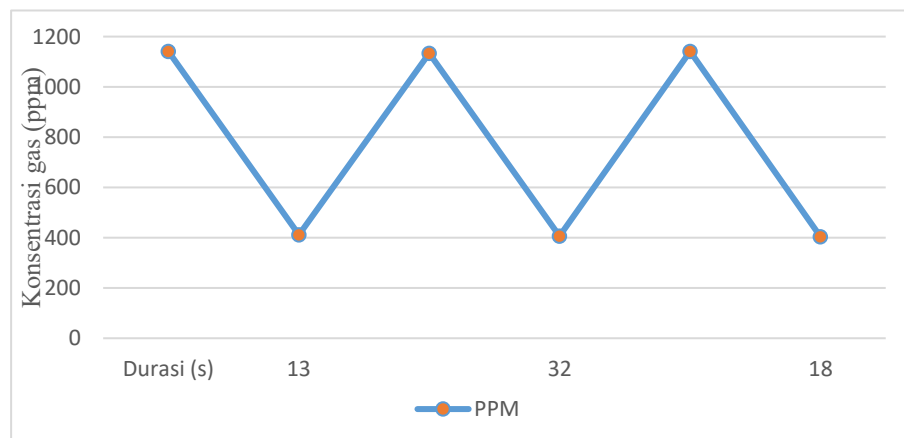
Pengujian filtrasi dengan sumber asap pembakaran kertas dilakukan untuk mengetahui respons sistem filtrasi karbon biobriket terhadap asap dengan

karakteristik pembakaran yang tidak stabil. Pembakaran kertas menghasilkan asap dengan intensitas yang berubah-ubah, sehingga pengujian ini bertujuan untuk mengevaluasi kemampuan media filtrasi dalam mereduksi konsentrasi asap pada kondisi yang fluktuatif. Pengujian dilakukan pada dua kondisi filtrasi, yaitu filtrasi hidup dan filtrasi mati, dengan pencatatan nilai konsentrasi asap minimum dan maksimum selama durasi pengujian.

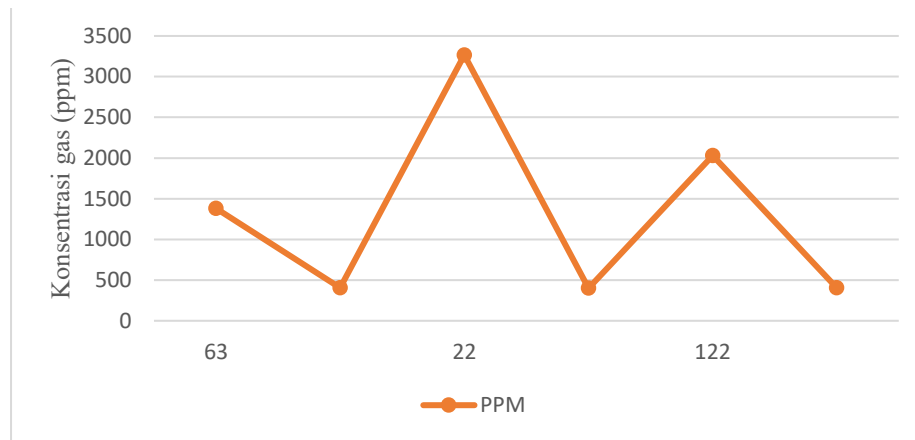
**Tabel 4. 6** Data hasil pengujian dengan sumber asap pembakaran kertas

Uji ke-	Nilai Minimum (ppm)	Nilai Maksimum (ppm)	Waktu	Kondisi filtrasi	Durasi (s)
1	411	1141	20:39:40-20:39:56	Hidup	13
2	404	1382	20:43:46-20:44:11	Mati	63
3	404	1141	20:42:20-20:42:40	Hidup	18
4	400	3266	20:44:38-20:45:37	Mati	22
5	407	1134	20:42:53-20:43:13	Hidup	32
6	404	2028	20:46:00-20:47:04	Mati	122

Berdasarkan data hasil pengujian yang disajikan pada tabel, nilai konsentrasi asap dari pembakaran kertas menunjukkan fluktuasi selama proses filtrasi berlangsung. Pada kondisi filtrasi mati, nilai maksimum konsentrasi asap cenderung lebih tinggi dibandingkan kondisi filtrasi hidup. Hal ini menunjukkan bahwa tanpa adanya sistem filtrasi aktif, partikel asap lebih banyak terdeteksi oleh sensor.



**Gambar 4. 13** Perubahan nilai konsentrasi dari sumber asap pembakaran kertas



**Gambar 4. 14** Perubahan nilai konsentrasi dari sumber asap pembakaran kertas

Grafik hubungan nilai konsentrasi terhadap durasi waktu menunjukkan bahwa pada kondisi filtrasi hidup terjadi kecenderungan penurunan nilai konsentrasi yang lebih cepat dibandingkan filtrasi mati. Meskipun karakteristik asap pembakaran kertas bersifat tidak stabil, media karbon biobriket tetap menunjukkan kemampuan dalam menurunkan konsentrasi asap relatif selama proses filtrasi berlangsung.

#### 4.9 Hasil Pengujian Kipas Filtrasi

Pengujian kipas filtrasi dilakukan untuk mengevaluasi kinerja aktuator dalam sistem kendali otomatis, terpisah dari pengujian efektivitas media karbon biobriket. Kipas dikendalikan melalui modul relay yang berfungsi sebagai penghubung antara mikrokontroler dan beban kipas. Ketika nilai konsentrasi melebihi ambang batas yang telah ditentukan, mikrokontroler mengaktifkan relay sehingga kipas menyala secara otomatis. Sebaliknya, saat nilai konsentrasi berada di bawah ambang batas, relay dinonaktifkan dan kipas kembali mati. Tabel 4.7 menyajikan hasil pengujian kinerja kipas filtrasi dalam merespons perubahan nilai konsentrasi gas yang terdeteksi selama proses pengujian. Parameter yang diamati meliputi nilai konsentrasi dan kondisi kipas filtrasi.

**Tabel 4. 7** Data hasil pengujian kipas filtrasi

No	Nilai sensor MQ-135 (ppm)	Ambang batas (ppm)	Status kipas	Keterangan
1	256	400	Mati	Udara relatif normal
2	825	400	Hidup	Terdeteksi gas / asap
3	374	400	Mati	Udara relatif normal
4	595	400	Hidup	Terdeteksi gas / asap

Berdasarkan hasil pengujian yang ditunjukkan pada tabel 4.7, dapat diketahui bahwa kipas filtrasi mampu bekerja sesuai dengan logika kendali yang telah dirancang. Pada kondisi nilai konsentrasi berada di bawah ambang batas, kipas berada dalam keadaan mati, yang menunjukkan bahwa sistem tidak melakukan filtrasi ketika kualitas udara relatif normal. Ketika nilai konsentrasi meningkat dan melampaui ambang batas yang telah ditetapkan, kipas filtrasi secara otomatis hidup. Aktivasi kipas ini berperan dalam meningkatkan sirkulasi udara melalui media karbon biobriket sehingga membantu proses penurunan konsentrasi gas. Setelah nilai konsentrasi menurun dan kembali berada di bawah ambang batas, kipas kembali mati secara otomatis. Hasil ini menunjukkan bahwa sistem kendali kipas filtrasi bekerja secara responsif dan konsisten terhadap perubahan konsentrasi gas di lingkungan sekitar sensor. Kinerja kipas yang terintegrasi dengan sistem *monitoring* ini mendukung efektivitas proses filtrasi udara secara keseluruhan.

#### 4.10 Pembahasan Hasil Pengujian

Berdasarkan keseluruhan hasil pengujian yang telah disajikan dalam bentuk tabel dan grafik, sistem *monitoring* dan filtrasi karbon biobriket berbasis *Internet of Things* menunjukkan kinerja yang sesuai dengan tujuan perancangan. Seluruh komponen sistem, mulai dari sensor, mikrokontroler, media filtrasi, hingga aktuator, bekerja secara terintegrasi dalam merespons perubahan kondisi kualitas udara selama pengujian berlangsung.

Hasil pengujian *black box* menunjukkan bahwa fungsi-fungsi utama sistem telah berjalan sesuai spesifikasi. Sistem mampu membaca data sensor MQ-135, mengolah data tersebut, serta menampilkan informasi kualitas udara melalui OLED dan aplikasi Blynk secara *real-time*. Selain itu, sistem juga mampu mengendalikan

kipas filtrasi secara otomatis berdasarkan nilai ambang batas konsentrasi gas yang telah ditentukan. Kesesuaian antara *input* dan *output* pada setiap skenario pengujian menunjukkan bahwa sistem memiliki tingkat keandalan fungsional yang baik.

Berdasarkan hasil kalibrasi sensor MQ-135, diperoleh nilai resistansi awal ( $R_0$ ) yang relatif stabil pada kondisi udara normal. Kestabilan nilai ini menjadi dasar penting dalam memastikan bahwa perubahan nilai konsentrasi gas yang terdeteksi selama pengujian benar-benar disebabkan oleh adanya paparan gas atau asap. Grafik kalibrasi menunjukkan bahwa setelah fase pemanasan, fluktuasi pembacaan sensor relatif kecil, sehingga sensor layak digunakan untuk pemantauan perubahan kualitas udara secara berkelanjutan.

Analisis grafik respon sensor terhadap berbagai sumber gas dan asap menunjukkan bahwa MQ-135 memiliki sensitivitas yang cukup baik. Setiap paparan sumber asap menyebabkan peningkatan nilai konsentrasi, yang kemudian menurun kembali setelah sumber dihilangkan. Pola kenaikan dan penurunan nilai konsentrasi gas ini terlihat konsisten pada seluruh pengujian, meskipun karakteristiknya berbeda untuk setiap jenis sumber asap. Hal ini menunjukkan bahwa sensor mampu mendeteksi perubahan kondisi udara secara responsif.

Hasil pengujian filtrasi karbon biobriket memperlihatkan adanya perbedaan karakteristik penurunan konsentrasi gas antara kondisi filtrasi hidup dan filtrasi mati. Berdasarkan tabel dan grafik perbandingan, kondisi filtrasi hidup umumnya menunjukkan waktu penurunan konsentrasi gas yang lebih singkat dibandingkan filtrasi mati. Perbedaan ini mengindikasikan bahwa aliran udara melalui media karbon biobriket yang didukung oleh kipas filtrasi berkontribusi dalam mempercepat proses penurunan nilai konsentrasi.

Secara kuantitatif, pada pengujian udara lingkungan diperoleh nilai rata-rata pembacaan konsentrasi gas sebesar 292,1 ppm pada kondisi filtrasi hidup dan 223,5 ppm pada kondisi filtrasi mati, dengan selisih sebesar 68,6 ppm. Selisih nilai ini menunjukkan adanya pengaruh mekanisme aliran udara aktif terhadap respon pembacaan sensor MQ-135. Pada pengujian menggunakan sumber asap, kondisi filtrasi hidup secara konsisten menghasilkan nilai maksimum konsentrasi gas yang lebih rendah dibandingkan filtrasi mati. Untuk asap korek api gas, nilai maksimum

pada filtrasi mati mencapai hingga 1816 ppm, sedangkan pada filtrasi hidup berada pada kisaran 889–1382 ppm. Pada pengujian asap obat nyamuk bakar, filtrasi mati menghasilkan lonjakan hingga 9408 ppm, sementara filtrasi hidup berada pada kisaran 1057–2546 ppm. Pengujian dengan asap pembakaran kertas menunjukkan pola serupa, dengan nilai maksimum filtrasi mati mencapai 3266 ppm dan filtrasi hidup berada pada kisaran 1134–1141 ppm.

Pengujian dengan berbagai sumber asap memberikan gambaran yang lebih komprehensif mengenai kinerja sistem. Asap korek api gas menghasilkan lonjakan konsentrasi gas yang cepat dengan durasi relatif singkat, sedangkan asap obat nyamuk bakar menunjukkan konsentrasi gas yang lebih tinggi dan bertahan lebih lama. Pada pembakaran kertas, grafik menunjukkan fluktuasi nilai konsentrasi gas yang tidak stabil akibat proses pembakaran yang tidak merata. Meskipun demikian, pada seluruh jenis pengujian tersebut, kondisi filtrasi hidup secara konsisten menunjukkan durasi pemulihan yang lebih singkat dibandingkan filtrasi mati.

Peran kipas filtrasi sebagai aktuator sistem juga terlihat jelas dari hasil pengujian. Kipas aktif secara otomatis ketika nilai konsentrasi gas melebihi ambang batas  $> 400$  ppm dan berhenti ketika nilai konsentrasi gas kembali berada pada kondisi aman. Respon ini berlangsung konsisten pada seluruh pengujian, yang menunjukkan bahwa logika kendali sistem telah bekerja sesuai dengan perancangan dan mampu beroperasi tanpa intervensi pengguna.

Secara keseluruhan, keterkaitan antara tabel dan grafik hasil pengujian menunjukkan bahwa sistem tidak hanya berfungsi sebagai alat *monitoring*, tetapi juga sebagai sistem pengendalian kualitas udara yang aktif. Meskipun penurunan konsentrasi gas juga dipengaruhi oleh sirkulasi udara alami lingkungan, perbandingan hasil menunjukkan bahwa keberadaan sistem filtrasi memberikan kontribusi tambahan dalam mempercepat penurunan nilai konsentrasi. Dengan demikian, sistem *monitoring* dan filtrasi karbon biobriket yang dikembangkan telah mampu menjalankan fungsinya sesuai dengan konsep rancang bangun yang direncanakan dan memiliki potensi untuk dikembangkan lebih lanjut.

## BAB V

### PENUTUP

#### 5.1 Kesimpulan

Berdasarkan hasil penelitian yang telah dilakukan, dapat ditarik beberapa kesimpulan terkait perancangan, kinerja, dan pengujian sistem *monitoring* dengan filtrasi karbon biobriket berbasis *Internet of Things* (IoT).

1. Sistem *monitoring* dan filtrasi karbon biobriket berbasis IoT berhasil dirancang dan direalisasikan dalam bentuk prototipe yang terintegrasi. Sistem mampu memantau konsentrasi gas secara *real-time* menggunakan sensor MQ-135, menampilkan data melalui layar OLED, mengirimkan data ke aplikasi Blynk untuk *monitoring* jarak jauh, serta dilengkapi LED sebagai indikator kondisi udara, di mana LED menyala stabil pada kondisi udara normal dan berkedip saat terdeteksi peningkatan konsentrasi gas.
2. Kinerja alat *monitoring* dan sistem filtrasi berbasis IoT menunjukkan respons yang baik terhadap perubahan konsentrasi gas. Pada pengujian udara lingkungan, meskipun nilai rata-rata konsentrasi gas berada di bawah ambang batas standar sistem sebesar 400 ppm, kipas filtrasi tetap diaktifkan secara sengaja dengan penyesuaian ambang batas (threshold) yang diturunkan untuk keperluan pengujian efektivitas media karbon biobriket. Dalam kondisi tersebut, filtrasi aktif menghasilkan nilai rata-rata pembacaan sebesar 292,1 ppm, sedangkan kondisi filtrasi tidak aktif sebesar 223,5 ppm, dengan selisih 68,6 ppm yang dipengaruhi oleh mekanisme aliran udara aktif terhadap respons pembacaan sensor. Penyesuaian ambang batas ini dilakukan untuk memastikan bahwa sistem filtrasi dan media karbon biobriket dapat diuji kinerjanya pada kondisi udara lingkungan normal, bukan hanya pada kondisi konsentrasi gas tinggi. Hasil pengujian menunjukkan bahwa sensor MQ-135 dan modul IoT mampu mendeteksi fluktuasi konsentrasi gas secara *real-time*, sementara sistem filtrasi merespons sesuai logika kendali yang telah dimodifikasi selama pengujian.

3. Penggunaan karbon biobriket sebagai media filtrasi memberikan pengaruh terhadap penurunan konsentrasi gas relatif selama pengujian. Pada pengujian dengan berbagai sumber asap, kondisi filtrasi aktif secara konsisten menurunkan nilai maksimum konsentrasi gas dibandingkan filtrasi tidak aktif, seperti pada asap korek api gas yang mencapai hingga 1816 ppm dan menurun pada kisaran 889–1382 ppm, serta pada asap obat nyamuk bakar yang mencapai hingga 9408 ppm dan menurun menjadi 1057–2546 ppm. Hasil ini menunjukkan bahwa media karbon biobriket berperan sebagai adsorben gas dan berkontribusi dalam menekan puncak konsentrasi gas relatif, meskipun efektivitasnya masih dipengaruhi oleh karakteristik sumber asap dan kondisi lingkungan.

## 5.2 Saran

Berdasarkan hasil penelitian yang telah dilakukan, terdapat beberapa keterbatasan yang dapat menjadi bahan pertimbangan untuk pengembangan sistem dan penelitian selanjutnya.

1. Sensor gas yang digunakan belum dikalibrasi menggunakan gas standar terverifikasi, sehingga hasil pengukuran masih bersifat relatif. Penelitian selanjutnya disarankan melakukan kalibrasi menggunakan sensor pembanding atau gas referensi untuk meningkatkan akurasi dan validitas data.
2. Media karbon biobriket yang digunakan masih terbatas pada satu jenis komposisi dan bentuk. Pengembangan selanjutnya dapat dilakukan dengan memvariasikan bahan baku, ukuran partikel, dan susunan media filtrasi guna memperoleh performa penyerapan gas yang lebih optimal.
3. Pengujian sistem belum mempertimbangkan pengaruh variabel lingkungan, seperti suhu dan kelembaban udara. Penelitian selanjutnya disarankan menambahkan sensor suhu dan kelembaban untuk menganalisis pengaruhnya terhadap pembacaan sensor gas dan kinerja sistem filtrasi, sehingga sistem dapat diterapkan pada kondisi yang lebih luas, termasuk lingkungan industri.

## DAFTAR PUSTAKA

- Al, B. et. (2025). Sistem *Internet of Things* ( IoT ) Untuk Pemantauan Kualitas Udara Dalam Ruangan Jurnal Sains dan Teknologi. *Jurnal Sains Dan Teknologi*, 02(02), 25–29.
- Allena, N., Anto, A. M., Espinosa, L., Khanal, S., & Vakde, T. (2025). Addressing Environmental Factors in COPD: The Role of HEPA Filters in Indoor Air Quality. *International Journal of Respiratory and Pulmonary Medicine*, 12(1), 1–4. <https://doi.org/10.23937/2378-3516/1410194>
- Asrar, D., Hidayat, C. K., Prasetya, F., Studi, P., & Elektro, T. (2023). *Monitoring Pembersih Udara Dengan Menggunakan Filter Limbah Cangkang Telur Dan Serat Batang Kelapa Berbasis Internet of Things ( IoT )*. *Jurnal Ismetek*, 16(1), 73–77.
- Dian, E., Savinka, S. A., Nurdhan H, O., Khoiril Mustofa, M., Setiawan, A., Naufal Kusuma, M., Aulia, V., Husain, Z., & Kurniawan, E. D. A. (2025). Strategi Pengurangan Konsumsi Listrik Melalui Teknologi Cerdas: Penerapan *Internet of Things* (IoT) di Masa Depan. *Jurnal Angka*, 2(1), 31–40. <http://jurnalilmiah.org/journal/index.php/angka>
- F, F. D. P. E., & Feriyanto, D. (2022). Analisis pengaruh filter karbon aktif alami pada air purifier Daikin MC30VVM-H terhadap kualitas udara. *Journal of New Energies and Manufacturing*, 1(1), 74–85.
- Fahrussiam, F., Lestari, D., & Ningsih, R. V. (2023). Calorific Value of Several Types of Wood Through Proximate Analysis and Chemical Components Approach. *Jurnal Biologi Tropis*, 23(1), 355–359. <https://doi.org/10.29303/jbt.v23i1.4416>
- Fajar Nugraha, R., Nurul Husna, F., Sandi, S., Fairuz Syahla, A., Aldi Saputra, Y., & Hidayat, R. (2024). Smart Air Quality Guardian: Pengawasan Polusi Udara Berbasis ESP32 dengan Sensor Gas MQ-2 dan MQ-135. *Jurnal Komputer Dan Elektro Sains*, 2(2), 1–7. <https://doi.org/10.58291/komets.v2i2.175>

- Farhan, M., Purnama, M. D., Haris, M. F. I., & Fatahillah, I. A. (2025). Efektivitas Regulasi Nasional Dalam Mendukung Target Nationally Determined Contributions (Ndc) Indonesia Sesuai Perjanjian Paris. *Journal of Indonesian Comparative of Syari'ah Law*, 8(1), 119–136. <https://doi.org/10.21111/jicl.v8i1.13283>
- Islam, G. Z., & Motakabber, S. M. A. (2025). A Comprehensive Review on the *Internet of Things* Network. *Journal of Communications*, 20(1), 84–98. <https://doi.org/10.12720/jcm.20.1.84-98>
- Kholif. (2025). *University Of Piraeus Department Department of International And European Studies Master. October*, 6. <https://www.city.kawasaki.jp/500/page/0000174493.html>
- Kriswantriyono, A., Setiyaji, A., Fauziyah, E., Pratiwi, sarah dhea, & Setiadini, tria baeti. (2022). Integrasi Dan Dampak Program Pertanian Terpadu Sistem. *Resolusi Konflik, CSR, Dan Pemberdayaan*, 7(1), 37–48.
- Manisalidis, I., Stavropoulou, E., Stavropoulos, A., & Bezirtzoglou, E. (2020). Environmental and Health Impacts of Air Pollution: A Review. *Frontiers in Public Health*, 8(February), 1–13. <https://doi.org/10.3389/fpubh.2020.00014>
- Manoj, M., Kumar, V. D., Arif, M., Bulai, E. R., Bulai, P., & Geman, O. (2022). State of the Art Techniques for Water Quality Monitoring Systems for Fish Ponds Using IoT and Underwater Sensors: A Review. *Sensors*, 22(6). <https://doi.org/10.3390/s22062088>
- Mobaraki, B., Lozano-Galant, F., Soriano, R. P., & Pascual, F. J. C. (2021). Application of low-cost sensors for building monitoring: A systematic literature review. *Buildings*, 11(8). <https://doi.org/10.3390/BUILDINGS11080336>
- Mphale, O., Gorejena, K. N., & Nojila, O. (2024). The Future of Things: A Comprehensive Overview of *Internet of Things* History, Definitions, Technologies, Architectures, Communication and beyond. *Journal of*

*Information Systems and Informatics*, 6(2), 1263–1286.  
<https://doi.org/10.51519/journalisi.v6i2.738>

Muttaqin, R., Prayitno, W. S. W., Setyaningsih, N. E., & Nurbaiti, U. (2024). Rancang Bangun Sistem Pemantauan Kualitas Udara Berbasis Iot (*Internet of Things*) dengan Sensor DHT11 dan Sensor MQ135. *Jurnal Pengelolaan Laboratorium Pendidikan*, 6(2), 102–115.  
<https://doi.org/10.14710/jplp.6.2.102-115>

Noor, M. F., Mahdie, M. F., Diana, D., Program, U., & Kehutanan, S. (2022). Sifat Fisik Dan Waktu Bakar Biobriket Limbah Pelepah Kelapa Sawit The Physical and Burning Time Biobriquettes Waste Oil Palm frond. *Jurnal Sylva Scienteeae*, 05(6), 976–984.

Norhikmah, Sari, N. M., & Mahdie, M. F. (2021). Pengaruh Persentase Perekat Tapioka Terhadap Karakteristik Briket Arang Tempurung Kelapa. *Jurnal Sylva Scienteeae*, 4(2), 324. <https://doi.org/10.20527/jss.v4i2.3343>

Nurjannah, N., Muchtar, M., Sarimuddin, S., Sya'ban, K., Karim, R., & Al Jum'ah, M. N. (2024). Perancangan Smart Trash Bin Menggunakan Logika Fuzzy Berbasis Arduino Di Sdn 5 Mawasangka, Buton Tengah. *Jurnal Informatika Dan Teknik Elektro Terapan*, 12(3), 1630–1640.  
<https://doi.org/10.23960/jitet.v12i3.4358>

Olatomiwa, L., Ambafi, J. G., Dauda, U. S., Longe, O. M., Jack, K. E., Ayoade, I. A., Abubakar, I. N., & Sanusi, A. K. (2023). A Review of *Internet of Things*-Based Visualisation Platforms for Tracking Household Carbon Footprints. *Sustainability*, 15(20), 15016. <https://doi.org/10.3390/su152015016>

Putra, A. W., Fitri, Z., & Anshari, S. F. (2025). Sistem *Monitoring* Dan Pendeteksi Pencemaran Udara Sekolah Pendahuluan, *Jurnal Teknologi dan Sistem Informasi Univrab*, 10(2), 675–692.

Radouan Ait Mouha, R. A. (2021). *Internet of Things* (IoT). *Journal of Data Analysis and Information Processing*, 09(02), 77–101.

<https://doi.org/10.4236/jdaip.2021.92006>

Raja, P., Kumar, D. S., Yadav, D. S., & Singh, D. T. (2023). The *Internet of Things* (IOT): A Review of Concepts, Technologies, and Applications. *International Journal of Information Technology and Computer Engineering*, 32, 21–32. <https://doi.org/10.55529/ijitc.32.21.32>

Rani. (2020). *Real-time Air Quality Monitoring System Using Mq135 and Thingsboard*. *Journal of Critical Reviews*, 7(18), 4107–4115. <https://www.researchgate.net/publication/347946855>

Selvam, A. P., & Al-Humairi, S. N. S. (2023). The Impact of IoT and Sensor Integration on Real- Time Weather Monitoring Systems : A Systematic Review. *Research Square*, 1–71. [https://www.researchgate.net/publication/375567504\\_The\\_Impact\\_of\\_IoT\\_and\\_Sensor\\_Integration\\_on\\_Real-time\\_Weather\\_Monitoring\\_Systems\\_A\\_Systematic\\_Review](https://www.researchgate.net/publication/375567504_The_Impact_of_IoT_and_Sensor_Integration_on_Real-time_Weather_Monitoring_Systems_A_Systematic_Review)

Taufiq, A. J., Hayat, L., Muchtasjar, B., Romandolo, D. G., Amarudin, R. B., Purwokerto, U. M., Purwokerto, U. M., Purwokerto, U. M., & Makalah, I. (2024). Sistem *Monitoring* Polusi Udara Berbasis Sensor MQ-135 Untuk Deteksi Gas CO<sub>2</sub> dan CO:Studi Kasus di Daerah Perkotaan. *Techno*, 25(2), 131–138.

Vegatama, M. R. (2022). Vol. 14 40 No. 2. *Journal of The Indonesian Society of Integreted Chemiistry*, 14(2), 77–83.





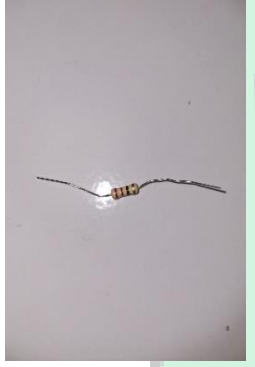

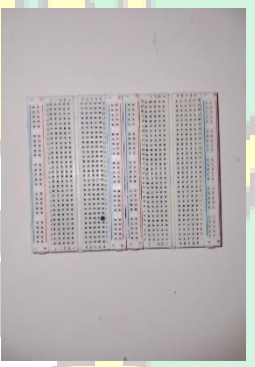



WHO. (2022). *Air quality and Helath*. 3. [www.breathelife2030.org](http://www.breathelife2030.org)

Witczak, D., & Szymoniak, S. (2024). Review of *Monitoring* and Control Systems Based on *Internet of Things*. *Applied Sciences (Switzerland)*, 14(19). <https://doi.org/10.3390/app14198943>

Zenhadi. (2022). *Praktek Modul 1 : Pengenalan ESP32 Board*. *MK Internet of Things*, 6, 1–16. [https://zenhadi.lecturer.pens.ac.id/kuliah/InternetOfThings/Praktek/Praktek Modul 1 Pengenalan ESP32.pdf](https://zenhadi.lecturer.pens.ac.id/kuliah/InternetOfThings/Praktek/Praktek%20Modul%201%20Pengenalan%20ESP32.pdf)









## LAMPIRAN

Lampiran 1 Komponen-komponen yang terdapat dalam siste

			
Mikrokontroler ESP32	Sensor gas MQ- 135	OLED I2C	LED
			
Resistor 220 $\Omega$	Modul Relay	Breadboard	Kabel jumper male to male
			
Kabel USB <i>micro</i>	Adaptor 12 V		




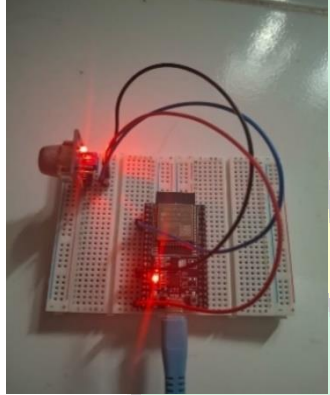
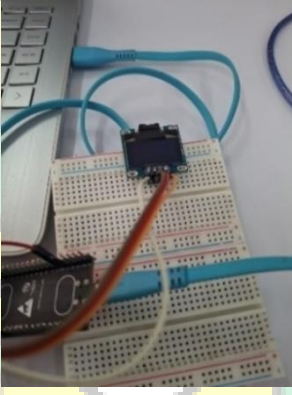
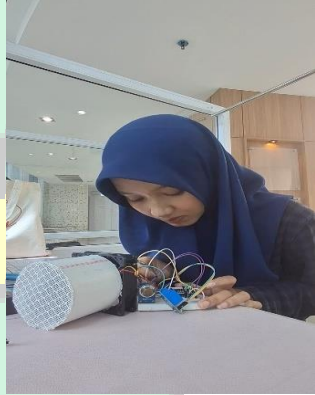


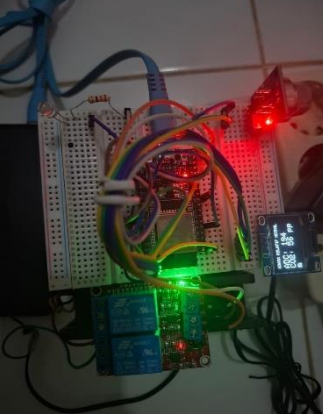
## LAMPIRAN 2

Lampiran 2 Alat dan bahan sistem filtrasi beserta proses perakitan

		
<p>Pipa PVC</p>	<p>Lem batang</p>	<p>Kawat nilon</p>
		
<p>Biobriket dengan bahan sekam padi dan serbuk gergaji</p>	<p>Biobriket dimasukkan ke dalam pipa</p>	<p>Tampilan kipas DC sebelum dihubungkan dengan adaptor 12 V</p>
		
<p>Tampilan kipas DC setelah dihubungkan dengan adaptor 12 V</p>	<p>Hasil akhir prototipe sistem filtrasi karbon biobriket</p>	

### LAMPIRAN 3

#### Lampiran 3 Proses perakitan prototipe sistem *monitoring*

		
<p>Proses penyolderan pin OLED</p>	<p>Tampilan timah solder dan OLED (sebelum disolder)</p>	<p>OLED setelah disolder</p>
		
<p>Koneksi pin sensor MQ-135 dengan ESP32</p>	<p>Koneksi pin OLED I2C dengan ESP32</p>	<p>Proses perakitan seluruh komponen</p>
		
<p>Tampilan prototipe sistem yang belum aktif</p>	<p>Proses <i>upload</i> program ke mikrokontroler memakai Arduino IDE</p>	<p>Tampilan prototipe sistem <i>monitoring</i> dan filtrasi karbon biobriket</p>

## LAMPIRAN 4

Lampiran 4 Sistem *monitoring* dan filtrasi berbasis IoT

	
<p>Tampilan sebelum sistem <i>monitoring</i> dihubungkan (<i>offline</i>)</p>	<p>Tampilan sesudah sistem <i>monitoring</i> dihubungkan (<i>online</i>)</p>
	
<p>Tampilan prototipe sistem <i>monitoring</i> dan filtrasi karbon biobriket berbasis IoT</p>	<p>Tampilan nilai konsentrasi secara <i>real-time</i> dari <i>software</i> Blynk dan OLED</p>

## LAMPIRAN 5

### Lampiran 5 Pengujian filtrasi dengan berbagai sumber gas / asap

