

**PROTOTIPE SISTEM PENYARINGAN DAN PENGUKURAN  
ASAP PEMBAKARAN SAMPAH PADA MINI INSINERATOR**

**SKRIPSI**

Disusun sebagai salah satu syarat untuk memperoleh gelar Sarjana Teknik (S.T)



**Disusun oleh:**

**ADHA ALDIYANSYAH**

**NPM.3332210034**

**JURUSAN TEKNIK ELEKTRO  
FAKULTAS TEKNIK  
UNIVERSITAS SULTAN AGENG TIRTAYASA  
2025**

## **LEMBAR PERNYATAAN KEASLIAN SKRIPSI**

Dengan ini saya sebagai penulis skripsi berikut:

Judul : Prototipe Sistem Penyaringan dan Pengukuran Asap  
Pembakaran Sampah Pada Mini Insinerator

Nama Mahasiswa : Adha Aldiyansyah

NPM : 3332210034

Fakultas/Jurusan : Teknik/Teknik Elektro

Menyatakan dengan sesungguhnya bahwa skripsi tersebut di atas adalah benar - benar hasil karya asli saya dan tidak memuat hasil karya orang lain, kecuali dinyatakan melalui rujukan yang benar dapat dipertanggungjawabkan. Apabila dikemudian hari ditemukan hal-hal yang menunjukkan bahwa sebagian atau seluruhnya karya ini bukan karya saya, maka saya bersedia dituntut melalui hukum yang berlaku. Saya juga bersedia menanggung segala akibat hukum yang timbul dari pernyataan yang secara sadar dan sengaja saya nyatakan melalui lembar ini.

Cilegon, 05 Juni 2025



Adha Aldiyansyah

NPM.3332210034

## LEMBAR PENGESAHAN

Dengan ini ditetapkan bahwa skripsi berikut.

Judul : Prototipe Sistem Penyaringan dan Pengukuran Asap  
Pembakaran Sampah Pada Mini Insinerator

Nama Mahasiswa : Adha Aldiyansyah

NPM : 3332210034

Fakultas/Jurusan : Teknik/Teknik Elektro

Telah diuji dan dipertahankan pada tanggal **05 Juni 2025** melalui Sidang Skripsi di Fakultas Teknik Universitas Sultan Ageng Tirtayasa Cilegon dan dinyatakan **LULUS.**

Dewan Penguji

Tanda Tangan

Pembimbing I : Imamul Muttakin, S.T., M.Eng. Ph.D.



Pembimbing II : Masjudin, S.T., M.Eng.



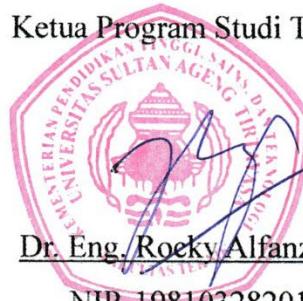
Penguji I : Prof. Dr. Alimuddin, S.T., M.M., M.T



Penguji II : Fadil Muhammad, S.T., M.T

Mengetahui,

Ketua Program Studi Teknik Elektro



Dr. Eng. Roeky Alfanz, S.T., M.Sc.

NIP. 198103282010121001

## PRAKATA

Puji syukur penulis ucapkan kepada Allah subhanahu wa ta'ala atas berkat dan karunia-Nya, penulis dapat menyelesaikan penelitian dengan judul "Prototipe Sistem Penyaringan dan Pengukuran Asap Pembakaran Sampah Pada Mini Insinerator". Penelitian ini dimaksudkan sebagai salah satu syarat untuk memperoleh gelar Sarjana Teknik (S.T) pada tingkat Strata 1 (S1) di Universitas Sultan Ageng Tirtayasa.

Dalam proses pelaksanaan penelitian maupun proses penyusunan laporan, peneliti amat sangat menyadari bahwa pencapaian ini tidak terlepas dari dukungan berbagai pihak yang telah memberikan bantuan secara langsung maupun tidak langsung. Bantuan-bantuan tersebut berupa bimbingan akademis, motivasi, serta semangat yang sangat berarti bagi penulis. Oleh karena itu, pada kesempatan ini penulis ingin mengucapkan terima kasih sebanyak-banyaknya kepada semua pihak yang telah berkontribusi dalam proses ini. Adapun pihak-pihak yang telah berkontribusi memberikan semangat, motivasi, dan bimbingannya yaitu:

1. Kedua orang tua dan kakak tercinta yang selalu memberikan dukungan, doa, dan pengertiannya selama penelitian dan proses penyusunan laporan.
2. Bapak Dr. Eng. Rocky Alfanz, S.T., M.Sc. selaku Ketua Jurusan Teknik Elektro yang memberikan motivasi penulis untuk menyelesaikan studi.
3. Bapak Imamul Muttakin, S.T., M.Eng., Ph.D selaku dosen pembimbing akademik sekaligus dosen pembimbing 1 yang selalu memberikan dukungan serta motivasi untuk segera menyelesaikan studi dan juga selalu membimbing dengan sabar.
4. Bapak Masjudin, S.T., M.Eng. selaku dosen pembimbing 2 yang telah membimbing dalam penulisan laporan Prototipe Sistem Penyaringan dan Pengukuran Asap Pembakaran Sampah Pada Mini Insinerator dengan sabar.
5. Teman-teman Laboratorium *Applied Electromagnetics* yang memberikan motivasi serta membantu dalam penelitian maupun penyusunan laporan.

Penulis menyadari bahwasanya penelitian ini memiliki banyak kekurangan, baik dari segi isi, metode, serta cara penyajiannya. Hal ini tidak luput dari keterbatasan pengetahuan, pengalaman, serta waktu yang dimiliki penulis.

Meskipun demikian, penulis telah berupaya semaksimal mungkin untuk menyusun laporan ini sebaik-baiknya. Penulis berharap penelitian ini dapat bermanfaat bagi siapa pun yang membaca penelitian ini. Semoga penelitian ini dapat memotivasi pembaca untuk mengurangi segala kegiatan yang dapat mencemari lingkungan.

Cilegon, 05 Juni 2025



Adha Aldiyansyah

## **ABSTRAK**

Adha Aldiyansyah  
Teknik Elektro

### **Prototipe Sistem Penyaringan dan Pengukuran Asap Pembakaran Sampah Pada Mini Insinerator**

Pengelolaan sampah dengan cara dibakar merupakan pengelolaan sampah yang paling banyak dilakukan masyarakat. Saat pembakaran sampah berlangsung, terdapat gas emisi serta residu yang berbentuk abu dihasilkan, selain itu asap yang dihasilkan dari pembakaran sampah berpotensi meningkatkan polusi udara. Polusi yang terkandung dalam asap pembakaran sampah berupa zat nitrogen oksida, karbon monoksida, serta partikel polusi. Jumlah polusi udara yang diakibatkan dari pembakaran sampah dapat dikurangi kadarnya dengan mengolah asap hasil pembakaran sebelum dibuang seutuhnya ke lingkungan sekitar dengan melakukan penyaringan asap dari pembakaran sampah. Tujuan dari penelitian ini adalah untuk menguji efektivitas alat penyaringan asap dalam menyaring zat polutan yang terkandung dalam asap pembakaran sampah serta mengevaluasi performa alat agar dapat menjadi solusi inovatif dalam mengurangi polusi udara yang dihasilkan dalam pembakaran sampah. Zat polutan yang terkandung dalam asap diukur kadarnya dengan menggunakan sensor MQ-7, sensor MQ-135, dan sensor GP2Y1010AU0F. Hasil yang ditunjukkan pada penyaringan asap pada filter ketiga mampu mengurangi zat polutan dengan baik dengan kadar gas karbon monoksida berada di bawah 5 PPM, gas karbon dioksida berada di bawah 350 PPM, dan kadar PM2.5 berada di bawah  $11 \mu\text{g}/\text{m}^3$ .

Kata Kunci:

Pembakaran sampah, Polusi udara, Penyaring asap

## **ABSTRACT**

Adha Aldiyansyah  
*Electrical Engineering*

*Prototype of Waste Incineration Smoke Filtration and Measurement System on  
Mini Incinerator*

*Waste management by burning is the waste management that is most often carried out by the community. When waste burning takes place, there are emission gases and residues in the form of ash produced, in addition, the smoke produced from burning waste has the potential to increase air pollution. The pollution contained in the smoke from burning waste is in the form of nitrogen oxides, carbon monoxide, and pollution particles. The amount of air pollution caused by burning waste can be reduced by processing the smoke from burning before it is completely discharged into the surrounding environment by filtering the smoke from burning waste. The purpose of this study was to test the effectiveness of the smoke filtering device in filtering pollutants contained in the smoke from burning waste and to evaluate the performance of the device so that it can be an innovative solution in reducing air pollution produced in burning waste. The pollutant content in the smoke was measured using the MQ-7 sensor, the MQ-135 sensor, and the GP2Y1010AU0F sensor. The results shown in the smoke filtration on the third filter are able to reduce pollutants well with carbon monoxide gas levels below 5 PPM, carbon dioxide gas below 350 PPM, and PM2.5 levels below 11  $\mu\text{g}/\text{m}^3$ .*

*Keywords:*

*Waste incineration, Air pollution, Smoke filters*

## DAFTAR ISI

<b>HALAMAN JUDUL .....</b>	<b>i</b>
<b>LEMBAR PERNYATAAN KEASLIAN SKRIPSI .....</b>	<b>ii</b>
<b>LEMBAR PENGESAHAN .....</b>	<b>iii</b>
<b>PRAKATA .....</b>	<b>iv</b>
<b>ABSTRAK .....</b>	<b>vi</b>
<b>ABSTRACT .....</b>	<b>vii</b>
<b>DAFTAR ISI.....</b>	<b>viii</b>
<b>DAFTAR GAMBAR.....</b>	<b>x</b>
<b>DAFTAR TABEL .....</b>	<b>xii</b>
<b>BAB 1 PENDAHULUAN .....</b>	<b>1</b>
1.1.    Latar Belakang .....	1
1.2.    Rumusan Masalah .....	5
1.3.    Tujuan Penelitian.....	5
1.4.    Manfaat Penelitian.....	6
1.5.    Batasan Masalah .....	6
1.6.    Sistematika Penulisan.....	6
<b>BAB II TINJAUAN PUSTAKA.....</b>	<b>8</b>
2.1.    Pembakaran Terbuka .....	8
2.2.    Filter Udara.....	9
2.3.    Sensor .....	11
2.3.1.    Sensor MQ-135 .....	11
2.3.2.    Sensor MQ-7 .....	12
2.3.3.    Sensor GP2Y1010AU0F .....	14
2.3.4.    Sensor Api KY-026.....	15
2.4.    Mikrokontroler .....	16
2.5.    Kajian Pustaka.....	17
<b>BAB III METODOLOGI PENELITIAN .....</b>	<b>21</b>
3.1.    Metodologi Penelitian .....	21
3.1.1.    Rancangan Alat .....	21
3.1.2.    Diagram Alir Alat .....	23

3.1.3. Diagram Blok Alat .....	24
3.1.4. Diagram <i>Schematic</i> .....	25
3.2. Komponen Penelitian .....	26
<b>BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN .....</b>	<b>27</b>
4.1. Hasil Perancangan Alat .....	27
4.1.1. Hasil Perancangan Kerangka Alat .....	27
4.1.2. Hasil Perancangan Filter .....	30
4.2. Kalibrasi Sensor .....	32
4.2.1. Kalibrasi Sensor MQ-7 .....	32
4.2.2. Kalibrasi Sensor MQ-135 .....	34
4.2.3. Kalibrasi Sensor GP2Y1010AU0F .....	36
4.3. Pengujian Alat .....	39
4.3.1. Pengujian Sistem Pencatatan Pembakaran Sampah .....	39
4.3.2. Hasil dan Analisis Pembakaran Sampah Kertas .....	42
4.3.3. Hasil dan Analisis Pembakaran Sampah Plastik .....	45
4.4. Pembahasan .....	48
<b>BAB V PENUTUP .....</b>	<b>52</b>
5.1. Kesimpulan .....	52
5.2. Saran .....	52
<b>DAFTAR PUSTAKA .....</b>	<b>53</b>
<b>LAMPIRAN A KONFIGURASI PIN SENSOR .....</b>	<b>A-1</b>
<b>LAMPIRAN B LISTING CODE .....</b>	<b>B-1</b>
<b>LAMPIRAN C HASIL PENELITIAN .....</b>	<b>C-1</b>

## DAFTAR GAMBAR

Gambar 2.1 Tingkat Sensitivitas Sensor MQ-135 .....	12
Gambar 2.2 Tingkat Sensitivitas Sensor MQ-7 .....	13
Gambar 2.3 Sistem Kerja Sensor GP2Y1010AU0F .....	14
Gambar 2.4 Sinyal Pulsa Cahaya IR .....	15
Gambar 2.5 Rangkaian Pengondisi Sinyal pada Sensor KY-026 .....	16
Gambar 3.1 Rancangan Alat: (a) Tampak depan; (b) Tampak belakang.....	21
Gambar 3.2 Bagian-Bagian Alat .....	22
Gambar 3.3 Diagram Alir Alat.....	23
Gambar 3.4 Diagram Blok Alat .....	25
Gambar 3.5 Diagram Schematic .....	25
Gambar 4.1 Hasil Perancangan Alat: (a) Tungku pembakaran sampah; (b) Penggabungan tungku pembakaran sampah dengan kerangka alat. ..	27
Gambar 4.2 Lubang Pada Bagian Atas Kerangka.....	28
Gambar 4.3 Pipa yang Sudah Terpasang Pada Kerangka Alat .....	28
Gambar 4.4 Kotak Sistem Alat: (a) Keadaan tertutup; (b) Keadaan Terbuka ..	29
Gambar 4.5 Penempatan Kotak Sistem.....	29
Gambar 4.6 Urutan Penempatan Media Filter .....	30
Gambar 4.7 Tata Letak Penempatan Sensor MQ-7, Sensor MQ-135, dan Sensor GP2Y1010AU0F Pada Filter Pertama dan Kedua .....	31
Gambar 4.8 Filter Ketiga.....	31
Gambar 4.9. Bosean T-Z01 .....	32
Gambar 4.10 Data Kalibrasi Sensor MQ-7: (a) Kalibrasi hari pertama; (b) Kalibrasi hari kedua; (c) Kalibrasi hari ketiga .....	33
Gambar 4.11 Data Kalibrasi Sensor MQ-135: (a) Kalibrasi hari pertama; (b) Kalibrasi hari kedua; (c) Kalibrasi hari ketiga. ....	35
Gambar 4.12 Data Kalibrasi Sensor GP2Y1010AU0F: (a) Kalibrasi hari pertama; (b) Kalibrasi hari kedua; (c) Kalibrasi hari ketiga.....	37
Gambar 4.13 LED Indikator Merah Menyala .....	39
Gambar 4.14 LED Indikator Hijau Menyala.....	40

Gambar 4.15 LED Indikator Kuning Berkedip.....	40
Gambar 4.16 Penamaan File Data Pembakaran Sampah .....	41
Gambar 4.17 Tampilan Data Mentah dari Pembakaran dan Penyaringan Asap Pembakaran Sampah .....	41
Gambar 4.18 Data Pembakaran dan Penyaringan Asap Pembakaran Sampah yang Telah Diolah .....	42

## **DAFTAR TABEL**

Tabel 4.1 Data Pengujian Pembakaran Sampah Kertas .....	43
Tabel 4.2 Data Pengujian Pembakaran Sampah Plastik.....	45

# BAB 1

## PENDAHULUAN

### 1.1. Latar Belakang

Sampah merupakan permasalahan utama yang dihadapi oleh dunia, terutama sampah dengan jangka waktu yang cukup lama terurai. Setiap negara mengatasi permasalahan ini melalui sistem pengelolaan sampah yang dimilikinya. Ketika negara-negara dari tingkat penghasilan menengah sampai tingkat penghasilan tinggi, sistem pengelolaan sampah pada tiap negara dapat berkembang. Perkembangan ini dapat mengikuti pertumbuhan kemakmuran serta tingkat kepadatan penduduk pada wilayahnya masing-masing. Pertumbuhan penduduk yang cepat tentunya dapat menciptakan berbagai macam pusat perhatian pada berbagai wilayah dalam suatu negara. Hal ini tentunya dapat menciptakan peningkatan sampah yang dihasilkan pada negara tersebut [1].

Berdasarkan data yang diperoleh dari *World Bank*, dunia bisa menghasilkan sebanyak 2,01 miliar ton sampah setiap tahunnya, dengan 33% sampah tidak dikelola secara baik dan ramah lingkungan. Dalam satu keluarga di seluruh dunia, sampah yang dapat dihasilkan mencapai 0,74 kilogram sampah per harinya. Namun, tingkat sampah yang dihasilkan dalam satu keluarga bisa sangat bervariasi, mulai dari 0,11 sampai dengan 4,54 kilogram sampah per harinya. Volume sampah yang dihasilkan ini tentunya sangat berkaitan dengan tingkat pendapatan dan tingkat urbanisasi pada tiap-tiap wilayah [1].

Melihat data tersebut, dapat diperkirakan bahwa timbunan sampah dapat meningkat menjadi 3,40 miliar ton pada tahun 2050. Peningkatan ini tentunya berkaitan erat dengan tingkat pendapatan pada suatu negara. Produksi sampah harian di negara-negara berpenghasilan tinggi diperkirakan dapat meningkat sebanyak 19% pada tahun 2050, sedangkan pada negara yang memiliki tingkat penghasilan rendah dan menengah diperkirakan dapat meningkat sekitar 40% atau bahkan bisa melebihi 40% [1].

Pada tahun 2015 Indonesia menempatkan posisi kedua sebagai penyumbang sampah plastik ke laut. Beranjak ke tahun berikutnya, tepatnya tahun 2019 tercatat

bahwa Indonesia mampu menghasilkan sekitar 105 ribu ton sampah per harinya dengan perkiraan pada tahun 2025 dapat menghasilkan sampah sebesar 150 ribu ton sampah. Hal ini terjadi karena 40% dari 142 juta penduduk perkotaan di Indonesia masih belum memiliki akses ke layanan pengumpulan sampah dasar [2].

Dalam pengelolaan sampah, sistem yang digunakan di Indonesia masih belum optimal. Hal ini dikarenakan dari 514 kabupaten atau kota di Indonesia, rata-rata kapasitas pengelolaan sampah tidak mencapai 50%. Sedangkan, kota-kota besar di Indonesia sudah mencapai 70% sampai dengan 80%. Namun, pola dari pengelolaan sampah masih terpaku pada pola lama yaitu sampah dikumpulkan, diangkut, serta dibuang [3].

Sampah yang sudah dibuang seharusnya dikelola berdasarkan jenis-jenis sampah yang ada, namun pengelolaan sampah di Indonesia biasanya ditimbun pada TPA (Tempat Pembuangan Akhir), dikubur, dijadikan bahan daur ulang, dan dibakar [4]. Berdasarkan kajian yang dilakukan oleh kementerian koordinator bidang perekonomian Republik Indonesia deputi bidang koordinasi percepatan infrastruktur dan pengembangan wilayah asisten deputi telematika dan utilitas, pengelolaan sampah yang sering dilakukan oleh masyarakat Indonesia adalah dengan cara dibakar. Hal ini terjadi dikarenakan kurangnya penyediaan TPS (Tempat Pembuangan Sampah) dan alat pengumpul untuk sampah, jadwal pengumpulan sampah yang tidak rutin sesuai jadwal, serta kurangnya jumlah alat pengumpul sampah yang sesuai dengan kriteria teknis [5].

Proses pembakaran sampah yang berlangsung dapat menghasilkan gas emisi serta residu yang berbentuk abu, selain itu asap yang dihasilkan dari pembakaran sampah dapat meningkatkan polusi udara. Gas emisi hasil pembakaran sampah mengandung berbagai senyawa kimia yang berbahaya bagi lingkungan dan manusia, sedangkan residu yang dihasilkan dapat mengandung senyawa logam berbahaya dan beracun bagi tubuh manusia seperti senyawa merkuri, timbal, dan arsenik [6]. Hal ini juga diperkuat oleh lembaga EFA (*Environmental Facts Agency*) yang menyatakan bahwa sampah yang dibakar dapat melepaskan zat beracun ke udara seperti zat nitrogen oksida, karbon monoksida, serta partikel polusi. Zat-zat tersebut dapat mengakibatkan gangguan pada kesehatan manusia seperti iritasi, gangguan pernapasan, mengganggu sistem peredupsi, menyebabkan

kanker, dan parahnya dapat mengakibatkan kematian [7].

Penelitian terbaru menjelaskan bahwa limbah yang diproses dengan cara dibakar dapat berpengaruh terhadap lingkungan dan kesehatan masyarakat serta dapat berpengaruh dalam jangka panjang. Asap dari pembakaran limbah dapat mengeluarkan gas beracun dan bahan kimia lainnya ke udara termasuk partikel khusus, nitrogen oksida, dan karbon monoksida. Pembakaran limbah dengan material biomassa juga dapat melepaskan racun berat ke udara, tanah, maupun air seperti senyawa organik yang mudah menguap dan bahan kimia aromatik *polisiklik*. Senyawa polutan ini memungkinkan memiliki efek kritis pada manusia terutama pada orang tua, wanita hamil, dan anak-anak. Selain itu, asap yang dihasilkan dari pembakaran sampah dapat menyebabkan sakit kepala, iritasi pada mata, mual dan bahkan kematian yang diakibatkan oleh peningkatan risiko penyakit yang berhubungan dengan sistem pernapasan [8].

Jumlah polusi udara yang diakibatkan dari pembakaran sampah dapat dikurangi dengan berbagai cara, salah satunya adalah dengan mengolah asap hasil pembakaran sebelum dibuang seutuhnya ke lingkungan sekitar. Metode yang umum dilakukan untuk mengurangi polusi dari pembakaran sampah adalah dengan melakukan penyaringan asap dari pembakaran sampah dengan berbagai jenis bahan yang memiliki membran, berserat, serta memiliki pori-pori yang dipasang pada substrat padat [9][10].

Sebelumnya, bahan-bahan kimia seperti *polimida*, *poliakrilonitril*, *polietilen*, polipropilena, dan serat kaca digunakan sebagai bahan filter udara. Namun, bahan-bahan filter tersebut memiliki kendala yaitu kurangnya fungsi aktif, biaya yang lebih tinggi, tidak dapat terurai secara hayati, serta tidak ramah lingkungan. Hal ini menjadikan bahan-bahan tersebut kurang efektif jika digunakan secara terus menerus. Penelitian terus dilakukan untuk memperoleh bahan yang ramah lingkungan sebagai bahan filter udara, salah satu bahan filter udara yang ramah lingkungan adalah dengan menggunakan bahan *biodegradable*. Bahan ini berfungsi sebagai protein *nano*, serat *nano sutra*, dan *aerogel* berbasis polisakarida. Bahan ini dipilih karena mampu menjadi bahan penyaring udara yang baik dengan memiliki struktur jaringan tiga dimensi kontinu yang dibentuk oleh penggantian pelarut cair dalam gel melalui udara tanpa mengubah struktur jaringan badan gel secara

substansial [11][12].

Hal ini telah terbukti dengan penelitian yang melakukan pembuatan sistem *monitoring* untuk tingkat kebersihan udara dengan melakukan pengujian kadar asap beserta zat polutan yang terkandung sebelum dan setelah melakukan penyaringan. Penyaringan yang dilakukan menggunakan filter tipe HEPA (*High Efficiency Particulate Air*). Sistem pendektsian menggunakan sensor MQ-2 dan MQ-135 sebagai pendekksi asap, karbon monoksida, karbon dioksida, dan amonium. Sedangkan, untuk pendektsian PM (*particulate matter*) menggunakan sensor PMSA003. Hasil yang diperoleh untuk penyaringan kadar asap, karbon monoksida, karbon dioksida, dan amonium mengalami pengurangan yang signifikan serta untuk penyaringan PM semua ukuran dari yang sangat kecil (0,3  $\mu\text{m}$ ) hingga yang lebih besar (10  $\mu\text{m}$ ) dapat disaring secara efektif [13].

Penelitian lainnya melakukan pengujian kadar karbon monoksida yang terkandung dalam asap rokok sebelum dan sesudah dilakukan penyaringan asap. Penelitian tersebut menggunakan tiga tahap penyaringan dengan masing-masing tahap menggunakan filter tipe ESP (*Electrostatic Precipitator*), HEPA, dan penyaring karbon aktif. Sebagai pendektsian asap, penelitian ini menggunakan sensor gas MQ-7 sebagai piranti pendekksi zat karbon monoksida pada asap. Hasil yang diperoleh dari penelitian ini adalah terdapat penurunan yang cukup signifikan dengan nilai kadar zat karbon monoksida sebelum melakukan penyaringan melebihi 20 ppm dan kadar zat karbon monoksida setelah melakukan penyaringan adalah 3,1 PPM [14].

Pada penelitian selanjutnya, dilakukan pendektsian asap dari pembakaran dupa dan obat nyamuk bakar serta melakukan perbandingan dari sebelum dan setelah penyaringan asap dilakukan. Sistem pendektsian asap yang dilakukan adalah dengan menggunakan sensor MQ-135 serta pendektsian debu menggunakan sensor debu. Hasil yang diperoleh pada penelitian ini adalah penurunan kadar zat polutan (karbon monoksida, karbon dioksida, dan alkohol) yang terkandung dalam asap yang signifikan serta debu yang dideteksi benar-benar kecil [15].

Berdasarkan permasalahan yang berlaku, untuk mengatasi pencemaran lingkungan yang dihasilkan dari asap hasil pembakaran sampah, diperlukan alat

pembakaran sampah dengan minim asap polusi atau minim zat polusi yang dikeluarkan. Oleh karena itu, penelitian yang dilakukan memfokuskan zat polutan yang terkandung dari asap pembakaran sampah agar asap yang dihasilkan menjadi lebih bersih dan mengurangi zat polutan yang terkandung dari asap pembakaran sampah.

### **1.2. Rumusan Masalah**

Berdasarkan latar belakang yang telah dipaparkan, permasalahan yang sering terjadi pada sebagian besar negara di dunia adalah tingginya volume sampah serta pengolahan sampah yang kurang baik terutama di Indonesia. Sebagian besar masyarakat Indonesia melakukan pengolahan sampah dengan cara dibakar. Cara ini merupakan cara yang paling buruk dalam pengolahan sampah, dikarenakan asap yang dihasilkan dalam pembakaran sampah mengandung zat polutan seperti gas karbon monoksida, *polychlorinated biphenyls*, dan PM. Zat-zat tersebut sangat mempengaruhi lingkungan serta kesehatan masyarakat.

Upaya untuk mengurangi zat polutan yang terkandung dalam asap pembakaran sampah diperlukan teknologi dalam pengolahan asap hasil pembakaran sampah, salah satunya adalah dengan menggunakan penyaring asap. Oleh karena itu, rumusan masalah dalam penelitian ini adalah bagaimana merancang serta membangun sebuah penyaring dan pengukuran asap pembakaran sampah pada mini insinerator yang efektif dalam mengurangi kandungan zat polutan serta dapat mengurangi polusi udara yang dihasilkan dari pembakaran sampah.

### **1.3. Tujuan Penelitian**

Tujuan dari penelitian ini adalah untuk merancang serta membangun penyaring dan pengukuran asap hasil pembakaran sampah pada mini insinerator yang efektif dalam mengurangi kandungan zat polutan serta dapat mengurangi polusi udara yang dihasilkan dari pembakaran sampah. Penelitian ini juga bertujuan untuk menguji efektivitas penyaringan asap dalam menyaring zat polutan yang terkandung dalam asap pembakaran sampah serta mengevaluasi performa alat agar dapat menjadi solusi inovatif dalam mengurangi polusi udara yang dihasilkan

dalam pembakaran sampah.

#### **1.4. Manfaat Penelitian**

Adapun beberapa manfaat dari penelitian yang dilakukan adalah sebagai berikut.

1. Mengurangi penumpukan sampah yang berlebihan.
2. Mengurangi polusi yang dihasilkan dari pembakaran sampah.
3. Penelitian ini diharapkan dapat menjadi solusi dalam pengelolaan sampah yang dilakukan dengan cara dibakar.

#### **1.5. Batasan Masalah**

Batasan masalah dibuat untuk membatasi ruang lingkup penelitian serta membuat penelitian tidak keluar dalam objek penelitian yang diteliti. Adapun batasan masalah dalam penelitian ini sebagai berikut.

1. Mikrokontroler yang digunakan adalah Arduino Mega.
2. Filter yang digunakan adalah filter udara dan filter air. Filter udara menggunakan bahan karbon aktif, serabut kelapa, serta batu zeolit. Sedangkan, pada filter air menggunakan batu zeolit sebagai bahan filter.
3. Sensor kualitas gas karbon monoksida yang digunakan adalah sensor MQ-7.
4. Sensor kualitas gas karbon dioksida yang digunakan adalah sensor MQ-135.
5. Sensor pendekripsi PM sensor GP2Y1010AU0F

#### **1.6. Sistematika Penulisan**

Penulisan skripsi ini dibagi menjadi lima pembahasan yang bertujuan untuk memperjelas pembahasan. Adapun lima pembahasan secara terperinci adalah sebagai berikut.

#### **BAB I PENDAHULUAN**

Bab ini berisi tentang penjelasan mengenai latar belakang masalah, rumusan masalah, tujuan penelitian, manfaat penelitian, batasan masalah, dan sistematika penulisan.

#### **BAB II TINJAUAN PUSTAKA**

Bab ini berisi penjelasan tentang uraian landasan teori dan kajian pustaka.

Landasan teori pada bab ini berisi tentang dasar-dasar teori yang berkaitan dengan penelitian ini seperti pembakaran sampah, filter udara, sensor MQ-135, sensor MQ-7, sensor GP2Y1010AU0F, sensor api KY-026, dan mikrokontroler.

### BAB 3 METODE PENELITIAN

Bab ini berisi tentang penjelasan dari metode-metode dari penelitian yang digunakan serta mekanisme dari penelitian yang dilakukan.

### BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN

Bab ini berisi tentang hasil dari penelitian yang telah dilakukan berupa pembahasan cara kerja alat, pembahasan data dari hasil penelitian.

### BAB V PENUTUP

Bab ini berisi uraian mengenai kesimpulan yang diperoleh dari penelitian serta saran-saran untuk penelitian berikutnya.

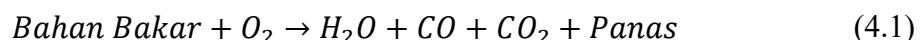
## BAB II

### TINJAUAN PUSTAKA

#### **2.1. Pembakaran Terbuka**

Pembakaran terbuka merupakan sebuah praktik dalam pengelolaan sampah yang paling banyak dilakukan oleh masyarakat dunia, terutama negara-negara berkembang seperti Indonesia. Terdapat beberapa faktor yang menjadi tingginya tingkat pembakaran sampah secara terbuka yaitu banyaknya sampah yang diproduksi di tiap-tiap keluarga, kurangnya pengelolaan sampah yang baik, kesadaran masyarakat akan lingkungan bersih, serta penerapan peraturan yang kurang ketat [16][17].

Pembakaran terbuka mengakibatkan pelepasan zat polusi dari sampah dan GRK (Gas Rumah Kaca). Ini merupakan suatu zat berbahaya 28 kali lebih kuat per kilogramnya dari yang dipancarkan oleh karbon dioksida dalam jangka waktu 100 tahun. Banyaknya pembakaran terbuka, menjadikan kegiatan tersebut menjadi penyumbang terpenting terhadap emisi partikel dan polusi udara dengan total 11% kontribusi terhadap emisi PM<sub>2,5</sub> secara global serta 6% sampai 7% terhadap emisi karbon hitam. Selain itu, pembakaran terbuka juga menghasilkan sekitar 2% sampai 10% emisi karbon dioksida secara global [18]. Zat polutan tersebut biasanya dihasilkan dari pembakaran sampah yang berlangsung secara tidak sempurna. Secara umum, reaksi kimia dari pembakaran tidak sempurna dapat dilihat pada Persamaan (4.1) [19].



Pembakaran limbah secara terbuka juga menghasilkan emisi berupa asap. Asap ini mengandung berbagai senyawa berbahaya akibat bercampurnya bahan-bahan kimia seperti plastik, kayu yang diberi cat atau dipernis, dan lainnya. Asap emisi ini menyebar ke udara dan atmosfer. Hal ini kemudian menyebabkan terjadinya hujan asam. Fenomena hujan asam dapat merugikan manusia dengan merusak ekosistem, tanah, serta bangunan [8].

## 2.2. Filter Udara

Kata filter dapat merujuk dalam berbagai hal. Dalam konteks pemisahan partikel, filter dapat diartikan sebagai suatu alat yang dapat memisahkan suatu partikel . Sedangkan filtrasi merupakan proses yang dilakukan untuk memisahkan partikel. Sedangkan filter udara merupakan sebuah alat yang dapat melakukan proses penyaringan udara buruk menjadi udara bersih. Dalam konteks ini, udara buruk diartikan sebagai udara yang mengandung asap polusi [20][21][22].

Media yang digunakan untuk filter banyak ragam serta macamnya, namun media untuk filter udara yang paling banyak adalah media filter dengan membran dan media dengan sifat adsorben atau sifat menyerap suatu zat. Media membran dikembangkan sebagai embaran semi permeabel yang tipis dan fleksibel yang terbuat dari bahan selulosa yang diregenerasi. Hal ini bertujuan untuk memisahkan spesies pada skala kimia molekuler dan ionik. Sedangkan media adsorben digunakan karena sifatnya yang menghilangkan zat kimia terlarut dan tidak terlarut. Hal ini sangat cocok digunakan untuk menghilangkan bau dan asap dalam berbagai aplikasinya. Adapun contoh media membran adalah serabut kelapa, sedangkan contoh media adsorben adalah batu zeolit dan karbon aktif [20][21].

### 1. Serabut kelapa

Serabut kelapa merupakan bagian dari kelapa yang berperan sebagai lapisan terluar kelapa dengan serat tebal dan membungkus tempurung kelapa. Biasanya serabut kelapa memiliki warna coklat dengan panjang dan diameter yang bervariasi [23][24]. Hampir sebagian dari isi buah kelapa diisi oleh serabut kelapa, yaitu sekitar 35% dari keseluruhan berat buah kelapa [25]. Serabut kelapa kerap kali menjadi limbah yang paling umum ditemukan. Masyarakat biasanya mengolah limbah sabut kelapa menjadi kerajinan tangan, furnitur, dan dekorasi rumah [26]. Selain berguna untuk kerajinan, sabut kelapa juga berguna sebagai bahan penyaring. Hal ini terjadi karena serabut kelapa terbentuk dari bahan lignoselulosa yang sebagian besar terdiri dari selulosa sebesar 40%, lignin sebesar 30%, dan hemiselulosa sebesar 16% [27][28]. Selulosa memiliki kandungan asam karboksilat dan fenolik, kandungan ini merupakan gugus fungsi polar dan memiliki fungsi untuk

menyerap polutan anorganik, sedangkan lignin berfungsi sebagai media penyimpanan utama polutan organik [28].

## 2. Batu zeolit

Batu zeolit merupakan suatu unsur molekuler aluminosilikat dan kation. Unsur ini berbentuk kerangka kristal berpori dengan pori-pori dimensi molekul yang seragam dan banyak digunakan dalam aplikasi industri seperti katalis, adsorpsi, filter molekuler, pemisah membran, dan pertukaran ion [29][30]. Selain menjadi filter air, batu zeolit juga mampu menjadi filter udara. Batu zeolit memiliki mekanisme pintu perangkap. Akses dari setiap pori batu zeolit dapat diatur oleh kation yang bekerja sebagai ion penjaga pintu. Kation memungkinkan membuka akses pada molekul gas dengan polarisasi yang kuat seperti  $\text{CO}_2$ , sehingga  $\text{CO}_2$  akan menempati pori-pori yang kosong pada batu zeolit. Sedangkan molekul gas dengan polarisasi yang lemah tidak bisa memasuki pori-pori batu zeolit. Osilasi termal kation akan semakin kuat ketika suhu mengalami peningkatan. Hal ini menjadikan tingginya peluang suatu molekul masuk dalam pori-pori batu zeolit, sehingga ketika batu zeolit berada di ambang batas suhu, kapasitas adsorpsi molekul gas lemah dapat meningkat secara anomali [30].

## 3. Karbon aktif

Karbon aktif merupakan media adsorben berwarna hitam dengan bentuk granula dan bulat. Karbon aktif memiliki sifat kimia maupun fisika yang mampu menyerap zat organik maupun anorganik, dapat berlaku sebagai penukar kation, serta sebagai katalis untuk berbagai reaksi [31]. Dalam pemasarannya, karbon aktif biasanya dipasarkan dalam dua bentuk yaitu dalam bentuk bubuk dan granula. Bubuk karbon aktif biasanya menunjukkan luas permukaan spesifik yang tinggi dan porositas mikro yang meningkatkan kapasitas adsorpsinya. Namun, dalam jenis bubuk cenderung terjadi pengendapan dan penghilangan yang lebih lambat dari pada granula. Bentuk ini juga tidak dapat diregenerasi karena kesulitan memisahkan dari larutan berair serta berpotensi meningkatkan polusi debu. Berbeda dalam bentuk granula, bentuk ini memiliki regenerasi yang baik. Hal ini dikarenakan kemampuannya yang dapat beradaptasi terhadap kontak terus-menerus tanpa

perlu memisahkan karbon dari cairan. Bentuk granula biasanya menunjukkan kapasitas adsorpsi yang lebih rendah untuk menghilangkan polutan. Hal ini disebabkan adanya efek pengotoran serta berkurangnya perpindahan massa polutan [32].

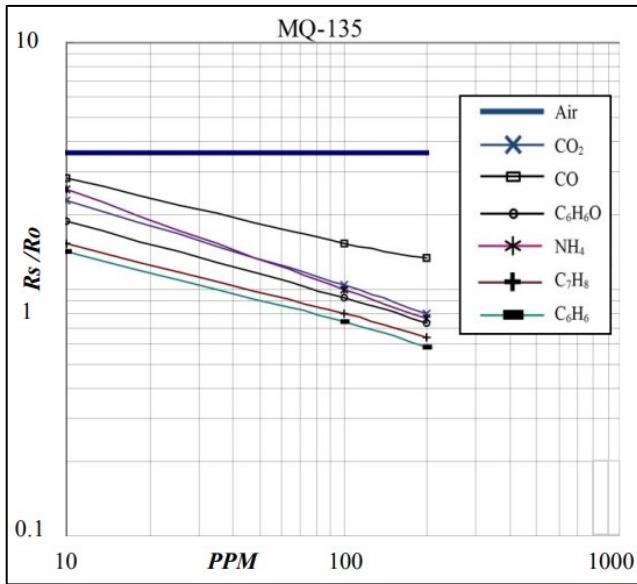
### 2.3. Sensor

Kata sensor berasal dari bahasa latin yaitu “*sentire*” yang memiliki arti melihat. Sensor diartikan sebagai sebuah perangkat yang dapat merespons sebuah rangsangan dengan menghasilkan suatu keluaran yang dapat diproses [33]. Keluaran yang dihasilkan dari sensor biasanya adalah sinyal listrik yang terbentuk dari pengangkutan ion dan elektron. Ion dan elektron memiliki muatan listrik yang digunakan untuk membawa informasi yang terkandung dalam sinyal listrik. Kemudian, sinyal listrik tersebut diproses pada sirkuit elektronik untuk memastikan integritas informasi lalu mengubahnya menjadi bentuk yang memungkinkan diproses, disimpan, dan berkomunikasi dengan komputer. Oleh karena itu, sensor dibuat bertujuan untuk memberikan informasi tentang jumlah fenomena ataupun parameter fisik tertentu dalam bentuk digital [34].

#### 2.3.1. Sensor MQ-135

Sensor MQ-135 merupakan sebuah sensor yang dapat mendeteksi keberadaan gas karbon dioksida ( $\text{CO}_2$ ), nitrogen oksida ( $\text{NO}_x$ ), sulfur dioksida ( $\text{H}_2\text{S}$ ), amonia ( $\text{NH}_3$ ), dan benzena ( $\text{C}_6\text{H}_6$ ) [35][36]. Pada bagian dalam sensor, terdapat timah dioksida ( $\text{SnO}_2$ ) sebagai elemen pengindraan untuk mendeteksi gas tertentu. Ketika sensor mendeteksi gas, hambatan listrik pada sensor mengalami perubahan, kemudian perubahan ini diukur dan dianalisis untuk menentukan suatu konsentrasi suatu gas [37].

Sensor MQ-135 memiliki resistansi yang sangat tinggi. Ketika sensor mendeteksi udara bersih, nilai dari resistansi sensor cenderung tinggi. Nilai resistansi menurun seiring dengan pekatnya konsentrasi gas yang dideteksi. Semakin tinggi tingkat sensitivitas suatu gas yang dideteksi, maka semakin akurat sensor MQ-135 mendeteksi gas tertentu [38]. Adapun tingkat sensitivitas dari sensor MQ-135 untuk berbagai gas dapat dilihat pada Gambar 2.1.



Gambar 2.1 Tingkat Sensitivitas Sensor MQ-135 [39]

Dalam menentukan kadar gas karbon dioksida dengan satuan PPM (*Parts Per Million*), digunakan pendekatan matematis berdasarkan rasio antara resistansi sensor saat mendeteksi gas karbon dioksida dengan resistansi sensor pada saat udara normal [40]. Adapun persamaan yang digunakan dapat dilihat pada Persamaan (4.2).

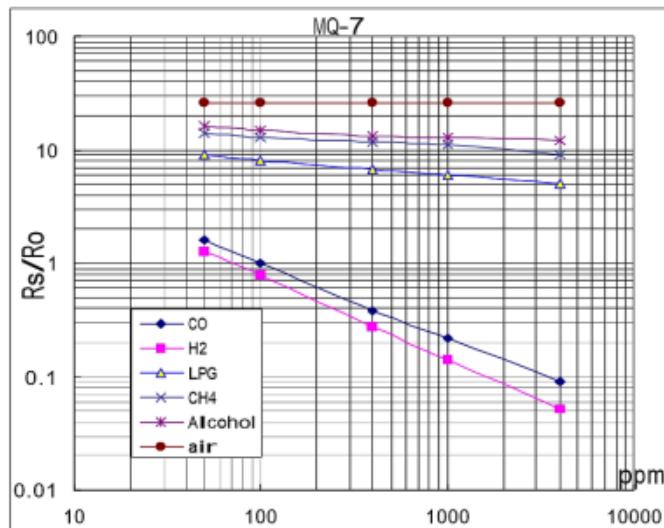
$$PPM_{CO_2} = 10^{m(\log_{10}\left(\frac{R_s}{R_0}\right)-b)} \quad (4.2)$$

Konstanta  $m$  dan  $b$  diperoleh dari proses kalibrasi berdasarkan grafik *datasheet* sensor MQ-135 untuk mendeteksi gas karbon dioksida. Nilai  $R_s$  diperoleh selama pendeksan gas secara *real-time*, sedangkan nilai  $R_0$  diperoleh dari proses kalibrasi sensor saat mendeteksi udara normal pertama kali [40].

### 2.3.2. Sensor MQ-7

Sensor MQ-7 terdiri dari tabung keramik mikro aluminium oksida ( $AL_2O_3$ ), lapisan sensitif timah dioksida ( $SnO_2$ ), elektrode pengukur, dan koil pemanas nikel kromium (NiCr) [41]. Sensor ini bekerja dengan dua sumber tegangan, yaitu tegangan untuk pemanasan dan tegangan untuk rangkaian dengan masing-masing membutuhkan tegangan 5 volt DC. Tegangan pada pemanas digunakan untuk

memanaskan pemanas, sedangkan tegangan sirkuit digunakan untuk mengukur tegangan keluaran sensor [42].



Gambar 2.2 Tingkat Sensitivitas Sensor MQ-7 [43]

Gambar 2.2 merupakan gambar tingkat sensitivitas dari sensor MQ-7. Sensor ini memiliki tingkat sensitivitas yang sangat tinggi terhadap gas karbon monoksida. Hal ini dapat dilihat pada grafik yang ditunjukkan pada Gambar 2.2. Sensor MQ-7 dapat merespons sekitar 1 detik sampai 2 detik [43]. Sensor ini dapat mendeteksi kadar gas karbon monoksida dari rentang 20 hingga 2000 dengan satuan PPM [43][44].

Dalam pendekslian gas karbon monoksida dengan satuan PPM, digunakan persamaan berdasarkan perbandingan resistansi sensor saat mendekksi udara normal dengan resistansi sensor saat mendekksi gas karbon monoksida [45]. Adapun persamaan yang digunakan dapat dilihat pada Persamaan (4.3).

$$PPM_{CO} = a \times \left( \frac{R_s}{R_0} \right)^b \quad (4.3)$$

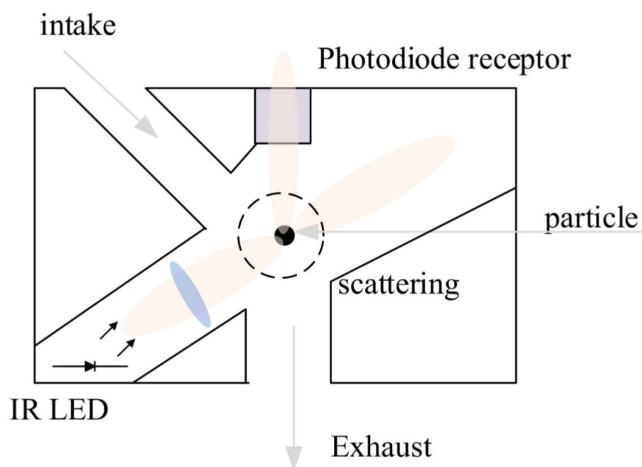
Konstanta  $a$  dan  $b$  adalah konstanta yang dihasilkan dari kalibrasi sensor yang mendekksi gas karbon monoksida berdasarkan *datasheet*.

### 2.3.3. Sensor GP2Y1010AU0F

Sensor GP2Y1010AU0F merupakan sensor debu optik yang sangat efektif dalam pendekslan partikulat udara yang sangat halus [46][47]. Secara sederhana, sensor ini menggunakan dua diode yaitu LED IR dan fototransistor. Fungsi dari kedua diode ini adalah sebagai pendekslan debu dari satu pulsa, sehingga dapat bekerja pada frekuensi yang jauh lebih tinggi mencapai 100Hz [47].

Sensor ini juga menggunakan rangkaian penguat yang dilengkapi dengan filter berjenis *band pass filter*. Filter jenis ini menyaring perubahan intensitas cahaya pada skala yang lebih lambat dari 1 ms. Hal ini bertujuan untuk menghindari sensitivitas terhadap variasi cahaya sekitar [48].

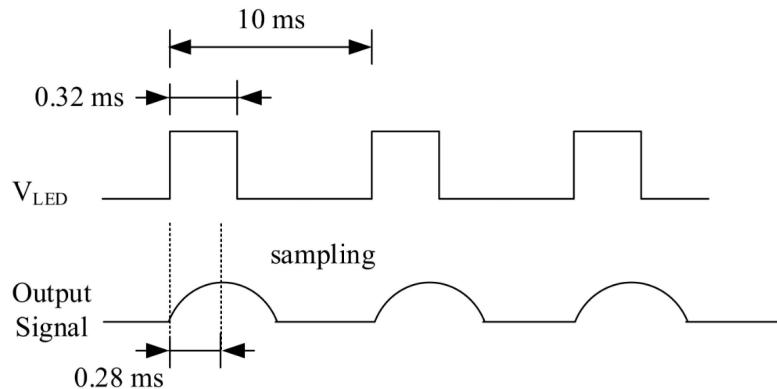
Sensor GP2Y1010AU0F menggunakan hamburan cahaya sebagai operasinya. Cahaya inframerah (IR) dipancarkan ke ruangan pengukuran. Ketika debu terdeteksi, cahaya dibiasakan oleh partikel dan jumlah cahaya yang tersebar terdeteksi oleh diode fototransistor [49]. Adapun ilustrasi dari sistem kerja sensor GP2Y1010AU0F dapat dilihat pada Gambar 2.3.



Gambar 2.3 Sistem Kerja Sensor GP2Y1010AU0F [49]

Cahaya IR dibangkitkan dengan sinyal pulsa agar dapat membaca sinyal keluaran dari sensor. Sinyal pulsa yang dibutuhkan untuk memancarkan cahaya IR sebesar 100Hz. Setiap sinyal pulsa memiliki sepasang tinggi dan rendah dengan sinyal tertinggi sebesar 0,32 ms dan sinyal terendah sebesar 9,68 ms. Sensor ini mampu menghasilkan sinyal keluaran tertinggi 0,28 ms setelah dimulainya sinyal

tinggi dan mengubah sinyal keluaran menjadi tegangan dan konsentrasi partikel melalui nilai ADC [49]. Adapun ilustrasi sinyal pulsa yang dibangkitkan dapat dilihat pada Gambar 2.4.



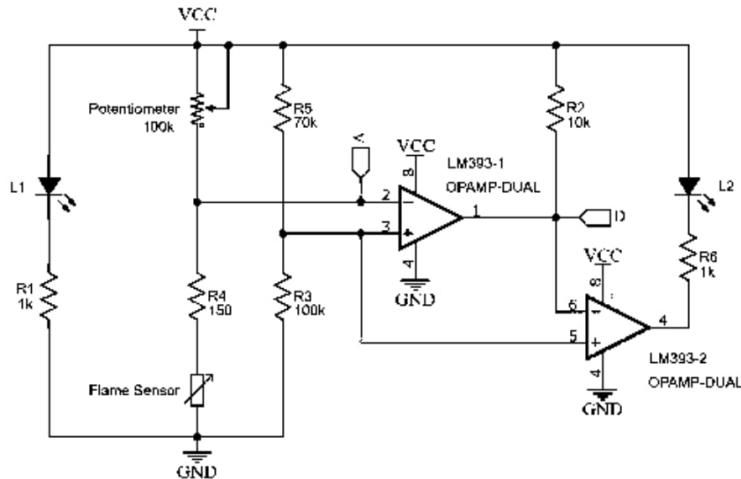
Gambar 2.4 Sinyal Pulsa Cahaya IR [49]

Dalam pendektsian PM2.5, digunakan pendekatan yang menghubungkan tegangan keluaran sensor dengan kepadatan partikel di udara. Tegangan yang dihasilkan dari pendektsian partikel di udara tersebut kemudian dikonversikan menjadi nilai partikel dengan menggunakan persamaan (4.4) [50].

$$PM2.5(\mu g/m^3) = (0,17(V_0) - 0,1) \times 1000 \quad (4.4)$$

### 2.3.4. Sensor Api KY-026

Sensor api KY-026 merupakan sensor yang dapat mendekksi api dengan mendekksi cahaya inframerah yang dihasilkan dari api. Sensor ini secara fisik mengukur luas area serta mengirimkan sinyal ke pengondisi sinyal. Sinyal analog kemudian dikirimkan ke *amplifier* yang bertujuan untuk menguatkan sinyal sesuai dengan nilai resistansi pada potensiometer. Sinyal yang telah diperkuat kemudian dikirimkan ke komparator. Sensor ini menggunakan modul LM393 sebagai IC *amplifier* [51][52]. Adapun rangkaian pengondisi sinyal pada sensor ini dapat dilihat pada Gambar 2.5.



Gambar 2.5 Rangkaian Pengondisi Sinyal pada Sensor KY-026 [51]

Sensor KY-026 bekerja dengan tegangan 3,3 V sampai dengan 5,5 V dan dapat mendekksi panjang gelombang inframerah mulai dari 760 nm sampai dengan 1100 nm dengan sudut  $60^\circ$ . Sensor ini juga dapat diatur tingkat sensitivitasnya melalui potensiometer [52].

#### 2.4. Mikrokontroler

Mikrokontroler merupakan suatu komputer kecil yang biasa disebut sebagai *special purpose computers* yang berada di dalam satu IC (*Integrated Circuit*) yang berisi CPU (*Central Processing Unit*), memori, *timer*, saluran komunikasi serial dan pararel, *port input/output*, serta ADC (*Analog To Digital Converter*). Mikrokontroler banyak digunakan untuk berbagai aplikasi seperti digunakan untuk pengendalian, akuisisi data, telekomunikasi, otomasi industri, dan masih banyak yang lainnya [53].

Berdasarkan arsitektur pembuatannya, mikrokontroler tersusun atas dua arsitektur yaitu, CISC (*Complex Instruction Set Computer*) dan RISC (*Reduce Instruction Set Computer*). CISC merupakan jenis mikrokontroler dengan jumlah instruksi yang kompleks, sedangkan RISC merupakan jenis mikrokontroler dengan instruksi yang terbatas namun memiliki banyak register dibandingkan CISC. Instruksi pada RISC sebagian besar memiliki instruksi dasar, sehingga ketika membuat program *assembly* pada mikrokontroler ini jauh lebih kompleks daripada mikrokontroler CISC. Instruksi dasar yang dijalankan mikrokontroler RISC hanya

memerlukan satu siklus kerja mesin, sehingga untuk merealisasikan instruksi dasar RISC tidak memerlukan gerbang logika yang banyak. Oleh karena itu, dimensi dan konsumsi daya pada RISC lebih kecil dibandingkan dengan CISC [53].

Salah satu mikrokontroler RISC yang paling banyak digunakan adalah mikrokontroler *Advanced versatile* RSIC atau AVR (*Alf and Vegards Risc processor*) 8 bit dengan arsitektur Harvard. AVR memiliki kecepatan eksekusi program yang lebih cepat daripada mikrokontroler lainnya. Selain itu, AVR memiliki fitur yang cukup lengkap sehingga program yang dijalankan akan lebih banyak [53].

Mikrokontroler AVR memiliki beberapa jenisnya seperti, TinyAVR, AT90S, ATmega, Xmega, dan AVR32 [40].

1. Mikrokontroler ATTiny (TinyAVR) merupakan mikrokontroler dengan 8 bit. Mikrokontroler ini merupakan mikrokontroler AVR dengan dimensi yang kecil dan memiliki *peripheral* yang terbatas.
2. Mikrokontroler AT90S merupakan mikrokontroler 8 bit klasik dari AVR.
3. Mikrokontroler ATmega merupakan mikokontroler 8 bit yang memiliki *peripheral* yang lebih banyak dibandingkan dengan ATTiny.
4. Mikrokontroler Xmega merupakan mikrokontroler 8 sampai dengan 16 bit yang memiliki *peripheral* versi baru dan canggih. Mikrokontroler ini memiliki sistem *monitoring event* dan DMA (*Direct Memory Acces*) yang ditingkatkan.
5. Mikrokontroler AVR32 merupakan mikrokontroler 32 bit yang pertama kali dibuat oleh Atmel pada tahun 2006. Mikrokontroler ini menggunakan arsitektur RISC 32 bit yang ditunjukkan untuk bersaing dengan mikrokontroler berbasis prosesor ARM mikrokontoler. AVR32 tidak memiliki EEPROM (*Electrically Erasable Programmable Read-Only Memory*) internal, namun mikrokontroler ini dapat menggunakan kartu SD (*Secure Digital*) sebagai penggantinya.

## 2.5. Kajian Pustaka

Kesehatan lingkungan merupakan suatu kunci untuk menciptakan kehidupan yang sehat. Isu terhadap kesehatan lingkungan mulai banyak dibicarakan

mengingat tingginya tingkat polusi di dunia terutama negara-negara dengan tingkat konsumsi yang tinggi. Tingginya tingkat polusi dapat dipengaruhi oleh beberapa faktor seperti emisi kendaraan bermotor, asap rokok, serta emisi dari pembakaran limbah secara terbuka.

Sebagai suatu solusi dalam menghadapi isu lingkungan tersebut, banyak dari peneliti-peneliti melakukan penelitian untuk menjawab isu lingkungan tersebut dengan membuat alat pemantauan kualitas udara. Penelitian tentang *development of an iot-enabled air pollution monitoring and air purifier system*, berbagai objek diteliti seperti asap pembakaran, asap pembakaran dupa, serta udara normal untuk mendeteksi zat karbon dioksida, karbon monoksida, serta PM. Pendekslsian zat-zat tersebut dilakukan dengan menggunakan sensor partikulat PMSA003, sensor gas MQ-2 dan MQ-135 serta menggunakan sistem penyaringan udara yang menggunakan *filter* HEPA dan karbon aktif dalam penyaringan asap. Hasil yang diperoleh pada penelitian ini yaitu terjadinya pengurangan zat polutan serta *filter* yang dirancang secara efektif dapat menyaring partikel di atas  $0,3 \mu\text{m}$ . Namun, pada penelitian ini terdapat kelemahan pada sistemnya yaitu sistem penyaringan yang hanya terjadi satu kali, hal ini memungkinkannya beberapa zat polutan lolos dari penyaringan sehingga terdapat beberapa zat polutan setelah penyaringan tidak berkurang secara signifikan [13].

Penelitian tentang alat pendekslsian, penghisap dan penyaring asap rokok, menjadikan asap rokok sebagai objek penelitiannya yang mana asap rokok ini mengandung zat karbon monoksida. Penelitian ini menggunakan sensor MQ-7 sebagai pendekslsian zat karbon dioksida dengan menggunakan filter HEPA, filter ESP, dan karbon aktif dalam penyaringan asap. Hasil yang diperoleh pada penelitian ini yaitu kadar karbon monoksida yang terdeteksi berkurang dari  $\geq 20$  PPM menjadi sekitar 3,1 PPM dalam waktu kurang dari satu menit. Namun pada penelitian ini memiliki kekurangan, yaitu keterbatasan sensor yang hanya mendekslsii gas karbon monoksida serta sistem penyaringan yang dirancang untuk menyaring karbon monoksida, sedangkan asap rokok memiliki zat membahayakan lainnya [14].

Penelitian tentang *arduino based air monitoring and filtration system*, menjadikan udara normal dan asap dupa sebagai objek yang diteliti dengan

menggunakan sistem seperti *air purifier*. Penelitian ini menggunakan sensor MQ-135 sebagai sensor kualitas air serta menggunakan sistem penyaringan filter HEPA, filter ESP, dan karbon aktif serta sinar UV (ultraviolet) dalam penyaringan asap. Hasil yang diperoleh pada penelitian ini yaitu adanya pengurangan zat polutan setelah melalui proses penyaringan, namun pengurangan yang terjadi tidak terlalu tinggi. Hal lain yang menjadi kekurangan pada penelitian ini adalah tidak adanya data dalam pengujian efektivitas sinar UV yang digunakan dalam proses penyaringan [15].

Penelitian tentang *cigarette smoke detection and cleaner based on internet of things (IoT) using arduino microcontroller and mq-2 sensor*, menjadikan asap rokok sebagai objek penelitiannya serta MQ-2 digunakan sebagai pendektsian terhadap asap rokok. Hasil pada penelitian ini adalah sistem yang mendeteksi asap rokok dengan nilai 300 menandakan suatu ruangan terdapat asap rokok, sehingga kipas DC menyala untuk membuang asap rokok sampai sistem membaca asap rokok di bawah 300. Kekurangan dari penelitian ini yaitu tidak adanya sistem penyaringan asap dan asap langsung dibuang ke udara bebas, sehingga zat polutan yang terkandung pada asap rokok dapat membahayakan lingkungan sekitar [54].

Penelitian tentang *indoor air monitoring and filtration using arduino-based plasma technology*, menjadikan asap rokok sebagai objek penelitian dengan membersihkan asap tersebut menggunakan plasma listrik. Penelitian ini menggunakan sensor MQ-7 dan MQ-135 sebagai pendektsian zat karbon monoksida dan karbon dioksida. Hasil pada penelitian ini yaitu terdapat pengurangan zat polutan setelah mengalami pembersihan udara melalui metode plasma. Namun kelemahan pada penelitian ini adalah hanya menampilkan indikator ruangan kotor dan bersih setelah mengalami pembersihan udara dan tidak adanya data yang menampilkan pengurangan kadar zat polutan, selain itu metode plasma menjadi satu-satunya metode yang dipakai pada penyaringan udara dan menetralisasi gas di udara [55].

Berdasarkan hasil dari penelitian-penelitian terdahulu, penelitian ini menggunakan asap pembakaran sampah sebagai objek yang diteliti dengan tiga kali proses penyaringan. *Filter* yang digunakan pada proses penyaringan adalah *filter* udara pada penyaringan pertama dan kedua serta *filter* air pada penyaringan ketiga.

Pada setiap proses penyaringannya diberikan pengukuran untuk memantau kadar zat polutannya. Selain itu, penelitian ini menggunakan sensor MQ-7 sebagai pendektsian karbon monoksida, sensor MQ-135 sebagai pendektsian karbon dioksida, sensor debu GP2Y1010AU0F sebagai pendektsian PM.

## **BAB III**

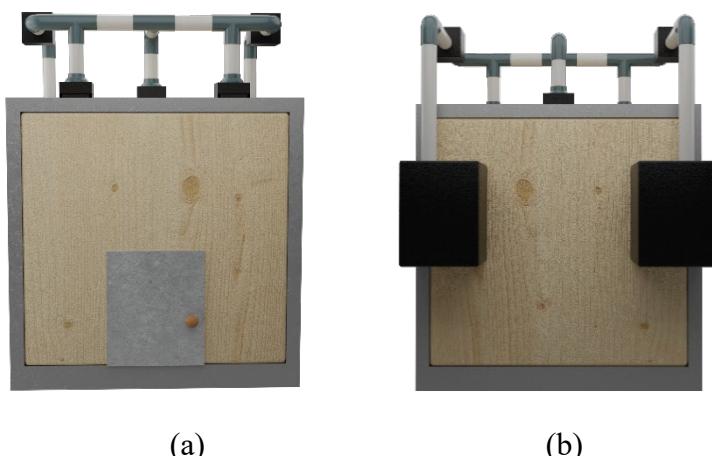
### **METODOLOGI PENELITIAN**

#### **3.1. Metodologi Penelitian**

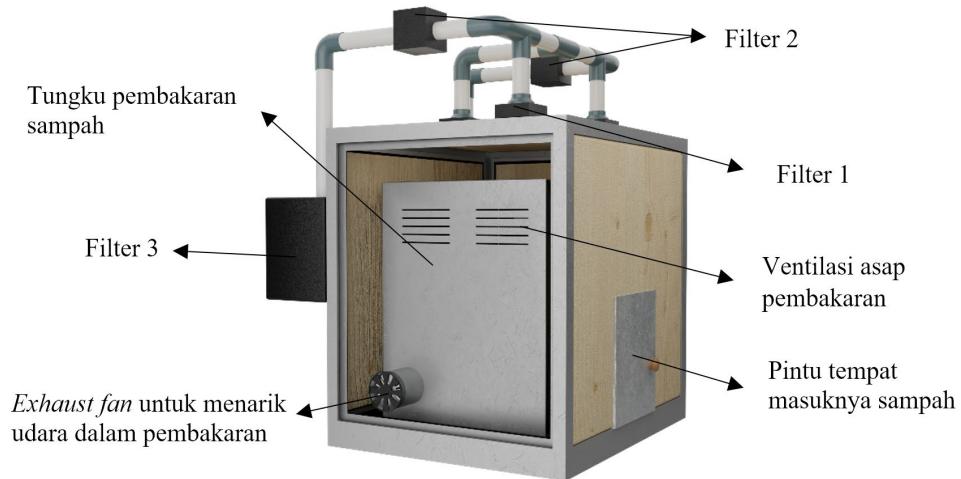
Penelitian ini melakukan penyaringan dan pengukuran zat polutan sebanyak tiga kali, yaitu pada saat proses penyaringan pertama, penyaringan kedua, dan penyaringan ketiga. Ketiga penyaringan ini menggunakan filter yang berbeda, penyaringan pertama dan kedua menggunakan filter udara yang tersusun oleh batu zeolit, karbon aktif, dan serabut kelapa. Pada penyaringan ketiga, filter yang digunakan adalah filter air dengan batu zeolit sebagai media filternya. Data hasil zat polutan yang berhasil melalui penyaringan kemudian dideteksi oleh sensor MQ-7, sensor MQ-135, dan sensor debu GP2Y1010AU0F dengan data yang disimpan pada kartu SD.

##### **3.1.1. Rancangan Alat**

Alat pada penelitian ini memiliki bentuk kubus dengan panjang 50 cm, lebar 60 cm, dan tinggi 60 cm. Material yang digunakan adalah pelat besi untuk kerangka alat dan tripleks sebagai bagian luarnya. Adapun desain dari rancangan alat pada penelitian ini dapat dilihat pada Gambar 3.1.



Gambar 3.1 Rancangan Alat: (a) Tampak depan; (b) Tampak belakang



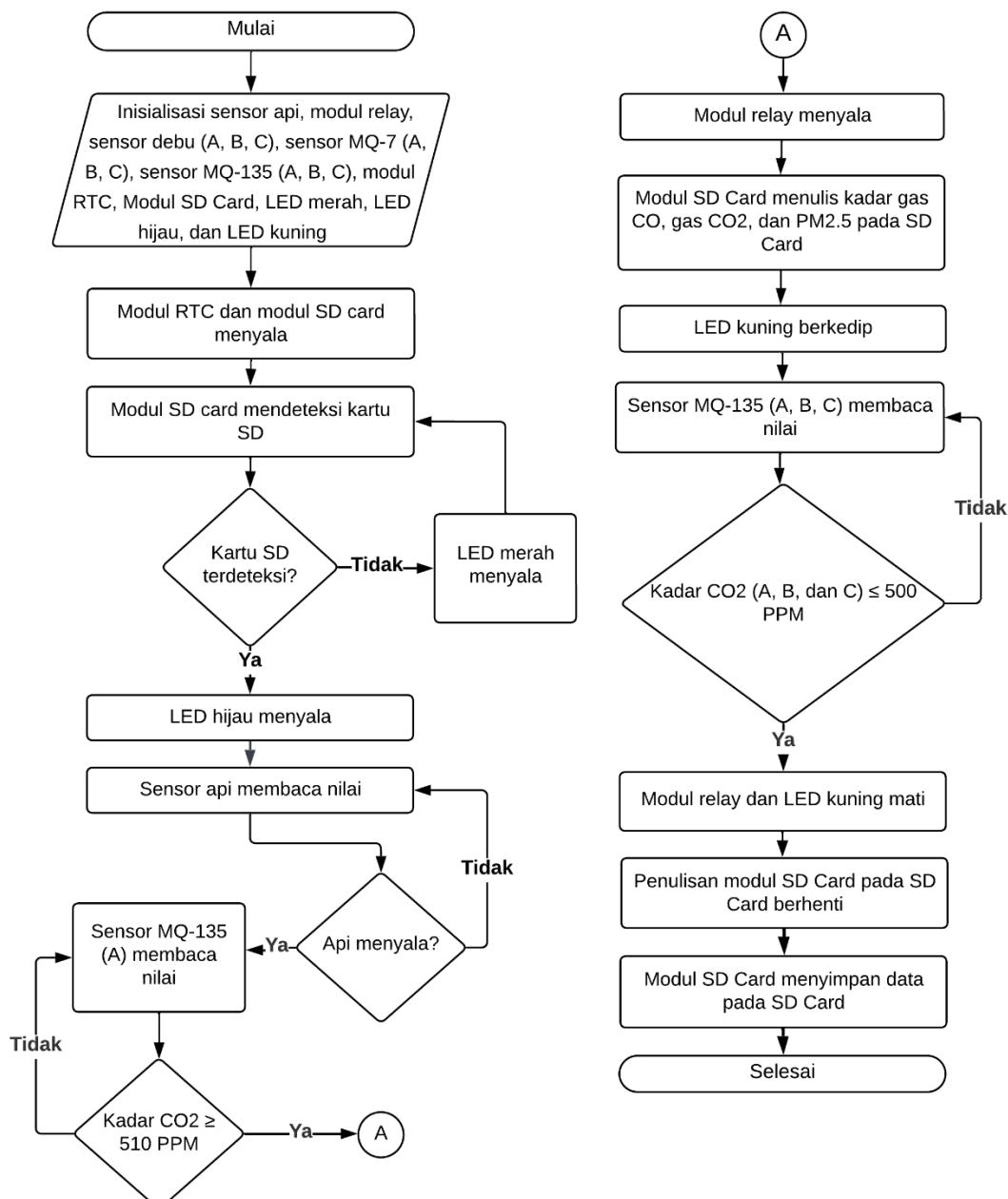
Gambar 3.2 Bagian-Bagian Alat

Pada Gambar 3.2 menunjukkan bagian-bagian utama dari alat prototipe mini insinerator yang dirancang untuk proses pembakaran dan penyaringan asap. Proses pembakaran dimulai dari sampah yang dimasukkan pada tungku pembakaran, kemudian sampah dibakar dengan cara disulut oleh api secara manual. Ketika pembakaran terjadi, *exhaust fan* menyala untuk menarik oksigen yang berada di udara agar proses pembakaran dapat berlangsung. Pada saat proses pembakaran terjadi, asap kemudian dihasilkan. Asap yang dihasilkan ini kemudian keluar dari tungku pembakaran melalui ventilasi. Asap yang keluar dari tungku pembakaran kemudian masuk ke dalam filter 1. Pada filter 1 terdapat sensor gas MQ-7, sensor gas MQ-135, dan sensor debu GP2Y1010AU0F yang digunakan sebagai pendektsian dan pengukuran zat polutan pada filter 1.

Setelah melalui filter 1, asap masuk kembali ke dalam filter 2. Pada filter 2 komponen yang digunakan masih sama seperti pada filter 1 yaitu sensor gas MQ-7, sensor gas MQ-135, dan sensor debu GP2Y1010AU0F. Komponen ini masih memiliki fungsi yang sama yaitu sebagai pendektsian serta pengukuran zat polutan pada proses filter 2. Selanjutnya asap yang keluar dari filter 2 masuk ke dalam filter 3 sebagai proses terakhir. Pada filter 3 terdapat sensor gas MQ-7, sensor gas MQ-135, dan sensor debu GP2Y1010AU0F yang digunakan sebagai pendektsian dan pengukuran zat polutan. Terdapat pompa air DC juga pada filter 3 yang digunakan untuk melarutkan zat polutan yang masih tersisa. Zat polutan yang terlarut dalam air kemudian disaring dengan media filter batu zeolit.

### **3.1.2. Diagram Alir Alat**

Penelitian ini menggunakan sensor MQ-7, sensor MQ-135, dan sensor debu GP2Y1010AU0F sebagai pendektsian zat polutan dengan masing-masing komponen diberikan tiga titik pengukuran zat polutan. Adapun cara kerja alat dapat dilihat pada Gambar 3.3.



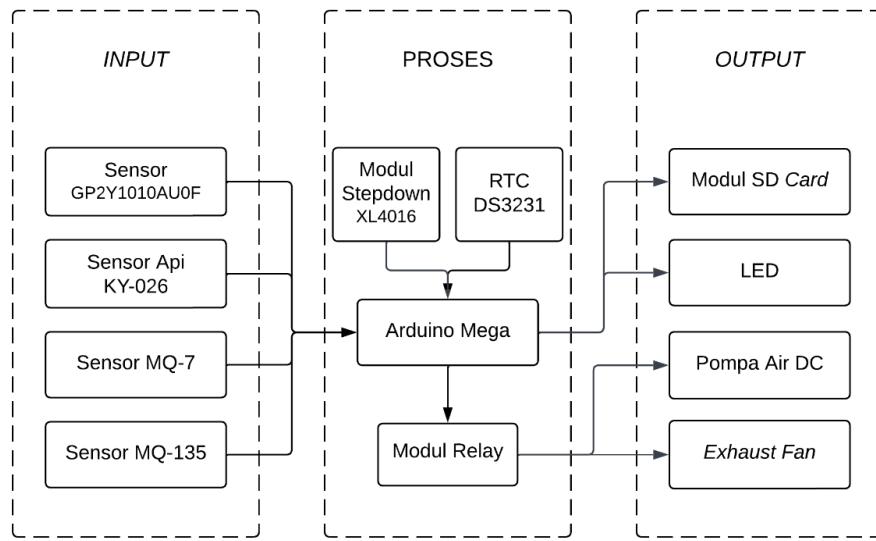
Gambar 3.3 Diagram Alir Alat

Proses penyaringan asap pembakaran sampah dapat bekerja dengan dua kondisi, yaitu ketika sensor api mendeteksi adanya api pada saat pembakaran sampah berlangsung serta ketika pembakaran berlangsung namun sensor api tidak mendeteksi api. Keadaan ini dapat terjadi ketika api pada tungku pembakaran sangat kecil, sehingga kondisi kedua agar proses penyaringan asap pembakaran sampah terjadi dapat terpenuhi ketika gas karbon dioksida mencapai 510 PPM atau lebih. Ketika salah satu dari dua kondisi tersebut terpenuhi, modul relay menyala dan mengalirkan tegangan menuju *exhaust fan* dan pompa air DC, sehingga proses penyaringan asap bekerja.

Pada tahap akhir penyaringan, kadar gas karbon monoksida, gas karbon dioksida, dan kadar PM2.5 mengalami penurunan kadar. Oleh karena itu, sistem penyaringan diatur ketika gas karbon dioksida yang terdeteksi oleh sensor MQ-135 A, B, dan C kurang dari sama dengan 500 PPM, sistem penyaringan asap pembakaran sampah berhenti. Berhentinya sistem ini ditandai dengan modul relay yang mati dan proses pencatatan oleh modul *SD Card* berhenti. Proses pencatatan oleh modul *SD Card* berhenti melakukan pencatatan ditandai dengan LED indikator berwarna kuning yang mati. Kemudian pencatatan yang telah berlangsung sebelumnya tersimpan pada *SD Card*.

### 3.1.3. Diagram Blok Alat

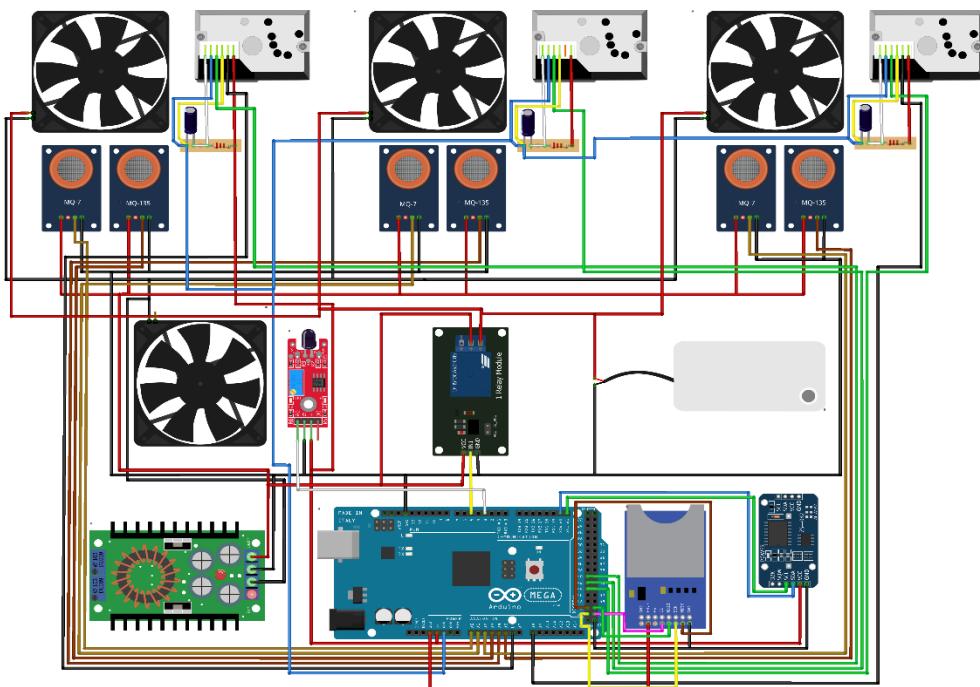
Pada penelitian ini, terdapat empat komponen *input*, empat komponen proses, dan empat komponen *output*. Komponen *input* yang digunakan meliputi sensor debu GP2Y1010AU0F, sensor api KY-026, sensor karbon monoksida MQ-7, dan sensor karbon dioksida MQ-135 dengan komponen proses menggunakan Arduino Mega dengan RTC D3231 sebagai pencatatan waktu, modul relay, dan modul *stepdown*. Pada komponen *output* yang digunakan meliputi pompa air, *exhaust fan*, modul kartu SD, dan LED. Arduino Mega memproses data yang diberikan oleh komponen *input* berdasarkan program-program yang ditentukan, sedangkan komponen *output* bekerja berdasarkan respons dari komponen *input*. Adapun diagram blok dari alat pada penelitian ini dapat dilihat pada Gambar 3.4.



Gambar 3.4 Diagram Blok Alat

### 3.1.4. Diagram Schematic

Pada penelitian ini, sumber daya yang digunakan pada alat bersumber dari adaptor 9V 5A. Sumber daya ini menyuplai langsung pada Arduino Mega, komponen sensor MQ-135, sensor MQ-7, *exhaust fan*, serta modul relay. Adapun diagram *schematic* dari alat pada penelitian ini dapat dilihat pada Gambar 3.5.



Gambar 3.5 Diagram Schematic

Sumber daya dari adaptor 9V 5A memiliki tegangan yang berlebihan untuk disuplai langsung ke komponen, sehingga pada pengaplikasiannya tegangan diturunkan menjadi 5V dengan menggunakan modul *stepdown* XL4016. Pada sensor GP2Y1010AU0F diperlukan resistor sebesar  $150\Omega$  dan kapasitor  $220\mu F$  agar sensor dapat bekerja. Resistor dan kapasitor ini digunakan sebagai pembentuk sinyal pulsa pada sensor.

### **3.2. Komponen Penelitian**

Terdapat dua jenis komponen penelitian yang digunakan pada penelitian ini, yaitu perangkat keras (*hardware*) dan perangkat lunak (*software*). Adapun masing-masing jenis komponen yang digunakan adalah sebagai berikut.

#### 1. Hardware

Adapun perangkat keras yang digunakan pada penelitian ini adalah sebagai berikut.

- 1) Arduino Mega
- 2) Sensor api KY-026
- 3) Sensor gas MQ-135
- 4) Sensor gas MQ-7
- 5) Sensor debu GP2Y1010AU0F
- 6) Modul kartu SD
- 7) Modul RTC DS3231
- 8) LED merah
- 9) LED hijau
- 10) LED kuning
- 11) *Exhaust fan*

#### 2. Software

Adapun perangkat lunak yang digunakan pada penelitian ini adalah sebagai berikut.

- 1) Arduino IDE
- 2) Fritzing
- 3) Blender 3D
- 4) Autodesk Inventor

## **BAB IV**

### **HASIL DAN PEMBAHASAN**

#### **4.1. Hasil Perancangan Alat**

Hasil perancangan alat meliputi dua bagian, yaitu hasil perancangan kerangka alat dan hasil perancangan filter. Hasil perancangan kerangka alat berisi uraian mengenai bagian-bagian dari kerangka alat yang berhasil dibuat. Sedangkan, hasil perancangan filter berisi uraian mengenai proses pembuatan filter yang berhasil dibuat.

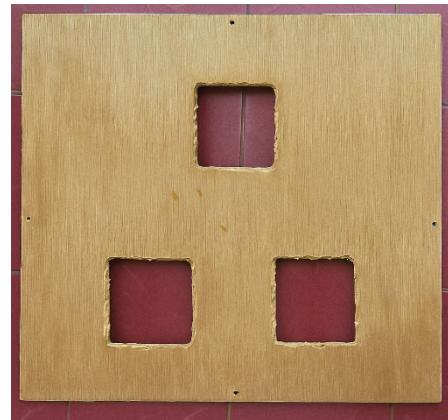
##### **4.1.1. Hasil Perancangan Kerangka Alat**

Mini insinerator dibuat dengan dua bagian yaitu tungku pembakaran sampah dan kerangka alat. Tungku pembakaran sampah dibuat dengan berbahan dasar pelat besi dengan ukuran panjang 45 cm, lebar 35 cm, dan tinggi 44 cm. Kemudian pada kerangka alat dibuat dengan kombinasi pelat besi dan papan tripleks. Penggunaan papan tripleks pada kerangka bertujuan sebagai peredam panas pada saat pembakaran berlangsung. Tungku pembakaran sampah kemudian digabungkan dengan kerangka alat, sehingga hasil dari perancangan alat dapat dilihat pada Gambar 4.1.



Gambar 4.1 Hasil Perancangan Alat: (a) Tungku pembakaran sampah; (b) Penggabungan tungku pembakaran sampah dengan kerangka alat.

Mini insinerator yang telah menjadi satu ini memiliki ukuran panjang 60 cm, lebar 50 cm. serta tinggi 60 cm. Pada bagian atas kerangka alat, papan tripleks dilubangi dengan ukuran panjang dan lebar 8 cm sebanyak 3 lubang seperti pada Gambar 4.2. Lubang ini digunakan sebagai tempat filter pertama.



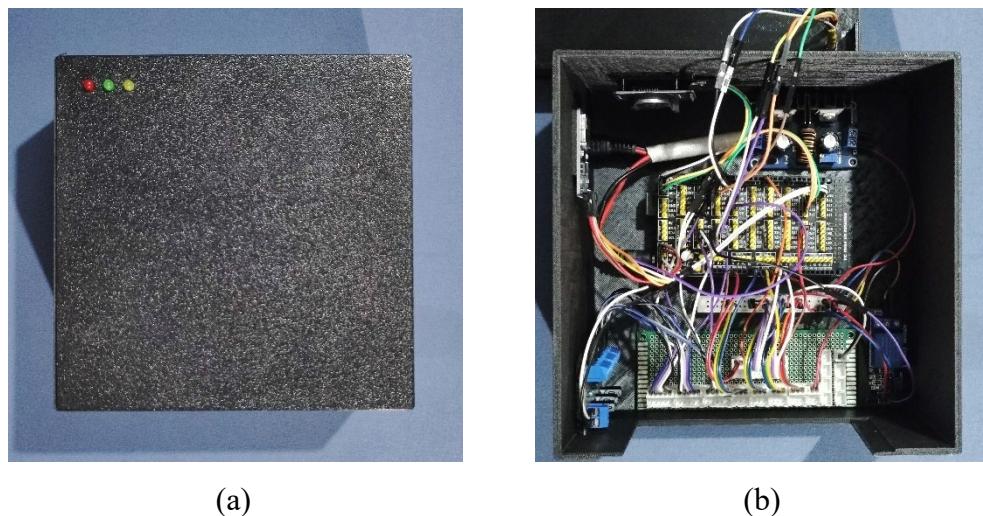
Gambar 4.2 Lubang Pada Bagian Atas Kerangka

Agar asap mengalir dari filter pertama sampai dengan filter ketiga, pipa PVC (*Polyvinyl Chloride*) digunakan sebagai jalur asap dari pembakaran sampah. Selain dipergunakan sebagai jalur asap, pipa ini juga digunakan sebagai jalur dari kabel-kabel komponen sensor dan *exhaust fan*. Jalur ini disambungkan dengan sambungan pipa. Setiap sambungan pipa, dipergunakan lem agar tidak ada asap yang bocor dari sambungan pipa. Adapun hasil pemasangan pipa pada kerangka alat dan filter dapat dilihat pada Gambar 4.3.



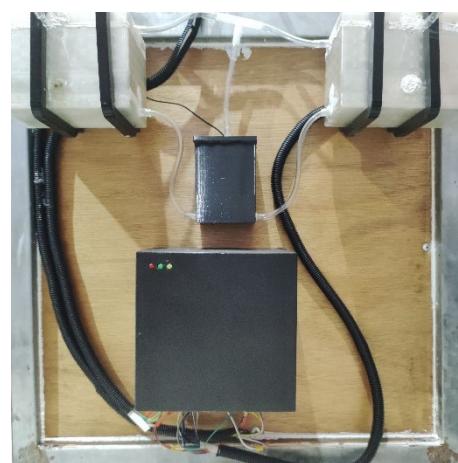
Gambar 4.3 Pipa yang Sudah Terpasang Pada Kerangka Alat

Kemudian pada bagian akhir, terdapat kotak sistem. Kotak sistem ini berisi Arduino Mega dan komponen lainnya yang bekerja bersama Arduino Mega. Semua komponen yang berada di dalam alat kemudian disambungkan pada kotak sistem tersebut. Sistem ini diletakkan dalam suatu kotak agar keamanannya terjaga dan terlihat rapi. Adapun isi dari kotak tersebut dapat dilihat pada Gambar 4.4.



Gambar 4.4 Kotak Sistem Alat: (a) Keadaan tertutup; (b) Keadaan Terbuka

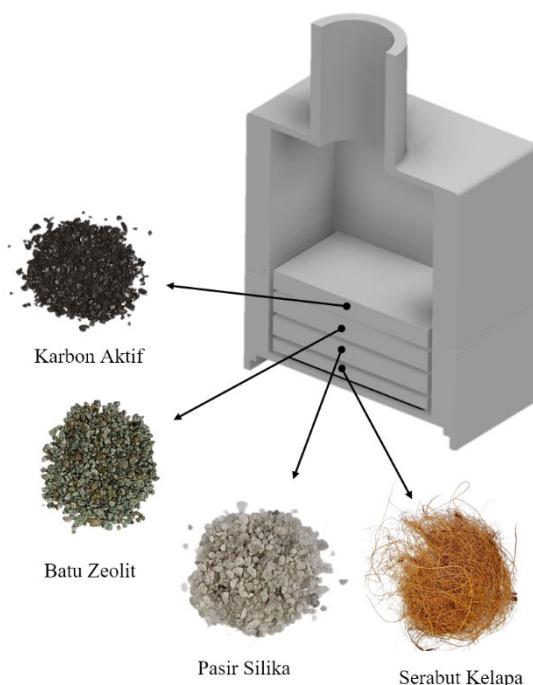
Kotak sistem kemudian diletakkan pada bagian belakang alat. Penempatan ini dipilih agar memudahkan jalur pemberian daya listrik pada sistem sekaligus mempersingkat jalur kabel sensor dan komponen lain yang berada di dalam alat. Adapun letak penempatan kotak sistem dapat dilihat pada Gambar 4.5



Gambar 4.5 Penempatan Kotak Sistem

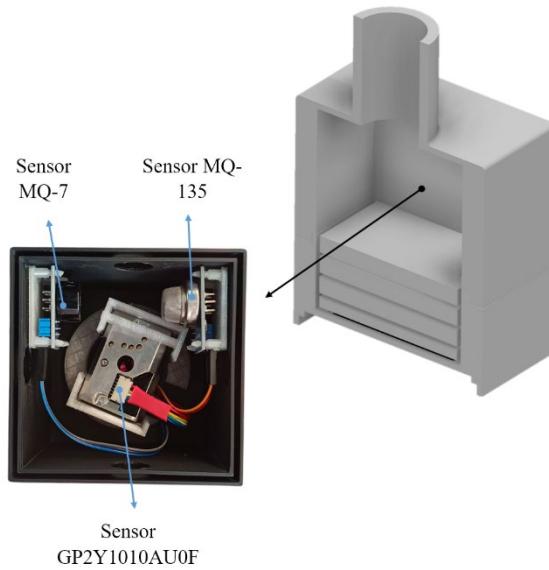
#### 4.1.2. Hasil Perancangan Filter

Media filter yang digunakan berupa serabut kelapa, pasir silika, batu zeolit, dan arang aktif. Pada filter pertama dan filter kedua, media filter yang digunakan adalah sama yaitu serabut kelapa, pasir silika, batu zeolit, dan arang aktif. Pasir silika, batu zeolit, dan arang aktif dibungkus dengan sebuah kantong yang berbahan *non woven*. Pembungkusan ini bertujuan agar media filter tidak saling bercampur. Media filter ini kemudian diletakkan pada tempat filter dengan urutan seperti pada Gambar 4.6.



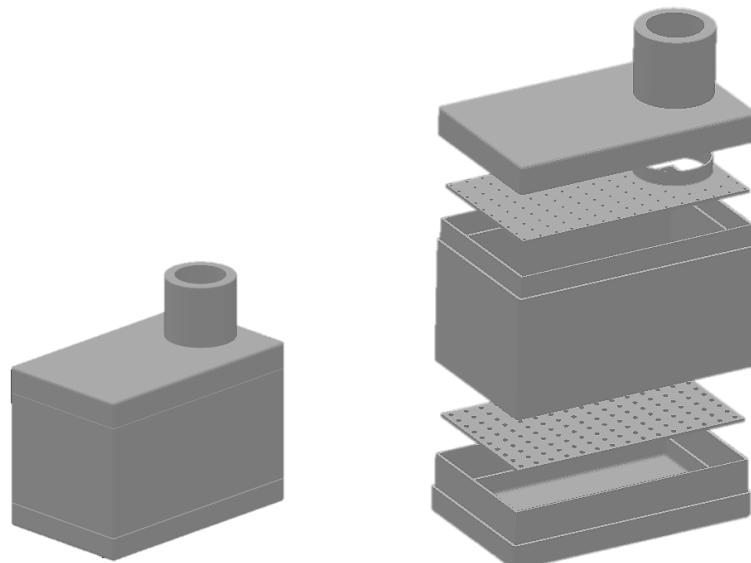
Gambar 4.6 Urutan Penempatan Media Filter

Filter pertama dan kedua menggunakan mekanisme penyaringan udara yang sama, sehingga peletakan komponen pengukuran pada kedua filter juga seragam seperti sensor MQ-7, sensor MQ-135 dan sensor GP2Y1010AU0F memiliki letak yang sama yaitu pada bagian paling atas media filter. Tujuan dari ketiga jenis sensor ini diletakkan pada bagian atas media filter adalah agar asap yang telah melalui penyaringan langsung dideteksi oleh ketiga jenis filter tersebut. Adapun tata letak dari penempatan ketiga jenis sensor ini dapat dilihat pada Gambar 4.7.



Gambar 4.7 Tata Letak Penempatan Sensor MQ-7, Sensor MQ-135, dan Sensor GP2Y1010AU0F Pada Filter Pertama dan Kedua

Filter ketiga menggunakan mekanisme yang berbeda yaitu dengan menggunakan kotak berisi batu zeolit yang kemudian di aliri oleh air. Pada bagian atas terdapat lubang-lubang kecil yang berfungsi sebagai tempat menetesnya air. Pada bagian bawah terdapat lubang yang berfungsi sebagai mengalirnya air menuju pompa air DC. Adapun bentuk dari filter ketiga dapat dilihat pada Gambar 4.8.



Gambar 4.8 Filter Ketiga

## 4.2. Kalibrasi Sensor

Kalibrasi sensor merupakan suatu proses yang bertujuan untuk memastikan suatu sensor yang dipakai dapat bekerja dengan baik dan nilai yang dihasilkan dari suatu sensor adalah nilai yang akurat. Kalibrasi sensor ini dilakukan dengan membandingkan hasil nilai sensor dengan alat yang beredar di pasaran. Adapun kalibrasi sensor pada penelitian ini menggunakan alat *air quality monitoring* Bosean T-Z01 seperti pada Gambar 4.9.

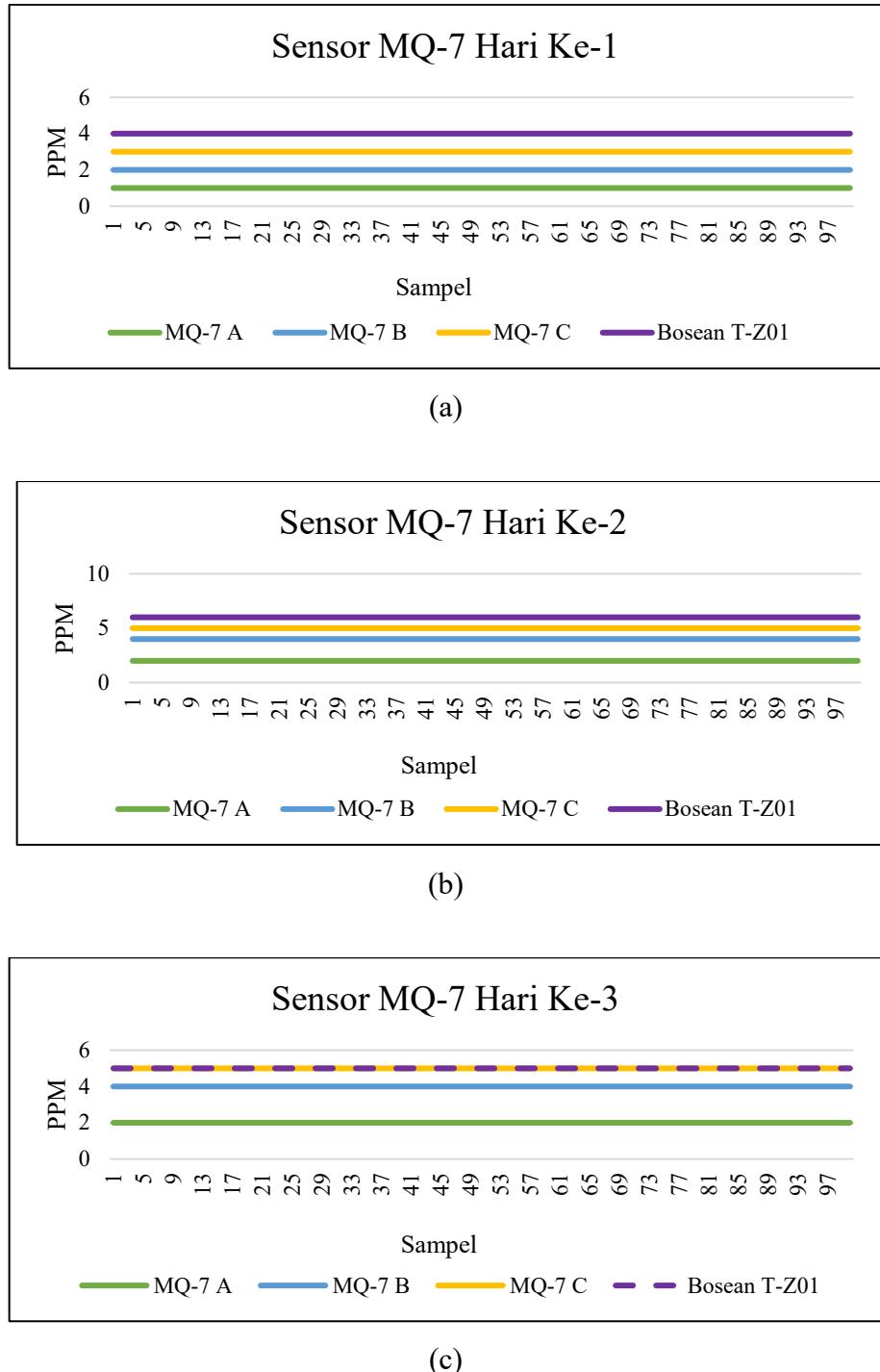


Gambar 4.9. Bosean T-Z01

Kalibrasi sensor dilakukan dengan pengambilan data sampel sebanyak 100 sampel pada udara normal dalam suatu ruangan. Pengambilan sampel kalibrasi ini membiarkan sensor dan Bosean T-Z01 dalam ruangan yang sama selama 30 menit dan dilakukan selama tiga hari. Proses kalibrasi sensor ini berlaku untuk sensor MQ-7, sensor MQ-135, dan sensor GP2Y1010AU0F yang masing-masing sensor memiliki tiga buah sensor.

### 4.2.1. Kalibrasi Sensor MQ-7

Tiga buah sensor MQ-7 disandingkan dengan Bosean T-Z01 dan dibiarkan dalam ruangan untuk melihat kenaikan dan penurunan konsentrasi gas karbon monoksida pada suatu ruangan. Adapun hasil data kalibrasi yang diperoleh dapat dilihat pada Gambar 4.10.



Gambar 4.10 Data Kalibrasi Sensor MQ-7: (a) Kalibrasi hari pertama; (b) Kalibrasi hari kedua; (c) Kalibrasi hari ketiga

Pada Gambar 4.10 (a) terlihat bahwa konsentrasi gas monoksida pada ketiga sensor MQ-7 menunjukkan nilai 1 berturut-turut dalam 100 sampel. Kemudian pada Bosean T-Z01, konsentrasi gas karbon monoksida yang terdeteksi adalah 1. Nilai

ini juga berturut-turut menunjukkan angka 1 dalam 100 sampel. Ketiga sensor MQ-7 memiliki nilai yang sama dengan Bosean T-Z01.

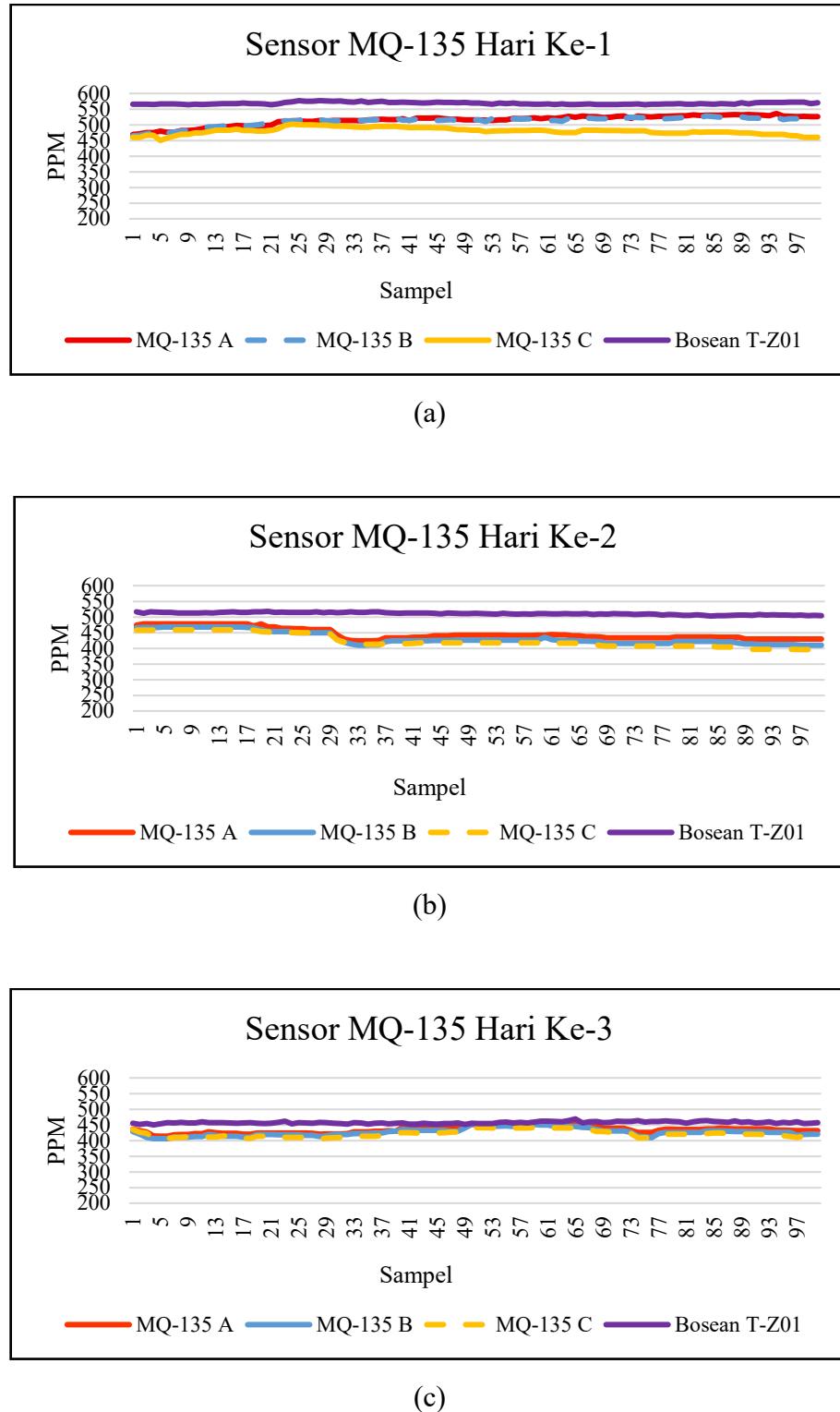
Pada Gambar 4.10 (b) terlihat bahwa konsentrasi gas karbon monoksida pada ketiga sensor MQ-7 mulai memiliki perbedaan. Pada sensor MQ-7 A dan B memiliki konsentrasi yang sama yaitu berada di angka 2, sedangkan sensor MQ-7 C dan Bosean T-Z01 juga memiliki konsentrasi yang sama yaitu berada di angka 1. Namun, ketiga sensor MQ-7 memiliki nilai yang konstan dari awal sampel sampai akhir sampel tidak ada konsentrasi yang naik maupun turun. Hal ini juga terdeteksi oleh Bosean T-Z01 yang memiliki konsentrasi konstan.

Pada hari ketiga dengan hasil yang terlihat pada Gambar 4.10 (c) terlihat bahwa ketiga sensor memiliki nilai konsentrasi yang berbeda dari Bosean T-Z01. Pada sensor MQ-7 A dan B memiliki nilai konsentrasi yang sama. Hal ini sama dengan hasil kalibrasi pada hari kedua. Sedangkan pada sensor MQ-7 C memiliki nilai konsentrasi di angka 1. Pada Bosean T-Z01, gas karbon monoksida yang terdeteksi berada di angka 0. Namun, pada ketiga sensor MQ-7 dan Bosean T-Z01 menunjukkan nilai yang konstan tidak adanya kenaikan maupun penurunan nilai konsentrasi.

Dari ketiga data kalibrasi sensor MQ-7 yang dilakukan selama tiga hari dapat disimpulkan bahwa ketiga sensor MQ-7 dapat dipakai pada mini insinerator. Hal ini dipertimbangkan dengan melihat data kenaikan dan penurunan konsentrasi gas karbon dioksida yang sama dengan Bosean T-Z01. Walaupun nilai yang terukur dari ketiga sensor MQ-7 berbeda dengan Bosean T-Z01, namun kenaikan dan penurunan konsentrasi selama 30 menit adalah sama yaitu konstan.

#### 4.2.2. Kalibrasi Sensor MQ-135

Kalibrasi sensor MQ-135 menggunakan skema yang sama seperti kalibrasi sensor MQ-7. Tiga buah sensor MQ-135 dibiarkan dalam ruangan bersama Bosean T-Z01. Tujuannya adalah untuk melihat kenaikan dan penurunan konsentrasi dari gas karbon dioksida dari sensor MQ-135 dan Bosean T-Z01. Adapun data hasil kalibrasi yang diperoleh dari ketiga sensor MQ-135 dan Bosean T-Z01 dapat dilihat pada Gambar 4.11.



Gambar 4.11 Data Kalibrasi Sensor MQ-135: (a) Kalibrasi hari pertama; (b) Kalibrasi hari kedua; (c) Kalibrasi hari ketiga.

Pada Gambar 4.11 (a) terlihat hasil kalibrasi pada hari pertama, ketiga sensor MQ-135 pada sampel pertama memiliki nilai yang mirip yaitu sekitar 460 PPM

sampai dengan 469 PPM, sedangkan pada sampel pertama Bosean T-Z01 nilai yang terdeteksi adalah 566 PPM. Ketiga sensor MQ-135 mulai menunjukkan kenaikan konsentrasi dari sampel ke-2 dan mencapai puncak pada sampel ke-24. Sedangkan pada Bosean T-Z01, konsentrasi menaik pada sampel ke-24 dan mencapai puncak pada sampel ke-30. Selanjutnya, pada kedua sensor MQ-135 terus menaik sampai sampel ke-100, sedangkan pada sensor MQ-135 C mengalami penurunan konsentrasi sampai sampel ke-100. Pada Bosean T-Z01, konsentrasi yang terdeteksi memiliki nilai yang mirip-mirip, sehingga grafik yang terlihat hampir konstan.

Pada kalibrasi di hari kedua, hasil yang diperoleh dapat dilihat pada Gambar 4.11 (b). Pada Bosean T-Z01 di sampel pertama memiliki nilai 517 PPM. Pada sampel selanjutnya, nilai konsentrasi yang terdeteksi mulai menurun secara perlahan. Sedangkan, pada ketiga sensor MQ-135 memberikan grafik penurunan kadar yang sama. Bahkan pada sampel ke-30 ketiga sensor mengalami penurunan kadar yang sama, walaupun nilai pada setiap sensor berbeda. Ketiga sensor MQ-135 terus mengalami penurunan sampai sampel ke-100.

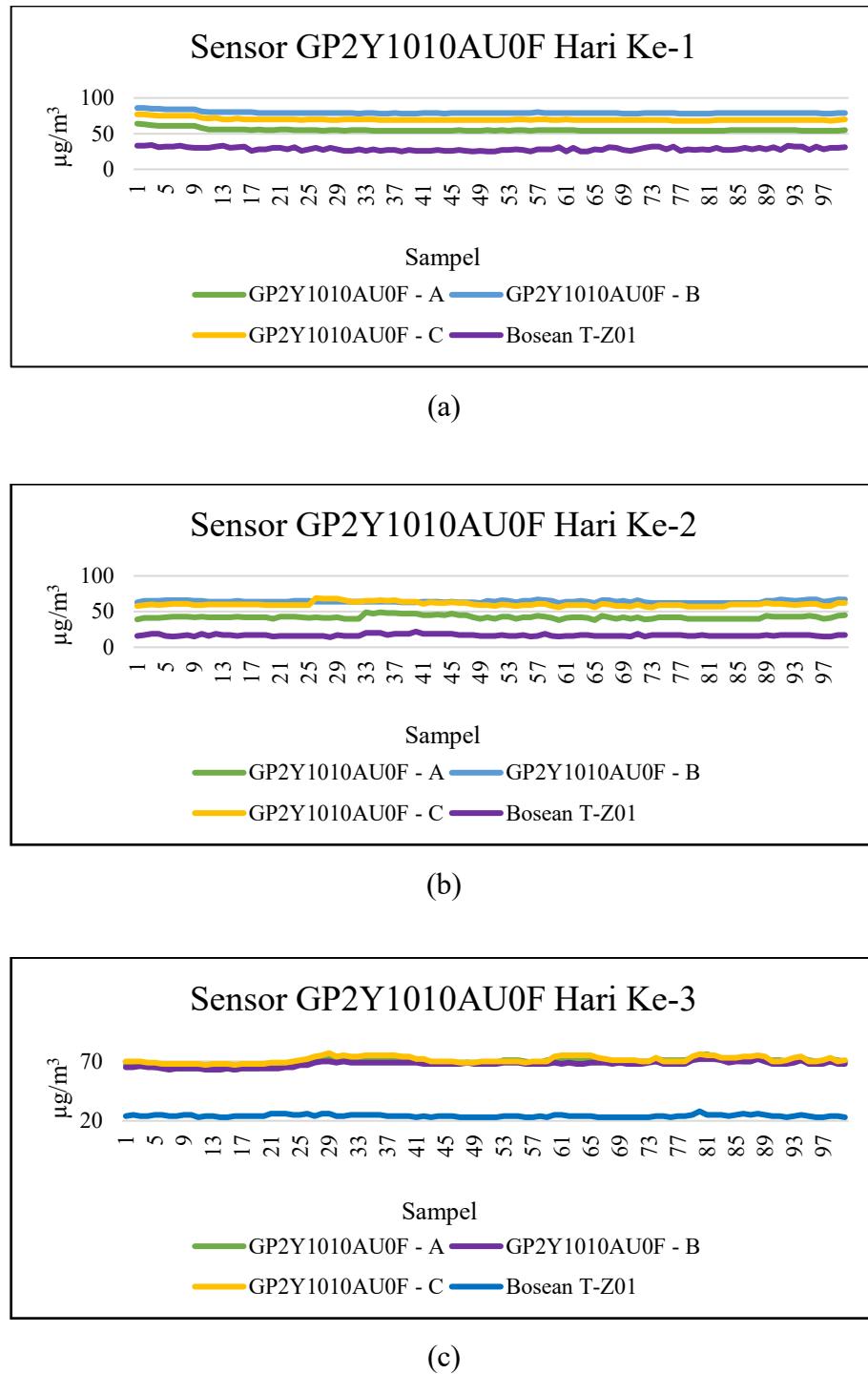
Pada hari ketiga, data dari hasil kalibrasi sensor MQ-135 dapat dilihat pada Gambar 4.11 (c). Pada Bosean T-Z01 grafik yang diperoleh adalah grafik yang hampir konstan. Terdapat perubahan nilai pada setiap sampel, namun nilai ini tidak berubah terlalu drastis. Sedangkan pada ketiga sensor MQ-135 grafik yang dihasilkan berbeda dari Bosean T-Z01. Grafik yang dihasilkan dari ketiga sensor memiliki grafik kenaikan dan penurunan kadar konsentrasi yang sama.

Dari ketiga data kalibrasi sensor MQ-135 dan Bosean T-Z01 yang dilakukan selama 3 hari, dapat disimpulkan bahwa ketiga sensor MQ-135 dapat dipakai pada mini insinerator. Hal ini dipertimbangkan dari ketiga sensor yang mengalami kenaikan dan penurunan kadar yang mirip-mirip, walaupun pada hari pertama sensor MQ-135 C mengalami penurunan dari kenaikan puncak, namun pada hari kedua dan hari ketiga sensor MQ-135 C memiliki grafik yang mirip-mirip dari kedua sensor MQ-135.

#### **4.2.3. Kalibrasi Sensor GP2Y1010AU0F**

Kalibrasi sensor GP2Y1010AU0F masih menggunakan skema yang sama seperti kalibrasi sensor MQ-7 dan kalibrasi sensor MQ-135. Tiga buah sensor GP2Y1010AU0F dibiarkan dalam suatu ruangan bersama dengan Bosean T-Z01.

Tujuan dari proses kalibrasi ini yaitu melihat kenaikan dan penurunan zat PM2.5 dari sensor GP2Y1010AU0F dan Bosean T-Z01. Adapun data hasil kalibrasi yang diperoleh dari ketiga sensor GP2Y1010AU0F dan Bosean T-Z01 dapat dilihat pada Gambar 4.12.



Gambar 4.12 Data Kalibrasi Sensor GP2Y1010AU0F: (a) Kalibrasi hari pertama; (b) Kalibrasi hari kedua; (c) Kalibrasi hari ketiga

Pada Gambar 4.12 (a) grafik Bosean T-Z01 pada sampel 1 PM2.5 yang terdeteksi adalah  $33 \mu\text{g}/\text{m}^3$ , lalu pada data selanjutnya nilai ini turun. Sedangkan, pada ketiga sensor GP2Y1010AU0F pada sampel 1, grafik yang dihasilkan mirip seperti Bosean T-Z01. Selanjutnya grafik tersebut turun. Nilai yang terdeteksi pada ketiga sensor ini semuanya berbeda dengan Bosean T-Z01, namun grafik yang dihasilkan dari ketiga sensor ini adalah sama.

Pada hari kedua, hasil data kalibrasi yang diperoleh dapat dilihat pada Gambar 4.12 (b). Bosean T-Z01 memiliki grafik yang terbilang konstan, namun pada data sampel ke-40 mengalami kenaikan nilai yang selanjutnya menurun dan kembali konstan. Sedangkan, pada sensor GP2Y1010AU0F A dan C, grafik yang dihasilkan mirip seperti Bosean T-Z01 hanya saja kenaikan kadar PM2.5 lebih cepat dibanding Bosean T-Z01. Pada sensor GP2Y1010AU0F A kenaikan kadar PM2.5 berada di sampel 33 yang kemudian pada sampel selanjutnya kembali menurun. Pada sensor GP2Y1010AU0F C kenaikan kadar PM2.5 berada pada sampel 26 yang kemudian pada sampel selanjutnya menurun kembali. Pada sensor GP2Y1010AU0F B, grafik yang dihasilkan tidak terlalu sama dengan dua sensor yang lain dan Bosean T-Z01. Kenaikan pada sensor ini tidak ada namun pada sampel data ke-51 dan seterusnya, grafik yang dihasilkan sama dengan dua buah sensor lainnya.

Pada hari ketiga, hasil data yang diperoleh dapat dilihat pada Gambar 4.12 (c). Bosean T-Z01 menghasilkan grafik yang konstan dengan kenaikan kadar PM2.5 berada di sampel 80 yang kemudian pada sampel selanjutnya kembali menuju konstan. Pada ketiga sensor GP2Y1010AU0F grafik yang dihasilkan adalah sama untuk ketiga sensor ini, namun berbeda dengan Bosean T-Z01. Ketiga sensor ini mengalami kenaikan kadar PM2.5 di sampel 29 yang kemudian pada sampel selanjutnya mengalami penurunan. Pada sampel ke-74, ketiga sensor mengalami kenaikan kadar PM2.5 lagi dan pada sampel seterusnya sampai sampel ke-100 mengalami penurunan kadar.

Dari ketiga data kalibrasi GP2Y1010AU0F dan Bosean T-Z01 yang dilakukan selama 3 hari, dapat disimpulkan bahwa ketiga sensor ini cukup untuk digunakan pada mini insinerator. Hal ini dipertimbangkan dengan melihat grafik yang dihasilkan. Grafik yang dihasilkan dari ketiga sensor ini cukup untuk dapat

digunakan pada alat karena ketiga sensor ini menunjukkan grafik yang sama, walaupun pada hari kedua sensor GP2Y1010AU0F B tidak memiliki titik kenaikan awal, namun pada data selanjutnya kenaikan dan penurunan kadar memiliki grafik yang sama dengan sensor yang lainnya.

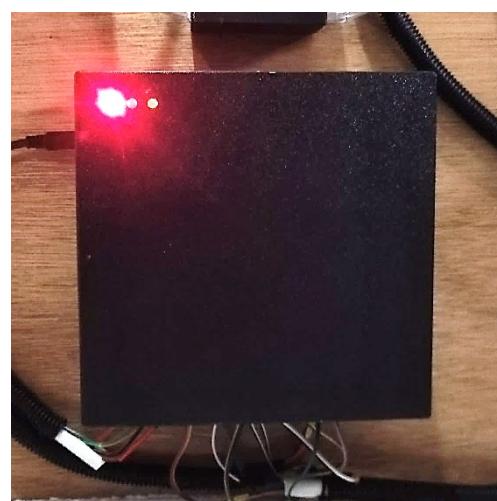
### **4.3. Pengujian Alat**

Proses pengujian alat dilakukan sebanyak lima kali, satu kali pengujian sistem pencatatan pembakaran sampah, dua kali pengujian pembakaran tanpa filter, dan dua kali pengujian pembakaran dengan filter. Pengujian pembakaran dilakukan dengan membakar sampah sebanyak 300 gram sampah plastik dan kertas.

#### **4.3.1. Pengujian Sistem Pencatatan Pembakaran Sampah**

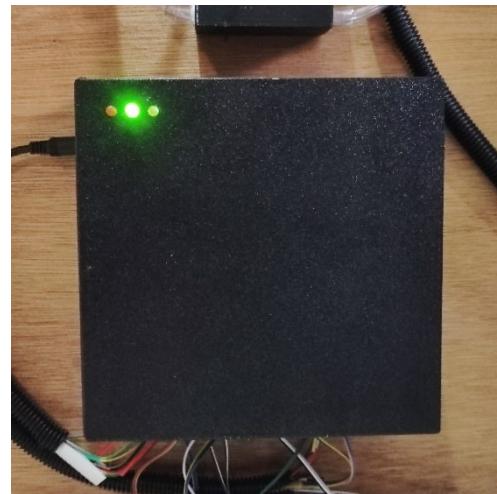
Pengujian sistem pencatatan pembakaran sampah dilakukan dengan tujuan untuk mengetahui sistem pencatatan berjalan sebagai mana mestinya atau tidak. Sistem pencatatan bekerja ditandai dengan LED kuning berkedip yang menandakan ketika pembakaran berlangsung, sistem mencatat kadar gas karbon monoksida, gas karbon dioksida, dan kadar PM2.5 dan disimpan melalui *SD card*.

Pada pengujian ini, dilakukan pencabutan *SD card* pada sistem, sehingga sistem merespons kartu *SD card* tidak ada. Hal ini ditandai dengan LED indikator berwarna merah yang menyala seperti pada Gambar 4.13.



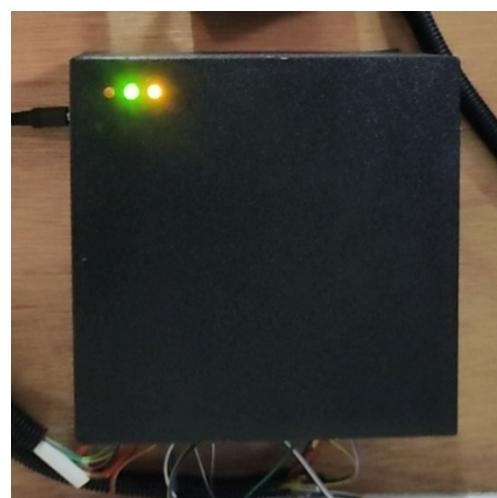
Gambar 4.13 LED Indikator Merah Menyala

Ketika *SD card* terpasang kembali, sistem merespons dengan LED indikator berwarna merah mati dan LED indikator berwarna hijau menyala seperti yang terlihat pada Gambar 4.14.



Gambar 4.14 LED Indikator Hijau Menyala

Selanjutnya, pengujian dilanjutkan dengan membakar lilin dan lilin yang terbakar dimasukkan dalam tungku pembakaran. Ketika lilin yang terbakar dimasukkan ke dalam tungku pembakaran, relay menyala yang ditandai adanya suara *switch* dari relay dan LED indikator kuning berkedip seperti pada Gambar 4.15.



Gambar 4.15 LED Indikator Kuning Berkedip

Sistem mencatat perubahan kadar gas karbon monoksida, gas karbon dioksida, dan kadar PM2.5 di dalam *file* dengan format CSV (*Comma Separated Values*). Pada sistem pencatatan, pembuatan setiap *file* dibuat dengan berdasarkan bulan dari pembakaran yang dilakukan. Jika pembakaran dilakukan dalam bulan Mei, maka pembakaran masuk dalam *file* bulan Mei. Sedangkan, jika pembakaran dilakukan pada bulan Juni, maka data tersimpan pada file bulan Juni seperti yang terlihat pada Gambar 4.16.

Nama	Tanggal diubah	Jenis	Ukuran
Juni-2025.csv	01/01/2025 00.00	File CSV Microsoft Excel	1.367 KB
Mei-2025.csv	01/01/2025 00.00	File CSV Microsoft Excel	120 KB

Gambar 4.16 Penamaan *File* Data Pembakaran Sampah

Pada Gambar 4.16, jika *file* dibuka dalam terdapat *header* dengan isi tanggal, waktu, MQ-7 A, MQ-7 B, MQ-7 C, MQ-135 A, MQ-135 B, MQ-135 C, satuan, GP2Y1010AU0F-A, GP2Y1010AU0F-B, GP2Y1010AU0F-B, satuan, dan nilai. *Header* ini tertulis hanya sekali saja ketika *file* dibuat. Adapun tampilan dari data mentah yang diperoleh dari sistem dapat dilihat pada Gambar 4.17.

Tanggal	Waktu	MQ-7 A	MQ-7 B	MQ-7 C	MQ-135 A	MQ-135 B	MQ-135 C	Satuan	GP2Y1010AU0F-A	GP2Y1010AU0F-B	GP2Y1010AU0F-C	Satuan	Nilai
03/06/2025	09.00.57	14.00	14.00	08.00	922.00.00	811.00.00	434.00.00	ppm	216.00.00	211.00.00	07.00	ug/m <sup>3</sup>	Aktif
03/06/2025	09.00.58	14.00	14.00	08.00	921.00.00	810.00.00	434.00.00	ppm	219.00.00	207.00.00	07.00	ug/m <sup>3</sup>	Aktif
03/06/2025	09.00.59	14.00	14.00	08.00	921.00.00	809.00.00	434.00.00	ppm	219.00.00	208.00.00	08.00	ug/m <sup>3</sup>	Aktif
03/06/2025	09.01.00	14.00	14.00	08.00	920.00.00	811.00.00	434.00.00	ppm	217.00.00	207.00.00	07.00	ug/m <sup>3</sup>	Aktif
03/06/2025	09.01.01	14.00	14.00	08.00	921.00.00	809.00.00	434.00.00	ppm	217.00.00	207.00.00	08.00	ug/m <sup>3</sup>	Aktif
03/06/2025	09.01.02	14.00	14.00	08.00	920.00.00	809.00.00	434.00.00	ppm	215.00.00	202.00.00	07.00	ug/m <sup>3</sup>	Aktif
03/06/2025	09.01.03	14.00	14.00	08.00	920.00.00	809.00.00	434.00.00	ppm	215.00.00	206.00.00	07.00	ug/m <sup>3</sup>	Aktif
03/06/2025	09.01.04	14.00	14.00	08.00	919.00.00	808.00.00	434.00.00	ppm	214.00.00	204.00.00	07.00	ug/m <sup>3</sup>	Aktif
03/06/2025	09.01.05	14.00	14.00	08.00	920.00.00	809.00.00	434.00.00	ppm	213.00.00	199.00.00	07.00	ug/m <sup>3</sup>	Aktif
03/06/2025	09.01.06	14.00	14.00	08.00	919.00.00	809.00.00	434.00.00	ppm	211.00.00	200.00.00	07.00	ug/m <sup>3</sup>	Aktif
03/06/2025	09.01.07	14.00	14.00	08.00	918.00.00	807.00.00	434.00.00	ppm	210.00.00	201.00.00	07.00	ug/m <sup>3</sup>	Aktif
03/06/2025	09.01.08	14.00	14.00	08.00	917.00.00	808.00.00	434.00.00	ppm	210.00.00	199.00.00	07.00	ug/m <sup>3</sup>	Aktif
03/06/2025	09.01.09	14.00	14.00	08.00	917.00.00	807.00.00	434.00.00	ppm	210.00.00	199.00.00	07.00	ug/m <sup>3</sup>	Aktif
03/06/2025	09.01.10	14.00	14.00	08.00	918.00.00	807.00.00	434.00.00	ppm	210.00.00	202.00.00	07.00	ug/m <sup>3</sup>	Aktif
03/06/2025	09.01.11	14.00	14.00	08.00	918.00.00	808.00.00	434.00.00	ppm	211.00.00	203.00.00	07.00	ug/m <sup>3</sup>	Aktif
03/06/2025	09.01.12	14.00	14.00	08.00	916.00.00	806.00.00	434.00.00	ppm	211.00.00	199.00.00	07.00	ug/m <sup>3</sup>	Aktif

Gambar 4.17 Tampilan Data Mentah dari Pembakaran dan Penyaringan Asap Pembakaran Sampah

Pada Gambar 4.17 terlihat kolom nilai. Kolom ini berisikan status pembakaran dan sistem penyaringan sedang aktif atau tidak. Status ini diperoleh dari relay yang menyala atau tidak. Jika relay menyala, status bertuliskan “Aktif”. Sebaliknya, jika relay tidak menyala, status bertuliskan “Nonaktif”. Penulisan

kolom status ini bertujuan untuk memudahkan membaca data ketika ingin melihat pembakaran dan penyaringan terakhir yang dilakukan. Namun, ketika percobaan dilakukan, sistem ini tidak bekerja. Hal ini menyebabkan kolom nilai selalu bertuliskan “Aktif” ketika relay menyala maupun tidak menyala.

Data mentah seperti pada Gambar 4.17 sangat sulit terbaca yang dikarenakan banyaknya data. Sehingga pada pengujian ini, data diolah kembali agar mudah terbaca. Adapun data yang telah diolah dapat dilihat pada Gambar 4.18.

Tanggal	Waktu	MQ-7 A	MQ-7 B	MQ-7 C	MQ-135 A	MQ-135 B	MQ-135 C	Satuan	GP2Y1010 AU0F-A	GP2Y1010 AU0F-B	GP2Y1010 AU0F-C	Satuan2	Nilai
03/06/2025	08.29.26	6	6	6	806	402	339	ppm	31	21	8	ug/m <sup>3</sup>	Aktif
03/06/2025	08.29.27	7	5	5	803	402	335	ppm	31	21	8	ug/m <sup>3</sup>	Aktif
03/06/2025	08.29.28	7	5	5	802	392	332	ppm	31	22	8	ug/m <sup>3</sup>	Aktif
03/06/2025	08.29.29	7	5	5	802	390	330	ppm	31	21	8	ug/m <sup>3</sup>	Aktif
03/06/2025	08.29.30	7	5	5	805	379	329	ppm	31	21	8	ug/m <sup>3</sup>	Aktif
03/06/2025	08.29.31	7	5	5	818	374	328	ppm	30	19	8	ug/m <sup>3</sup>	Aktif
03/06/2025	08.29.32	7	5	5	823	370	327	ppm	30	19	8	ug/m <sup>3</sup>	Aktif
03/06/2025	08.29.33	7	5	5	826	368	327	ppm	29	20	8	ug/m <sup>3</sup>	Aktif
03/06/2025	08.29.34	8	5	5	839	366	327	ppm	29	18	8	ug/m <sup>3</sup>	Aktif
03/06/2025	08.29.35	8	5	5	854	365	327	ppm	29	18	7	ug/m <sup>3</sup>	Aktif
03/06/2025	08.29.36	8	5	5	866	353	327	ppm	28	17	7	ug/m <sup>3</sup>	Aktif
03/06/2025	08.29.37	8	5	5	870	349	327	ppm	27	17	8	ug/m <sup>3</sup>	Aktif
03/06/2025	08.29.38	8	5	5	872	349	327	ppm	28	21	7	ug/m <sup>3</sup>	Aktif
03/06/2025	08.29.39	8	5	5	899	349	327	ppm	30	23	7	ug/m <sup>3</sup>	Aktif
03/06/2025	08.29.40	8	5	5	922	349	327	ppm	35	30	8	ug/m <sup>3</sup>	Aktif
03/06/2025	08.29.41	8	5	5	934	349	327	ppm	41	41	8	ug/m <sup>3</sup>	Aktif
03/06/2025	08.29.42	8	5	5	945	349	327	ppm	50	48	7	ug/m <sup>3</sup>	Aktif

Gambar 4.18 Data Pembakaran dan Penyaringan Asap Pembakaran Sampah yang Telah Diolah

#### 4.3.2. Hasil dan Analisis Pembakaran Sampah Kertas

Pada pengujian ini, proses pembakaran sampah dilakukan dengan membakar sampah kertas sebanyak 300 gram. Pembakaran sampah kertas pada pengujian ini dilakukan dengan dua kondisi, yaitu pembakaran sampah kertas tanpa filter dan pembakaran sampah dengan filter. Tujuan dari pembakaran dua kondisi ini adalah untuk membandingkan kandungan zat polutan ketika pembakaran tanpa filter dan pembakaran dengan filter.

Pembakaran sampah tanpa filter berlangsung dengan durasi 1 jam 14 menit 3 detik yang dimulai dari jam 12:47:42 WIB dan untuk pembakaran dengan filter berlangsung dengan durasi 59 menit 51 detik yang dimulai dari jam 13:50:02 WIB. Data pengukuran dari kedua pembakaran ini diambil setiap satu detik, sehingga

kenaikan dan penurunan kadar zat polutan sekecil apa pun dapat tercatat pada SD card. Adapun hasil pembakaran dari kedua kondisi ini dapat dilihat pada Tabel 4.1.

Tabel 4.1 Data Pengujian Pembakaran Sampah Kertas

Zat Polutan	Pembakaran Tanpa Filter			Pembakaran Dengan Filter		
	Durasi Pembakaran: 1:14:03			Durasi Pembakaran: 59:51		
	Kondisi Awal	Kenaikan Zat Polutan	Kondisi Akhir	Kondisi Awal	Kenaikan Zat Polutan	Kondisi Akhir
<b>Kotak Filter 1</b>						
<b>CO A</b>	7 PPM	33 PPM	6 PPM	4 PPM	29 PPM	2 PPM
<b>CO2 A</b>	522 PPM	1331 PPM	499 PPM	510 PPM	1018 PPM	490 PPM
<b>PM2.5 A</b>	196 $\mu\text{g}/\text{m}^3$	198 $\mu\text{g}/\text{m}^3$	68 $\mu\text{g}/\text{m}^3$	123 $\mu\text{g}/\text{m}^3$	125 $\mu\text{g}/\text{m}^3$	39 $\mu\text{g}/\text{m}^3$
<b>Kotak Filter 2</b>						
<b>CO B</b>	6 PPM	34 PPM	6 PPM	3 PPM	10 PPM	3 PPM
<b>CO2 B</b>	504 PPM	1313 PPM	501 PPM	408 PPM	614 PPM	400 PPM
<b>PM2.5 B</b>	68 $\mu\text{g}/\text{m}^3$	181 $\mu\text{g}/\text{m}^3$	50 $\mu\text{g}/\text{m}^3$	79 $\mu\text{g}/\text{m}^3$	82 $\mu\text{g}/\text{m}^3$	26 $\mu\text{g}/\text{m}^3$
<b>Kotak Filter 3</b>						
<b>CO C</b>	4 PPM	31 PPM	4 PPM	3 PPM	3 PPM	2 PPM
<b>CO2 C</b>	520 PPM	1213 PPM	518 PPM	350 PPM	458 PPM	340 PPM
<b>PM2.5 C</b>	53 $\mu\text{g}/\text{m}^3$	123 $\mu\text{g}/\text{m}^3$	71 $\mu\text{g}/\text{m}^3$	15 $\mu\text{g}/\text{m}^3$	27 $\mu\text{g}/\text{m}^3$	10 $\mu\text{g}/\text{m}^3$

Pada data pembakaran tanpa filter, kadar gas karbon monoksida dan kadar gas karbon dioksida mengalami kenaikan kadar yang sama tinggi pada ketiga kotak filter. Kenaikan kadar gas karbon monoksida dan gas karbon dioksida ini hanya mengalami kenaikan sesaat. Hal ini terjadi pada saat pembakaran berlangsung, asap yang dihasilkan dari pembakaran sampah kertas sangat banyak, sehingga menghasilkan lonjakan kadar yang tinggi. Lonjakan kadar zat polutan ini juga terlihat dari tungku pembakaran dengan adanya asap yang keluar dari alat. Asap bocor yang dihasilkan dari alat memiliki aroma yang tidak sedap. Selain itu, asap ini membuat mata terasa perih jika asap tersebut mengenai mata.

Asap yang keluar dari alat atau asap bocor dapat terjadi karena adanya lubang yang tidak tertutup rapat, terutama pada area pintu. Selain itu, tekanan udara panas yang dihasilkan dari pembakaran sampah kertas juga mempengaruhi banyaknya

asap yang keluar. Semakin besar api yang menyala pada tungku pembakaran, tekanan udara panas yang dihasilkan semakin besar, sehingga menyebabkan asap terdorong pada sela-sela lubang.

Tekanan udara panas juga menjadi faktor kadar PM2.5 yang tinggi. Tekanan udara panas mendorong residu abu hasil pembakaran sampah kertas menuju kotak filter, hal ini juga diperkuat dengan tidak adanya penghalang partikel, sehingga kadar PM2.5 yang terdeteksi dari ketiga kotak filter sangat tinggi. Jika dilihat pada Tabel 4.1, kadar PM2.5 mengalami penurunan kadar di setiap kotak filter. Penurunan kadar PM2.5 pada setiap kotak filter disebabkan oleh adanya kandungan air yang dihasilkan dari pembakaran sampah menangkap zat partikel dan menempel pada dinding pipa, sehingga pengukuran yang terjadi semakin berkurang. Kandungan air yang dihasilkan dari pembakaran ini memiliki warna kuning dan memiliki aroma yang tidak sedap.

Semakin lama proses pembakaran, api dalam tungku pembakaran mulai padam. Ketika api padam, tekanan udara panas menghilang dan menghentikan penyebaran partikel, sehingga semakin lama proses ini membuat kadar PM2.5 semakin menurun. Hal ini dapat terlihat pada Tabel 4.1 pada bagian kondisi akhir proses yang menampilkan kadarnya memiliki nilai yang sama seperti kondisi awal dan bahkan lebih kecil dari kondisi awal.

Pada data pembakaran sampah kertas dengan filter, kadar gas karbon monoksida dan kadar gas karbon dioksida terlihat mengalami penurunan kadar pada ketiga kotak filter dibandingkan dengan pembakaran tanpa filter. Kotak filter pertama dan kedua memiliki karakteristik kenaikan dan penurunan kadar zat polutan yang mirip. Ini terjadi dikarenakan oleh media filter yang sama, berbeda dengan kotak filter ketiga. Pada kotak filter ketiga, penurunan kadar zat polutan lebih baik. Hal ini didukung oleh mekanisme filter ketiga yang berbeda, sehingga membuat kadar gas karbon monoksida menurun sampai dengan 3 PPM, kadar gas karbon dioksida menurun sampai 349 PPM, dan kadar PM2.5 menurun sampai 8  $\mu\text{g}/\text{m}^3$ .

Sementara itu, terjadi hal serupa dengan pembakaran tanpa filter selama pembakaran berlangsung, yaitu adanya asap bocor yang keluar dari alat. Berbeda dari asap bocor yang dihasilkan dari pembakaran tanpa filter, pembakaran dengan

filter menghasilkan asap bocor dengan efek yang lebih ringan. Asap ini tidak menimbulkan aroma tidak sedap dan tidak menimbulkan mata perih ketika mata terkena asap bocor. Namun, jika terlalu lama terpapar oleh asap bocor pada pembakaran ini, aroma tidak sedap dari asap dapat tercium walaupun tidak terlalu berat aromanya.

#### 4.3.3. Hasil dan Analisis Pembakaran Sampah Plastik

Pada pengujian ini, proses pembakaran sampah dilakukan dengan membakar sampah plastik sebanyak 300 gram. Pembakaran sampah plastik pada pengujian ini dilakukan dengan dua kondisi, yaitu pembakaran sampah plastik tanpa filter dan pembakaran sampah plastik dengan filter. Tujuan dari pembakaran dua kondisi ini adalah untuk membandingkan kandungan zat polutan ketika pembakaran tanpa filter dan pembakaran dengan filter.

Pembakaran sampah tanpa filter berlangsung dengan durasi 1 jam 15 menit 36 detik yang dimulai dari jam 14:35:14 WIB dan untuk pembakaran dengan filter berlangsung dengan durasi 52 menit 41 detik yang dimulai dari jam 15:25:13 WIB. Data pengukuran dari kedua pembakaran ini diambil setiap satu detik, sehingga kenaikan dan penurunan kadar zat polutan sekecil apa pun dapat tercatat pada SD card. Adapun hasil pembakaran dari kedua kondisi ini dapat dilihat pada Tabel 4.2.

Tabel 4.2 Data Pengujian Pembakaran Sampah Plastik

Zat Polutan	Pembakaran Tanpa Filter			Pembakaran Dengan Filter		
	Durasi Pembakaran: 1:14:36			Durasi Pembakaran: 52:41		
	Kondisi Awal	Kenaikan Zat Polutan	Kondisi Akhir	Kondisi Awal	Kenaikan Zat Polutan	Kondisi Akhir
<b>Kotak Filter 1</b>						
<b>CO A</b>	8 PPM	25 PPM	7 PPM	7 PPM	15 PPM	4 PPM
<b>CO2 A</b>	599 PPM	882 PPM	784 PPM	516 PPM	829 PPM	495 PPM
<b>PM2.5 A</b>	36 $\mu\text{g}/\text{m}^3$	171 $\mu\text{g}/\text{m}^3$	55 $\mu\text{g}/\text{m}^3$	36 $\mu\text{g}/\text{m}^3$	87 $\mu\text{g}/\text{m}^3$	20 $\mu\text{g}/\text{m}^3$
<b>Kotak Filter 2</b>						
<b>CO B</b>	8 PPM	16 PPM	6 PPM	7 PPM	15 PPM	3 PPM
<b>CO2 B</b>	574 PPM	757 PPM	718 PPM	426 PPM	488 PPM	464 PPM
<b>PM2.5 B</b>	23 $\mu\text{g}/\text{m}^3$	158 $\mu\text{g}/\text{m}^3$	42 $\mu\text{g}/\text{m}^3$	10 $\mu\text{g}/\text{m}^3$	54 $\mu\text{g}/\text{m}^3$	10 $\mu\text{g}/\text{m}^3$

Zat Polutan	Pembakaran Tanpa Filter			Pembakaran Dengan Filter		
	Durasi Pembakaran: 1:14:36			Durasi Pembakaran: 52:41		
	Kondisi Awal	Kenaikan Zat Polutan	Kondisi Akhir	Kondisi Awal	Kenaikan Zat Polutan	Kondisi Akhir
<b>Kotak Filter 3</b>						
<b>CO C</b>	8 PPM	24 PPM	6 PPM	7 PPM	23 PPM	3 PPM
<b>CO2 C</b>	570 PPM	698 PPM	668 PPM	312 PPM	374 PPM	349 PPM
<b>PM2.5 C</b>	20 $\mu\text{g}/\text{m}^3$	150 $\mu\text{g}/\text{m}^3$	34 $\mu\text{g}/\text{m}^3$	10 $\mu\text{g}/\text{m}^3$	13 $\mu\text{g}/\text{m}^3$	8 $\mu\text{g}/\text{m}^3$

Pada data pembakaran sampah plastik tanpa filter, ketiga kotak filter mendeteksi kadar gas karbon monoksida yang tinggi pada tahap awal pembakaran. gas karbon monoksida yang terdeteksi tinggi ini berlangsung hanya sesaat, setelah itu kadar gas karbon monoksida mengalami penurunan kadar dan mulai menunjukkan hasil yang stabil sampai akhir proses. Pada saat kadar gas karbon monoksida tinggi, proses pembakaran baru dimulai sehingga sampah plastik belum terbakar seluruhnya. Proses ini menghasilkan asap yang cukup banyak sehingga dapat terlihat oleh mata. Namun, setelah seluruh sampah plastik terbakar, asap yang dihasilkan dari pembakaran mulai menipis. Oleh karena itu, kadar gas karbon monoksida yang terdeteksi mulai menurun ketika sampah plastik sudah terbakar seluruhnya.

Berbeda dengan kadar gas karbon dioksida yang terdeteksi dari ketiga kotak filter, pembacaan gas karbon dioksida tidak menunjukkan penurunan kadar gas karbon monoksida dari tahap kenaikan kadar sampai penurunan kadar gas karbon dioksida. Pada awal proses, kadar gas karbon dioksida yang terdeteksi selalu rendah. Hal ini disebabkan ketika pada awal pembakaran sampai sampah plastik seluruhnya terbakar, asap yang dihasilkan dari pembakaran sampah plastik ini tidak terlalu banyak. Hal ini juga didukung oleh api yang selalu menyala ketika sampah plastik seutuhnya menjadi lelehan plastik. Ketika api mulai padam, lelehan plastik mulai menghasilkan asap yang cukup banyak, sehingga kadar gas karbon dioksida yang terdeteksi meningkat drastis. Proses ini berlangsung sangat lama dan alat terus mencatat kadar zat polutan tanpa henti. Untuk mengurangi banyaknya data, pada pengujian ini dilakukan pemberhentian proses secara paksa dengan mencabut sumber daya alat. Oleh karena itu, kadar gas karbon dioksida pada pengujian ini

menunjukkan pola yang sama dari kondisi kenaikan kadar sampah kondisi akhir proses.

Pada kadar PM2.5 yang terlihat pada Tabel 4.2, kadar PM2.5 pada kondisi kenaikan kadar mengalami kenaikan yang tinggi pada masing-masing kotak filter, namun pada kondisi akhir, kadar PM2.5 turun kembali. Kondisi ini terjadi disebabkan oleh pembakaran sebelumnya yaitu pembakaran sampah kertas yang meninggalkan residu berupa abu. Ketika api membesar dalam pembakaran sampah plastik, tekanan udara panas memungkinkan untuk mendorong residu abu menuju kotak filter, sehingga pembacaan yang terjadi adalah pembacaan PM2.5 yang tinggi, namun kadar ini menurun seiring dengan menyalanya api yang semakin meredup.

Pada pembakaran sampah plastik dengan filter, kadar gas karbon monoksida mengalami proses yang sama seperti pada pembakaran sampah plastik tanpa filter, yang berbeda hanyalah tingkat kadar gas karbon monoksida yang terdeteksi pada pembakaran ini jauh lebih kecil dibandingkan dengan pembakaran sampah plastik tanpa filter. Namun, pada gas karbon dioksida yang terdeteksi pada pembakaran ini memiliki hasil yang berbeda dengan pembakaran tanpa filter. Terlihat pada Tabel 4.2, ketiga kotak filter menghasilkan pembacaan yang stabil, sehingga media filter berhasil mereduksi kadar gas karbon dioksida yang dihasilkan dari pembakaran sampah plastik.

Pada kadar PM2.5 pembakaran dengan filter, proses yang dialami serupa dengan proses yang terjadi pada pembakaran sampah plastik tanpa filter, hanya saja kadar PM2.5 pada pembakaran ini jauh lebih rendah. Namun, hal ini hanya berlaku untuk kotak filter 1 dan 2, sedangkan pada kotak filter ketiga, kadar PM2.5 menghasilkan kadar yang stabil. Kestabilan kadar PM2.5 pada kotak filter ketiga dihasilkan dari media dan metode yang digunakan pada kotak ketiga berbeda dengan kotak filter 1 dan 2, yaitu menggunakan media kombinasi dari air dan batu zeolit sebagai media filter serta menggunakan mekanisme seperti air hujan. Mekanisme ini bekerja dengan membawa dan menyerap partikel yang terbawa ke dalam kotak filter 3 melalui tetesan air, kemudian air ini di distribusikan kembali pada kotak filter 3 untuk mengulang proses yang sama secara berkelanjutan agar

partikel terus terserap, sehingga kadar partikel yang terdeteksi pada kotak filter 3 menjadi lebih rendah.

#### 4.4. Pembahasan

Pada pengujian sistem pencatatan pembakaran sampah, sistem ini dicatat dengan format *file CSV*. Format ini diterapkan agar pembacaan lebih mudah dan lebih cepat jika tidak ingin mengolah datanya secara langsung, berbeda dengan format *file text*, format ini lebih sulit untuk dibaca jika data belum diolah. Pemberian nama *file* juga dapat menyesuaikan nama bulan ketika pembakaran berlangsung. Pemberian nama sesuai nama bulan kapan pembakaran sampah itu berlangsung bertujuan agar memudahkan dalam memilih *file*. Pemberian nama *file* diterapkan ketika *SD card* terpasang pada modul dan pembakaran sedang berlangsung pertama kali.

Sistem pada alat ini dirancang agar dapat memberitahu penggunanya ketika *SD card* terpasang pada modul *SD card* atau tidak. Ketika *SD card* tidak terpasang pada modul *SD card*, indikator dari LED berwarna merah menyala, sehingga pengguna dapat memasukkan *SD card* terlebih dahulu sebelum pembakaran berlangsung. Sedangkan, Ketika *SD card* terpasang pada modul *SD card*, indikator berupa LED berwarna hijau menyala, sehingga pengguna dapat melakukan pembakaran sampah kapan pun. Tidak hanya itu, sistem pemberitahuan ini dapat memberitahu penggunanya jika terdapat masalah pada *SD Card* yang terpasang, seperti *SD Card* rusak dan sebagainya.

Ketika pembakaran berlangsung, sistem mulai mencatat kadar gas karbon monoksida, gas karbon dioksida, serta kadar PM2.5 pada *SD card*. Penulisan kadar gas karbon monoksida, gas karbon dioksida, dan kadar PM2.5 ditandai dengan indikator berupa LED berwarna kuning yang berkedip. Sistem dapat menulis setiap 1 detik, sehingga perubahan kenaikan dan penurunan sekecil apa pun dapat tercatat pada *SD card*.

Di samping itu, sistem pencatatan kadar zat polutan ini memiliki kelemahan. Ketika pembakaran sampah berlangsung, namun *SD card* tidak berada pada modul *SD card*, sistem penyaringan asap tetap bekerja sebagaimana mestinya. Hal ini menyebabkan kadar gas karbon monoksida, gas karbon dioksida, dan kadar PM2.5

tidak dapat tercatat, sehingga ini dapat merugikan pengguna yang tidak dapat mengetahui kadar gas karbon monoksida, gas karbon dioksida, serta kadar PM2.5 yang telah melalui penyaringan asap.

Kelemahan selanjutnya berada pada hasil data yang diperoleh. Pada data yang tersimpan di SD *Card*, terdapat kolom nilai. Kolom nilai ini dimaksudkan sebagai indikator dalam pembakaran yang sedang berlangsung dan pembakaran yang sudah selesai. Ketika pembakaran dimulai, sistem mencatat status aktif pada kolom nilai, sebaliknya status nonaktif pada kolom nilai tertulis jika pembakaran telah selesai. Namun, pada realisasinya, sistem ini tidak bekerja sebagaimana mestinya. Hal ini membuat status yang tertulis selalu aktif dan bahkan terdapat status nonaktif pada pertengahan proses pembakaran. Kelemahan ini dapat dikarenakan oleh kesalahan logika pada kode program, sehingga sistem tidak berjalan sesuai yang diharapkan. Akibatnya, pengguna sulit dalam membaca data hasil pembakaran yang telah berlangsung dan memilih rentang data mana saja yang dapat diolah.

Pada pengujian pembakaran sampah kertas, pembakaran sampah yang dilengkapi dengan filter menunjukkan hasil yang lebih efektif dalam menurunkan kadar zat polutan dibandingkan pembakaran sampah tanpa filter. Kadar zat polutan pada pembakaran sampah kertas dengan filter memiliki nilai yang lebih rendah dibandingkan pembakaran sampah kertas tanpa filter, khususnya pada penyaringan tahap akhir. Hasil akhir menunjukkan bahwa kadar gas karbon monoksida, kadar gas karbon dioksida, dan zat PM2.5 berhasil direduksi mencapai 2 PPM untuk gas karbon monoksida, 340 PPM untuk gas karbon dioksida, dan untuk PM2.5 mencapai  $10 \mu\text{g}/\text{m}^3$ .

Hal serupa juga terjadi pada pembakaran sampah plastik. Pembakaran sampah plastik yang dilengkapi dengan filter menunjukkan hasil yang lebih efektif dalam menurunkan kadar zat polutan dibandingkan pembakaran sampah plastik yang tidak dilengkapi dengan filter. Hasil akhir menunjukkan bahwa kadar gas karbon monoksida, kadar gas karbon dioksida, dan zat PM2.5 berhasil direduksi dengan baik dengan 3 PPM untuk gas karbon monoksida, 349 PPM untuk kadar gas karbon dioksida dan  $8 \mu\text{g}/\text{m}^3$  untuk kadar PM2.5.

Kefektifan filter yang digunakan dalam pembakaran sampah juga terlihat dari durasi pembakaran yang berlangsung. Pembakaran sampah kertas dan sampah

plastik yang dilengkapi filter memiliki durasi pembakaran yang lebih singkat dibandingkan pembakaran yang tidak dilengkapi dengan filter. Perbedaan durasi ini menunjukkan bahwa proses penyaringan asap hasil pembakaran sampah tidak hanya menurunkan kadar polutan yang terkandung dalam asap, tetapi dapat meningkatkan efisiensi waktu pada proses pembakaran sampah.

Pada proses pembakaran sampah kertas, sampah kertas tidak terbakar seluruhnya. Pada Gambar C.3 (a) terlihat grafik dari gas karbon monoksida dari pembakaran kertas yang dilengkapi dengan filter menunjukkan dua puncak kenaikan kadar yang tinggi. Kedua puncak ini dihasilkan dari proses pembakaran yang dilakukan secara berulang. Hal ini diperlukan untuk membakar habis sampah kertas. Meskipun pembakaran dilakukan dengan dua kali pembakaran, sampah kertas tidak terbakar seluruhnya dan menyisakan beberapa sampah kertas. Sampah kertas yang tidak terbakar seluruhnya dapat disebabkan oleh tungku pembakaran yang tidak cukup oksigen. Meskipun sudah disediakan jalur oksigen masuk, namun jalur ini tidak cukup optimal dalam menyalurkan oksigen yang diperlukan pada pembakaran.

Berdasarkan pengujian pada pembakaran sampah kertas, pada pembakaran sampah plastik, agar sampah plastik terbakar seluruhnya, proses pembakaran yang berlangsung diberikan celah udara pada pintu yang tidak tertutup rapat agar oksigen yang diperlukan pada proses pembakaran dapat tercukupi. Ketika sampah plastik sudah terbakar seluruhnya terbakar, pintu mulai ditutup rapat. Cara ini sangat efektif untuk memberikan oksigen yang cukup dalam pembakaran sampah agar sampah plastik terbakar seluruhnya. Namun, cara ini juga memberikan celah untuk asap hasil pembakaran yang keluar secara berlebih dari alat.

Dari data hasil pembakaran dari kedua jenis sampah yang diperoleh selama pengujian, data tersebut kemudian diolah menjadi data grafik. Grafik yang dihasilkan menunjukkan banyaknya nilai-nilai acak yang dapat dikatakan sebagai *noise*. *Noise* yang diperoleh selama pengujian dapat disebabkan oleh sensor yang digunakan terpapar udara panas dari pembakaran sampah. Terutama pembakaran sampah plastik yang menghasilkan *noise* tinggi. Kondisi ini terlihat jelas pada saat pengujian pembakaran sampah plastik dengan *noise* yang dihasilkan cukup banyak.

Adanya *noise* pada pengujian ini disebabkan oleh suhu tinggi yang dihasilkan dari pembakaran sampah plastik. Api secara terus menerus menyala ketika sampah plastik sudah terbakar seluruhnya dan menjadi lelehan plastik, sehingga suhu pada tungku pembakaran meningkat secara signifikan. Suhu ini kemudian melalui kotak filter dengan melewati jalur asap, sehingga komponen pengukuran zat polutan seperti sensor MQ-7, sensor MQ-135, dan sensor GP2Y1010AU0F mengalami gangguan dalam pembacaan. Hal ini juga disebabkan oleh jarak dari tungku pembakaran menuju kotak filter yang memiliki jarak kecil, sehingga suhu tinggi dari tungku pembakaran langsung berdampak pada kotak filter.

Selama proses pengujian pembakaran, pendekripsi kadar zat polutan tidak langsung mendekripsi zat polutan, namun memiliki waktu dalam proses pendekripsiannya. Proses pendekripsi kadar zat polutan membutuhkan waktu sekitar 10 menit agar proses pendekripsi lebih stabil. Proses ini disebabkan karena sensor api harus mendekripsi api yang besar, jika api terlalu kecil, sensor api sulit untuk mendekripsi api sehingga menyebabkan sistem pendekripsi yang kurang stabil pada saat proses awal pembakaran sampah.

## **BAB V**

### **PENUTUP**

#### **5.1. Kesimpulan**

Berdasarkan hasil dan pembahasan yang diperoleh pada penelitian, didapat kesimpulan bahwa prototipe sistem penyaringan dan pengukuran asap pembakaran sampah pada mini insinerator berhasil dibuat. Asap yang dihasilkan pada mini insinerator ini sangat minim keluar dari alat, namun hal ini didasarkan pada jenis dan jumlah sampah yang terbakar. Kandungan zat polusi yang berada di asap hasil pembakaran sampah dapat tereduksi dengan baik melalui filter yang telah dibuat terutama pada filter ketiga. Hasil penyaringan pada tahap akhir kedua jenis pembakaran sampah menghasilkan gas karbon monoksida di bawah 5 PPM, gas karbon dioksida di bawah 350 PPM, dan PM2.5 di bawah  $11 \mu\text{g}/\text{m}^3$ . Sehingga proses penyaringan asap pembakaran pada mini insinerator sangat efektif untuk mengurangi polusi yang dihasilkan dari pembakaran sampah dan dapat dijadikan solusi inovatif dalam mengurangi polusi udara yang dihasilkan dari pembakaran sampah.

#### **5.2. Saran**

Berdasarkan hasil penelitian, terdapat beberapa saran yang dapat dipertimbangkan untuk penelitian selanjutnya diantaranya sebagai berikut.

1. Menggunakan ventilasi udara yang lebih besar, sehingga oksigen yang diperlukan dalam pembakaran dapat terpenuhi.
2. Memberikan penanda ketika pembakaran mulai berjalan dan proses penyaringan telah selesai pada penulisan SD *card* agar data mudah terbaca.
3. Menambahkan sistem *Internet of Things* (IoT) agar data dari pembakaran dan penyaringan asap pembakaran sampah langsung terbaca, sehingga tidak perlu mengolah data terlebih dahulu.

## DAFTAR PUSTAKA

- [1] Kaza, S., L. Yao, P. Bhada Tata, F. Van Woerden, T. M. R. Martin, K. R. B. Serrona, R. Thakur, F. Pop, S. Hayashi, G. Solorzano, N. S. Alencastro Larios, R. A. Poveda, and A. Ismail, “What a Waste 2.0 : A Global Snapshot of Solid Waste Management to 2050,” World Bank Group, Washington, D.C., Publication 132827, April 2021. Accessed: September 05, 2024. [Online]. Available: <https://documents.worldbank.org/en/publication/documents-reports/documentdetail/697271544470229584/What-a-Waste-2-0-A-Global-Snapshot-of-Solid-Waste-Management-to-2050>
- [2] Anonim, “Plastic Waste Discharges from Rivers and Coastlines in Indonesia,” World Bank, Washington, D.C., Publication, May 2021. Accessed: July 20, 2024. [Online]. Available: <https://www.worldbank.org/en/country/indonesia/publication/plastic-waste-discharges-from-rivers-and-coastlines-in-indonesia>
- [3] Anonim, “Membenahi Tata Kelola Sampah Nasional,” [Indonesia.go.id](https://indonesia.go.id/kategori/indonesia-dalam-angka/2533/membenahi-tata-kelola-sampah-nasional). Accessed: September 28, 2024. [Online]. Available: <https://indonesia.go.id/kategori/indonesia-dalam-angka/2533/membenahi-tata-kelola-sampah-nasional>
- [4] Mustaghfiroh, U., L. K. Ni'mah, A. Sundusiyah, H. A. Addahlawi, and A. F. Hidayatullah, “Implementasi Prinsip Good Environmental Governance dalam Pengelolaan Sampah Di Indonesia,” *Bina Hukum Lingkungan*, vol. 4, no. 2, pp. 279–291, 2020, doi: <http://dx.doi.org/10.24970/bhl.v4i2.106>.
- [5] Anonim, “Kajian Kebijakan dan Strategi Nasional Percepatan Pengelolaan Persampahan,” Kementerian Koordinator Bidang Perekonomian Republik Indonesia, PT. Arkonin Engineering Manggala Pratama, 2016. [Online]. Available: <https://www.ekon.go.id/source/publikasi/Kajian%20Kebijakan%20dan%20Strategi%20Nasional%20Percepatan%20Pengelolaan%20Persampahan.pdf>
- [6] Andreansyah and O. Sihite, “Potret Manusia dan Sampah Di Medan dalam Karya Fotografi Konseptual,” *Cendikia: Jurnal Pendidikan dan Pengajaran*,

vol. 2, no. 3, pp. 12–36, 2024, doi:  
<https://doi.org/10.572349/cendikia.v2i3.964>.

- [7] Rendi, A. Jainal, F. Herlina, S. Ihsan, B. Hartadi, M. Suprapto, and M. Irfansyah, “Edukasi Pengelolaan Sampah dan Pendampingan Penggunaan Mesin Pembakaran Sampah Di Desa Semangat Dalam,” *Jurnal Pengabdian Al-Ikhlas*, vol. 7, no. 1, pp. 139–144, 2021.
- [8] Jakhar, R., L. Samek, and K. Styszko, “A Comprehensive Study of the Impact of Waste Fires on the Environment and Health,” *Sustainability*, vol. 15, no. 19, p. 14241, January 2023, doi: 10.3390/su151914241.
- [9] Han, S., J. Kim, and S. H. Ko, “Advances in air filtration technologies: structure-based and interaction-based approaches,” *Materials Today Advances*, vol. 9, p. 100134, March 2021, doi: 10.1016/j.mtadv.2021.100134.
- [10] de Almeida, D. S., L. D. Martins, and M. L. Aguiar, “Air pollution control for indoor environments using nanofiber filters: A brief review and post-pandemic perspectives,” *Chemical Engineering Journal Advances*, vol. 11, p. 100330, August 2022, doi: 10.1016/j.ceja.2022.100330.
- [11] Rana, A. K., E. Mostafavi, W. F. Alsanie, S. S. Siwal, and V. K. Thakur, “Cellulose-based materials for air purification: A review,” *Industrial Crops and Products*, vol. 194, p. 116331, April 2023, doi: 10.1016/j.indcrop.2023.116331.
- [12] Qian, H., Y. Fang, K. Wu, H. Wang, B. Li, and F. Jiang, “Air filtration improvement of konjac glucomannan-based aerogel air filters through physical structure design,” *International Journal of Low-Carbon Technologies*, vol. 16, no. 3, pp. 867–872, September 2021, doi: 10.1093/ijlct/ctab011.
- [13] Anitha, M. and L. S. Kumar, “Development of an IoT-Enabled Air Pollution Monitoring and Air Purifier System,” *MAPAN*, vol. 38, no. 3, pp. 669–688, September 2023, doi: 10.1007/s12647-023-00660-y.
- [14] Hananta, M. O., D. L. Antonia, Y. Yuliati, and L. Agustine, “Alat Pendekripsi Penghisap dan Penyaring Asap Rokok,” *Widya Teknik*, vol. 21, no. 1, pp. 51–55, May 2022, doi: 10.33508/wt.v21i1.4204.

- [15] Mourya, R. and V. Rathee, “Arduino based Air Monitoring and Filtration System,” *International Research Journal of Engineering and Technology*, vol. 09, no. 04, pp. 3595–3600, 2022.
- [16] Ramadan, B. S., I. Rachman, N. Ikhlas, S. B. Kurniawan, M. F. Miftahadi, and T. Matsumoto, “A comprehensive review of domestic-open waste burning: recent trends, methodology comparison, and factors assessment,” *Journal of Material Cycles and Waste Management*, vol. 24, no. 5, pp. 1633–1647, September 2022, doi: 10.1007/s10163-022-01430-9.
- [17] Pathak, G., M. Nicther, A. Hardon, and E. Moyer, “The Open Burning of Plastic Wastes is an Urgent Global Health Issue,” *Annals of Global Health*, vol. 90, no. 1, p. 3, doi: 10.5334/aogh.4232.
- [18] Gómez-Sanabria, A., G. Kiesewetter, Z. Klimont, W. Schoepp, and H. Haberl, “Potential for future reductions of global GHG and air pollutants from circular waste management systems,” *Nature Communications*, vol. 13, no. 1, p. 106, January 2022, doi: 10.1038/s41467-021-27624-7.
- [19] Naryanti, R. F., *Teknik Pembakaran*. Malang: Literasi Nusantara, 2021.
- [20] Sutherland, K. S. and G. Chase, *Filters and Filtration Handbook (Fifth edition)*, Fifth edition. Oxford: Elsevier, 2007.
- [21] Sparks, T. and G. Chase, *Filters and Filtration Handbook (Sixth Edition)*, Sixth Edition. Oxford: Elsevier Science, 2015.
- [22] Wahyuningtyas, D. T., S. Sudarti, and Y. Yushardi, “Mekanisme Kinerja Air Purifier Dalam Upaya Pencegahan Polusi Udara,” *SAINTIFIK*, vol. 10, no. 1, Art. no. 1, February 2024, doi: 10.31605/saintifik.v10i1.474.
- [23] Ahmad, J., A. Majdi, A. Al-Fakih, A. F. Deifalla, F. Althoey, M. H. El Ouni, and M. A. El-Shorbagy, “Mechanical and Durability Performance of Coconut Fiber Reinforced Concrete: A State-of-the-Art Review,” *Materials*, vol. 15, no. 10, p. 3601, January 2022, doi: 10.3390/ma15103601.
- [24] Ananda, R., “Pemanfaatan Serat Kelapa Sebagai Alternatif Pengganti Kemasan Berbahan Plastik,” *Jurnal Seni dan Reka Rancang: Jurnal Ilmiah Magister Desain*, vol. 2, no. 1, pp. 1–14, 2019, doi: 10.25105/jsrr.v2i1.10103.

- [25] Ariatma, A. A., A. Kadir, and F. Fahruddin, “Pemanfaatan Limbah Serabut Kelapa Di Desa Korleko Kecamatan Labuhan Haji Kabupaten Lombok Timur,” *Jurnal Warta Desa*, vol. 1, no. 3, 2019, doi: 10.29303/jwd.v1i3.81.
- [26] Sari, R. M., S. Gea, B. Wirjosentono, S. Hendrana, and F. G. Torres, “The effectiveness of coconut coir as tar adsorbent in liquid smoke integrated into the pyrolysis reactor,” *Case Studies in Thermal Engineering*, vol. 25, p. 100907, June 2021, doi: 10.1016/j.csite.2021.100907.
- [27] Vieira, F., H. E. P. Santana, M. Jesus, J. Santos, P. Pires, M. Vaz-Velho, D. P. Silva, and D. S. Ruzene, “Coconut Waste: Discovering Sustainable Approaches to Advance a Circular Economy,” *Sustainability*, vol. 16, no. 7, p. 3066, January 2024, doi: 10.3390/su16073066.
- [28] Esfandiar, N., R. Suri, and E. R. McKenzie, “Simultaneous removal of multiple polycyclic aromatic hydrocarbons (PAHs) from urban stormwater using low-cost agricultural/industrial byproducts as sorbents,” *Chemosphere*, vol. 274, p. 129812, July 2021, doi: 10.1016/j.chemosphere.2021.129812.
- [29] Li, X., H. Han, N. Evangelou, N. J. Wichrowski, P. Lu, W. Xu, S.-J. Hwang, W. Zhao, C. Song, X. Guo, A. Bhan, I. G. Kevrekidis, and M. Tsapatsis, “Machine learning-assisted crystal engineering of a zeolite,” *Nature Communications*, vol. 14, no. 1, p. 3152, May 2023, doi: 10.1038/s41467-023-38738-5.
- [30] Chen, K., Z. Yu, S. H. Mousavi, R. Singh, Q. Gu, R. Q. Snurr, P. A. Webley, and G. K. Li, “Regulating adsorption performance of zeolites by pre-activation in electric fields,” *Nature Communications*, vol. 14, no. 1, p. 5479, September 2023, doi: 10.1038/s41467-023-41227-4.
- [31] Sudarni, S. and H. Haderiah, “Aktivasi Zeolit Dan Karbon Aktif Dalam Menurunkan Kesadahan Air Di Kampung Sapiriakota Makassar,” *Sulolipu: Media Komunikasi Sivitas Akademika dan Masyarakat*, vol. 20, no. 1, pp. 19–23, August 2020, doi: 10.32382/sulolipu.v20i1.1459.
- [32] Jjagwe, J., P. W. Olupot, E. Menya, and H. M. Kalibbala, “Synthesis and Application of Granular Activated Carbon from Biomass Waste Materials for Water Treatment: A Review,” *Journal of Bioresources and Bioproducts*, vol. 6, no. 4, pp. 292–322, November 2021, doi: 10.1016/j.jobab.2021.03.003.

- [33] Kalantar-zadeh, K., *Sensors: An Introductory Course*. Springer Science & Business Media, 2013.
- [34] Alegria, F. A. C., *Sensors And Actuators*. World Scientific, 2021.
- [35] Suharso, A. R., A. Hendartono, and S. Supriyadi, “Characteristics of the MQ-135 Sensor for Testing Medium Speed Ship Engine Exhaust Gases,” *Advance Sustainable Science Engineering and Technology*, vol. 6, no. 3, pp. 0240310–0240310, June 2024, doi: 10.26877/asset.v6i3.615.
- [36] Rombang, I. A., L. B. Setyawan, and G. Dewantoro, “Perancangan Prototipe Alat Deteksi Asap Rokok dengan Sistem Purifier Menggunakan Sensor MQ-135 dan MQ-2,” *Techné : Jurnal Ilmiah Elektroteknika*, vol. 21, no. 1, pp. 131–144, April 2022, doi: 10.31358/techne.v21i1.312.
- [37] Janitra, Y. A., A. Aditya, H. N. Hadi, D. A. P, and S. Widodo, “The Development of Automatic Cigarette Smoke Detection System Using TA12-100 and MQ-135 Sensors,” *Jurnal Techno Nusa Mandiri*, vol. 21, no. 1, pp. 29–36, April 2024, doi: 10.33480/techno.v21i1.5294.
- [38] Umbu, A. B. S., “Analisis Grafik Karakteristik Sensitivitas Sensor MQ-135 untuk Menentukan Persamaan Hubungan antara ppm dan Rs/R<sub>0</sub>,” *Jurnal Teori dan Aplikasi Fisika*, vol. 11, no. 02, pp. 49–60, July 2023, doi: 10.23960/2Fjtaf.v11i2.6656.
- [39] Neamah, F., M. Intisar, Z. Khyioon, and E. Abud, “Capable of Gas Sensor MQ-135 to Monitor the Air Quality with Arduino uno,” *International Journal of Engineering Research and Technology*, vol. 13, pp. 2955–2959, November 2020, doi: 10.37624/IJERT/13.10.2020.2955-2959.
- [40] Saputra, A. and Diana, “Design and Development of a Web-Based Air Quality Monitoring System Utilizing MQ-135 and Arduino,” *POSITIF : Jurnal Sistem dan Teknologi Informasi*, vol. 8, no. 2, pp. 91–97, 2022, doi: 10.31961/positif.v8i2.1414.
- [41] Kobbekaduwa, N., P. Oruthota, and W. R. de Mel, “Calibration and Implementation of Heat Cycle Requirement of MQ-7 Semiconductor Sensor for Detection of Carbon Monoxide Concentrations,” *Advances in Technology*, vol. 1, no. 2, pp. 377–392, September 2021, doi: 10.31357/ait.v1i2.5068.

- [42] Suryadi, K. and B. Fazzry, “Detection and Analysis of CO, CO<sub>2</sub> Exhaust Emissions in Two-Wheeled Motorized Vehicles,” *Protek: Jurnal Ilmiah Teknik Elektro*, vol. 10, no. 3, pp. 132–136, September 2023, doi: 10.33387/protk.v10i3.4497.
- [43] Nurhasanah, Y. I., M. M. Barmawi, and R. Prakarsa, “Implementation of Mean of Maximum on Cigarette Smoke Control in a Room,” *Electrotehnica, Electronica, Automatica*, vol. 70, no. 3, pp. 59–68, September 2022, doi: 10.46904/eea.22.70.3.1108006.
- [44] Rajasekar, D., A. Sekar, and M. Rajasekar, “Air Quality Monitoring and Disease Prediction Using IoT and Machine Learning,” *International Journal of Innovative Research in Computer Science & Technology*, vol. 8, no. 6, pp. 389–395, November 2020.
- [45] Zidni, M., M. H. H. Ichsan, and S. R. Akbar, “Sistem Monitoring Kesehatan Udara menggunakan Sensor MQ7 dan MQ135 terhadap Berbagai Gas Berbahaya pada Mobil,” *Jurnal Pengembangan Teknologi Informasi dan Ilmu Komputer*, vol. 6, no. 9, pp. 4322–4328, September 2022.
- [46] Sari, W. S. U., G. Priyandoko, and D. U. Effendy, “Rancang Bangun Sistem Monitoring Kualitas Udara Pada Ruang Isolasi Covid-19 Berbasis Android Menggunakan Sensor Sharp Gp2y1010au0f,” *JASEE Journal of Application and Science on Electrical Engineering*, vol. 3, no. 02, pp. 1–11, October 2022, doi: 10.31328/jassee.v3i02.204.
- [47] Gurudath, S. V., K. R. P. M, and S. K. G, “Framework and Method for Measurement of Particulate Matter Concentration using Low Cost Sensors,” *International Journal of Advanced Computer Science and Applications (IJACSA)*, vol. 12, no. 12, pp. 854–859, 43/31 2021, doi: 10.14569/IJACSA.2021.01212103.
- [48] Bučar, K., J. Malet, L. Stabile, J. Pražníkar, S. Seeger, and M. Žitnik, “Statistics of a Sharp GP2Y Low-Cost Aerosol PM Sensor Output Signals,” *Sensors*, vol. 20, no. 23, p. 6707, January 2020, doi: 10.3390/s20236707.
- [49] Cho, H. and Y. Baek, “Practical Particulate Matter Sensing and Accurate Calibration System Using Low-Cost Commercial Sensors,” *Sensors*, vol. 21, no. 18, p. 6162, January 2021, doi: 10.3390/s21186162.

- [50] Iswan, I. and M. Mulyadi, “Sistem Pemantauan Debu Secara Real-Time Pada Daerah Pertambangan Batu Bara,” *Journal of Computer System and Informatics (JoSYC)*, vol. 3, no. 4, Art. no. 4, September 2022, doi: 10.47065/josyc.v3i4.2018.
- [51] Siregar, R. F., A. Affandi, R. Rohana, A. R. Nasution, and I. Tanjung, “IoT Smart Control System: Smoke and Fire Detection Using SIM900A Module,” *Journal of Electrical Technology UMY*, vol. 7, no. 2, Art. no. 2, 2023, doi: 10.18196/jet.v7i2.19908.
- [52] Waworundeng, J. M. S., “Desain Sistem Deteksi Asap dan Api Berbasis Sensor, Mikrokontroler dan IoT,” *CogITO Smart Journal*, vol. 6, no. 1, Art. no. 1, July 2020, doi: 10.31154/cogito.v6i1.239.117-127.
- [53] Suhaeb, S., Y. A. Djawad, H. Jaya, Ridwansyah, Sabran, and A. Risal, *Mikrokontroler dan Interface*. Makassar, 2017. Accessed: October 13, 2024. [Online]. Available: <https://reader5.z-library.sk/?source=469d3dff179ced4522e1cdaddfc609a684c7c17a98ed378108510b6b9541f11d>
- [54] Irawan, Y., A. W. Novrianto, and H. Sallam, “Cigarette Smoke Detection And Cleaner Based On Internet Of Things (IoT) Using Arduino Microcontroller And MQ-2 Sensor,” *Journal of Applied Engineering and Technological Science (JAETS)*, vol. 2, no. 2, pp. 85–93, May 2021, doi: 10.37385/jaets.v2i2.218.
- [55] Sofyan, A. and D. Kurniawan, “Indoor Air Monitoring and Filtration Using Arduino-Based Plasma Technology,” *Journal of Technology Informatics and Engineering*, vol. 2, no. 2, pp. 18–38, 2023, doi: 10.51903/jtie.v2i2.167.

## LAMPIRAN A

### KONFIGURASI PIN SENSOR

Tabel A.1 Konfigurasi Pin Sensor

Komponen	Pin Komponen	Pin Arduino Mega	Pin Eksternal
Sensor MQ-7 A	VCC	-	5V modul <i>stepdown</i>
	GND	GND	-
	A0	A0	-
	D0	-	-
Sensor MQ-7 B	VCC	-	5V modul <i>stepdown</i>
	GND	GND	-
	A0	A1	-
	D0	-	-
Sensor MQ-7 C	VCC	-	5V modul <i>stepdown</i>
	GND	GND	-
	A0	A2	-
	D0	-	-
Sensor MQ-135 A	VCC	-	5V modul <i>stepdown</i>
	GND	GND	-
	A0	A3	-
	D0	-	-
Sensor MQ-135 B	VCC	-	5V modul <i>stepdown</i>
	GND	GND	-
	A0	A4	-
	D0	-	-
Sensor MQ-135 C	VCC	-	5V modul <i>stepdown</i>
	GND	GND	-
	A0	A5	-
	D0	-	-
Sensor GP2Y1010AU0F - A	VCC	5V	-
	VO	A12	-
	S-GND	GND	-
	LED	38	-
	LED-GND	GND	-
	V-LED	5V (Resistor)	-
Sensor GP2Y1010AU0F - B	VCC	5V	-
	VO	A13	-
	S-GND	GND	-
	LED	39	-
	LED-GND	GND	-
	V-LED	5V (Resistor)	-
Sensor GP2Y1010AU0F - C	VCC	5V	-
	VO	A14	-

Komponen	Pin Komponen	Pin Arduino Mega	Pin Eksternal
Sensor GP2Y1010AU0F - C	S-GND	GND	-
	LED	40	-
	LED-GND	GND	-
	V-LED	5V (Resistor)	-
Sensor Api KY - 026	VCC	5V	-
	GND	GND	-
	A0	3	-
	D0	-	-
Modul Relay 1 Channel	VCC	5V	-
	IN	5	-
	GND	GND	-
Modul SD Card	CS	10	-
	SCK	13	-
	MOSI	11	-
	MISO	12	-
	VCC	5V	-
	GND	GND	-
LED Merah	GND	GND	-
	VCC	7(Resistor)	-
LED Hijau	GND	GND	-
	VCC	8(Resistor)	-
LED Kuning	GND	GND	-
	VCC	6(Resistor)	-
Modul RTC DS3231	32K	-	-
	SQW	-	-
	SCL	21	-
	SDA	20	-
	VCC	5V	-
	GND	GND	-

## **LAMPIRAN B LISTING CODE**

*Listing code* pada penelitian ini dapat dilihat pada github pada tautan berikut.

<https://github.com/adhaldiyansyah/Prototype-of-Waste-Incineration-Smoke-Filtration-and-Measurement-System-on-Mini-Incinerator/tree/main/Code>

atau dapat di *scan* pada kode QR berikut.



## LAMPIRAN C

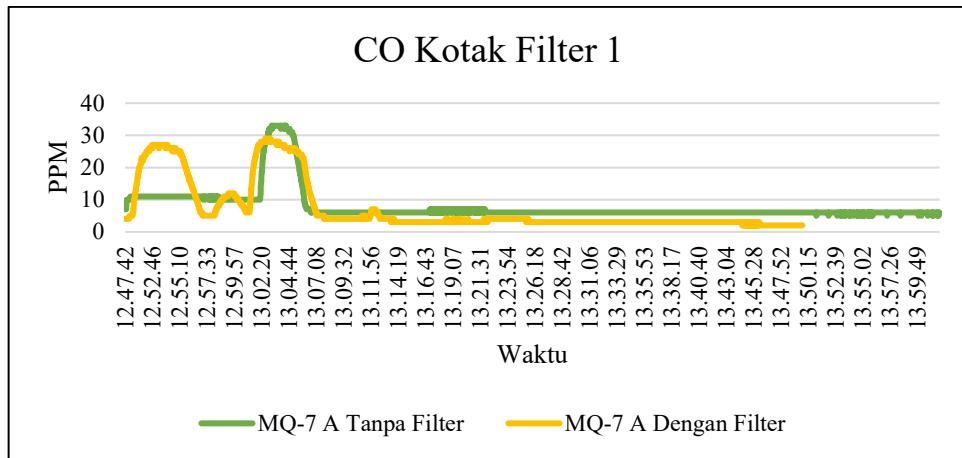
### HASIL PENELITIAN

Tanggal	Waktu	MQ-7 A	MQ-7 B	MQ-7 C	MQ-135 A	MQ-135 B	MQ-135 C	Satuan	GP2Y1010, GP2Y1010, GP2Y1010, Satuan	Nilai
17/06/2025	12.35.49	06.00	05.00	03.00	461.07.00	226.07.00	555.06.00	ppm	45.08.00	00.00
17/06/2025	12.35.50	06.00	05.00	03.00	468.09.00	226.07.00	487.09.00	ppm	48.04.00	00.00
17/06/2025	12.35.51	06.00	05.00	03.00	498.01.00	226.07.00	600.00.00	ppm	48.09.00	00.00
17/06/2025	12.35.52	06.00	05.00	03.00	470.01.00	226.07.00	622.09.00	ppm	47.00.00	00.00
17/06/2025	12.35.53	06.00	05.00	03.00	454.07.00	226.07.00	503.07.00	ppm	47.04.00	00.00
17/06/2025	12.35.54	06.00	05.00	03.00	481.02.00	226.07.00	547.09.00	ppm	46.03.00	00.00
17/06/2025	12.35.55	06.00	05.00	03.00	499.02.00	226.07.00	654.07.00	ppm	46.09.00	00.00
17/06/2025	12.36.09	00.00	00.00	00.01	87.08.00	65.00.00	65.00.00	ppm	00.00	00.00
17/06/2025	12.37.41	00.00	00.00	00.02	90.08.00	72.04.00	66.02.00	ppm	00.00	00.00
17/06/2025	12.38.40	00.00	00.00	00.01	87.07.00	65.00.00	65.00.00	ppm	00.00	00.00
17/06/2025	12.47.42	05.00	04.00	01.00	472.04.00	200.06.00	422.03.00	ppm	59.03.00	00.00
17/06/2025	12.47.42	05.03	04.03	01.09	473.06.00	202.07.00	428.09.00	ppm	60.07.00	00.00
17/06/2025	12.47.43	05.07	03.08	03.04	468.01.00	203.07.00	458.05.00	ppm	61.03.00	00.00
17/06/2025	12.47.44	05.00	04.00	03.00	494.03.00	203.07.00	619.05.00	ppm	65.08.00	00.00
17/06/2025	12.47.45	05.00	04.00	03.00	493.09.00	203.07.00	699.02.00	ppm	63.02.00	00.00
17/06/2025	12.47.46	05.00	04.00	03.00	459.03.00	203.07.00	589.06.00	ppm	69.02.00	00.00
17/06/2025	12.47.46	05.00	04.00	03.00	464.04.00	203.07.00	598.07.00	ppm	69.03.00	00.00
17/06/2025	12.50.30	08.00	06.00	01.00	408.00.00	214.03.00	253.00.00	ppm	196.06.00	313.07.00
17/06/2025	12.50.31	08.00	06.00	04.00	468.04.00	278.05.00	429.08.00	ppm	198.09.00	312.05.00
17/06/2025	12.50.32	08.00	06.00	03.02	488.08.00	282.04.00	573.08.00	ppm	198.09.00	304.06.00
17/06/2025	12.50.33	08.00	06.00	03.00	503.02.00	282.04.00	561.06.00	ppm	198.05.00	316.03.00
17/06/2025	12.50.34	08.00	06.00	03.01	496.03.00	287.07.00	529.00.00	ppm	197.09.00	312.00.00
17/06/2025	12.50.35	08.00	06.00	03.01	476.05.00	292.08.00	549.05.00	ppm	196.06.00	302.05.00
17/06/2025	12.50.36	08.00	06.08	03.00	468.09.00	298.09.00	545.06.00	ppm	197.02.00	292.07.00
17/06/2025	12.50.37	08.00	07.00	03.00	456.00.00	303.09.00	491.00.00	ppm	195.03.00	284.01.00
17/06/2025	12.50.38	08.00	07.00	03.00	461.02.00	309.00.00	507.02.00	ppm	197.01.00	280.03.00

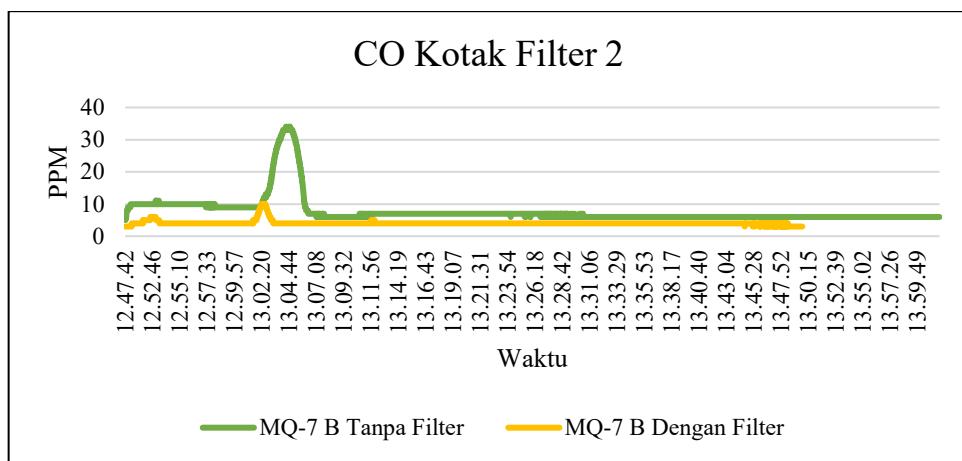
Gambar C.1 Pembacaan Zat Polutan yang Belum Stabil

Tabel C.1 Data Pembakaran Sampah Kertas

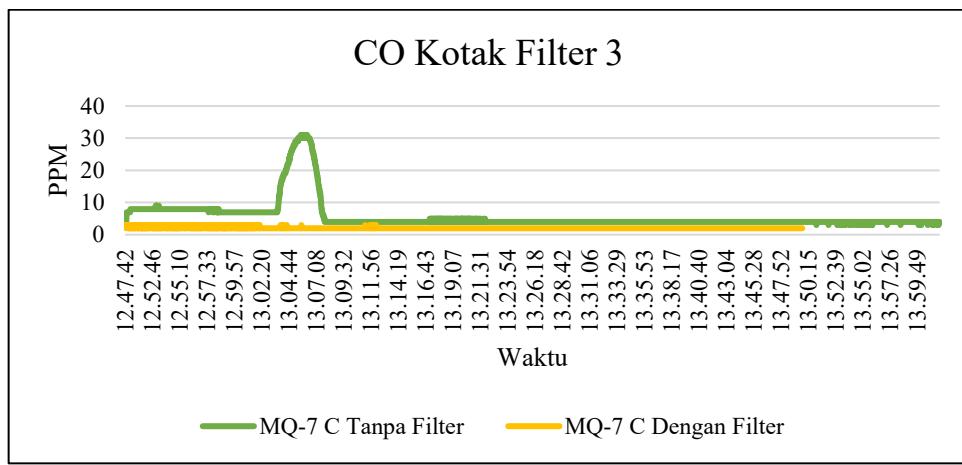
Zat Polutan	Pembakaran Tanpa Filter			Pembakaran Dengan Filter		
	Durasi Pembakaran: 1:14:03			Durasi Pembakaran: 59:51		
	Kondisi Awal	Kenaikan Zat Polutan	Kondisi Akhir	Kondisi Awal	Kenaikan Zat Polutan	Kondisi Akhir
<b>Kotak Filter 1</b>						
CO A	7 PPM	33 PPM	6 PPM	4 PPM	29 PPM	2 PPM
CO2 A	522 PPM	1331 PPM	499 PPM	510 PPM	1018 PPM	490 PPM
PM2.5 A	196 $\mu\text{g}/\text{m}^3$	198 $\mu\text{g}/\text{m}^3$	68 $\mu\text{g}/\text{m}^3$	123 $\mu\text{g}/\text{m}^3$	125 $\mu\text{g}/\text{m}^3$	39 $\mu\text{g}/\text{m}^3$
<b>Kotak Filter 2</b>						
CO B	6 PPM	34 PPM	6 PPM	3 PPM	10 PPM	3 PPM
CO2 B	504 PPM	1313 PPM	501 PPM	408 PPM	614 PPM	400 PPM
PM2.5 B	68 $\mu\text{g}/\text{m}^3$	181 $\mu\text{g}/\text{m}^3$	50 $\mu\text{g}/\text{m}^3$	79 $\mu\text{g}/\text{m}^3$	82 $\mu\text{g}/\text{m}^3$	26 $\mu\text{g}/\text{m}^3$
<b>Kotak Filter 3</b>						
CO C	4 PPM	31 PPM	4 PPM	3 PPM	3 PPM	2 PPM
CO2 C	520 PPM	1213 PPM	518 PPM	350 PPM	458 PPM	340 PPM
PM2.5 C	53 $\mu\text{g}/\text{m}^3$	123 $\mu\text{g}/\text{m}^3$	71 $\mu\text{g}/\text{m}^3$	15 $\mu\text{g}/\text{m}^3$	27 $\mu\text{g}/\text{m}^3$	10 $\mu\text{g}/\text{m}^3$



(a)

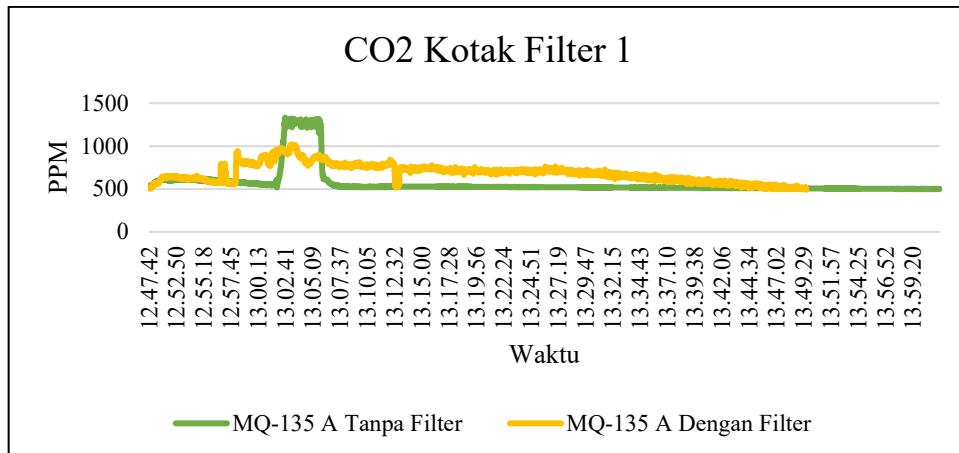


(b)

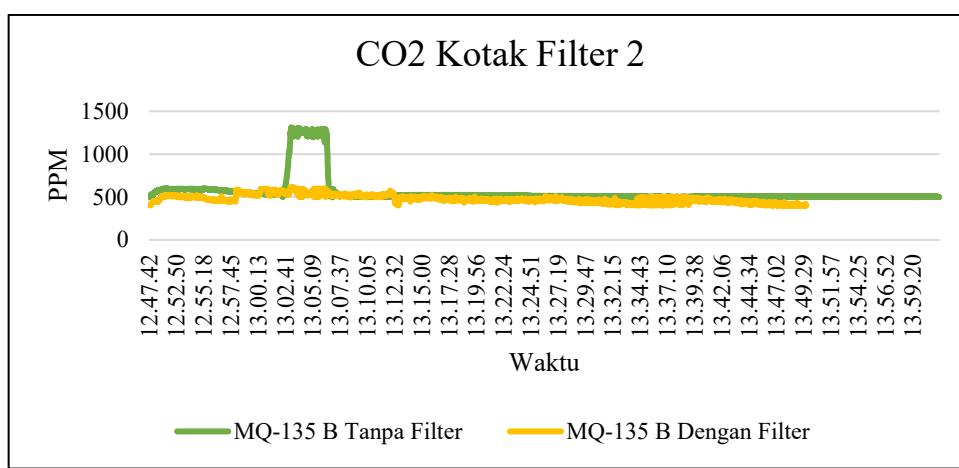


(c)

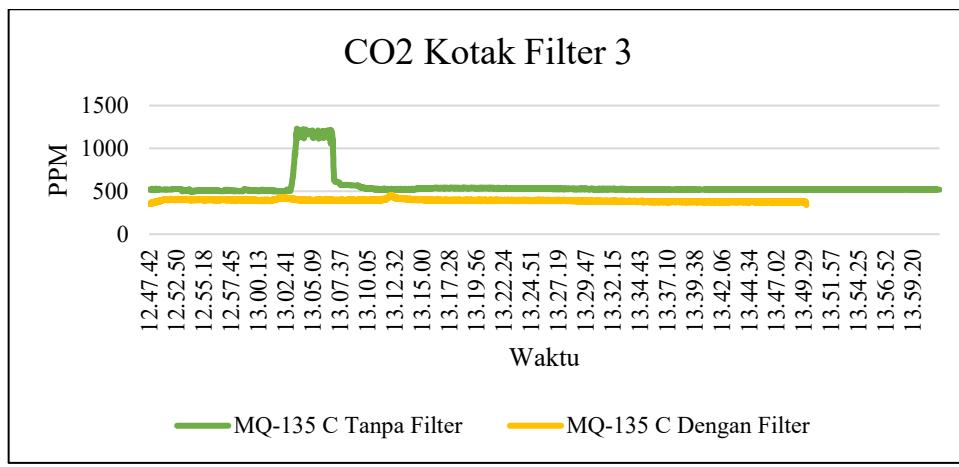
Gambar C.2 Kandungan Gas CO Pada Pengujian Pembakaran Sampah Kertas Tanpa Filter dan Dengan filter: (a) Data gas CO pada kotak filter 1; (b) Data gas CO pada kotak filter 2; (c) Data gas CO pada kotak filter 3.



(a)

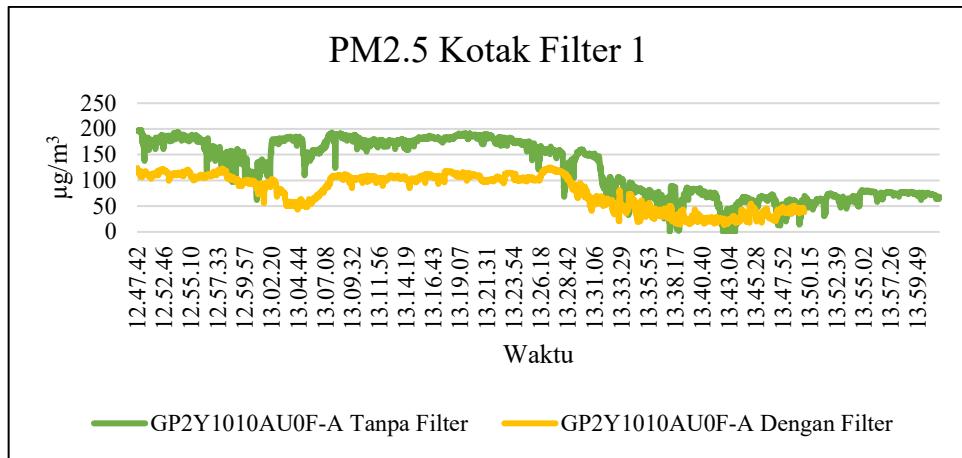


(b)

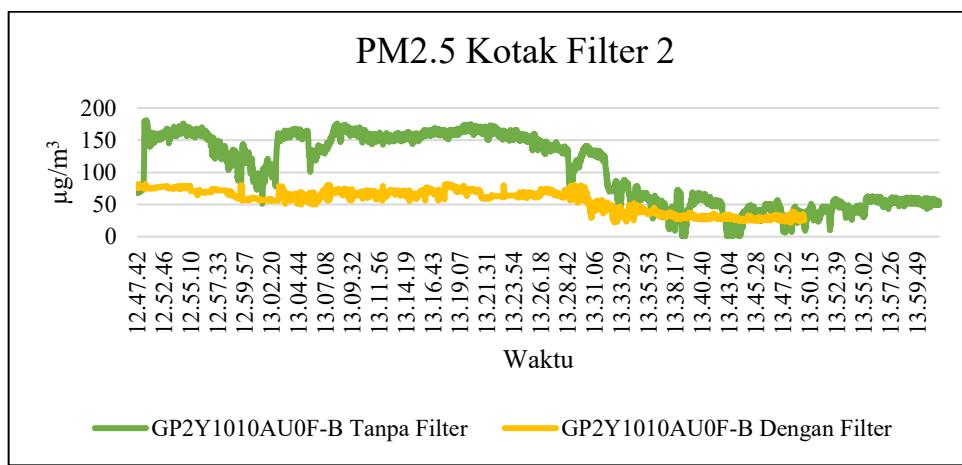


(c)

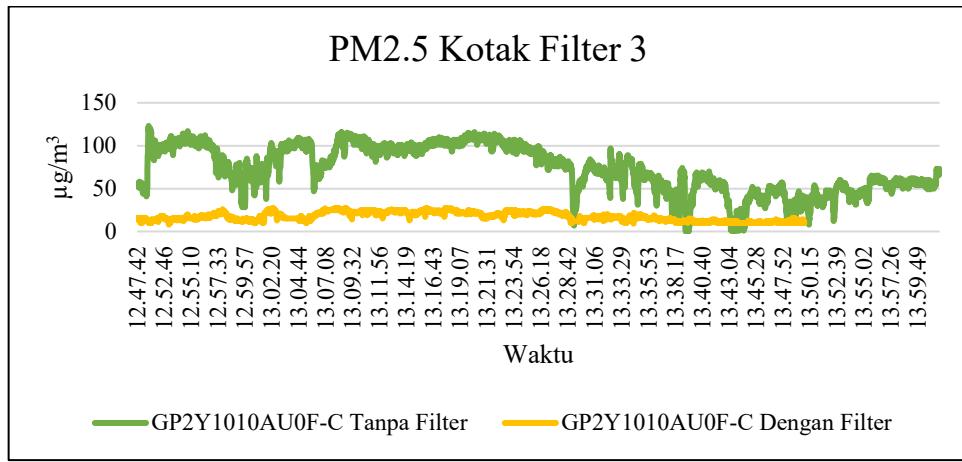
Gambar C.3 Kandungan Gas CO<sub>2</sub> Pada Pengujian Pembakaran Sampah Kertas Tanpa Filter dan Dengan filter: (a) Data gas CO<sub>2</sub> pada kotak filter 1; (b) Data gas CO<sub>2</sub> pada kotak filter 2; (c) Data gas CO<sub>2</sub> pada kotak filter 3.



(a)



(b)

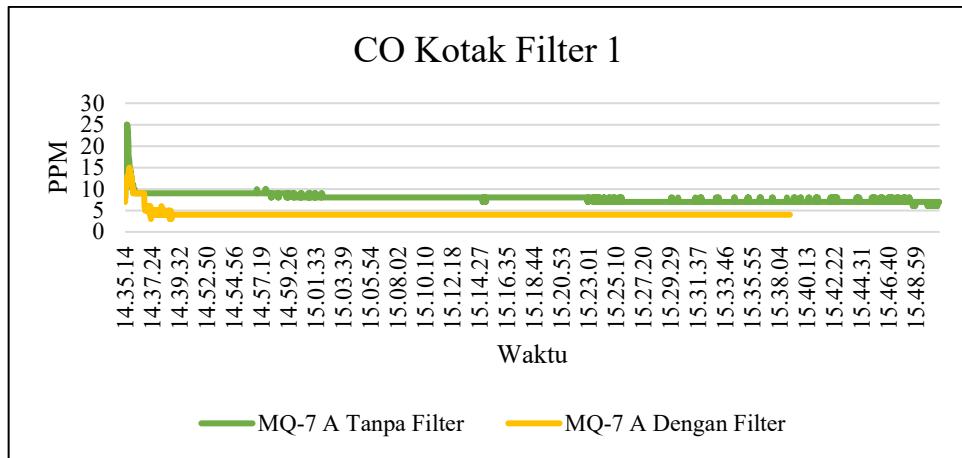


(c)

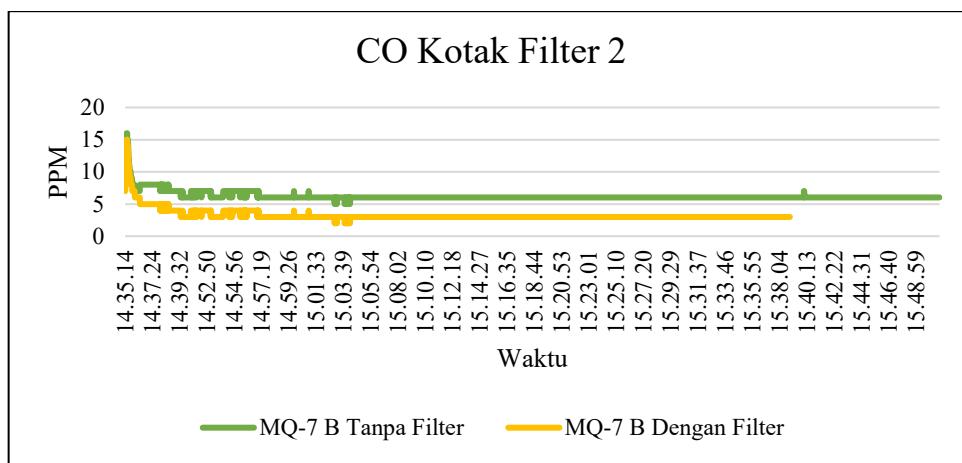
Gambar C.4 Kandungan PM2.5 Pada Pengujian Pembakaran Sampah Kertas Tanpa Filter dan Dengan filter: (a) Data PM2.5 pada kotak filter 1; (b) Data PM2.5 pada kotak filter 2; (c) Data PM2.5 pada kotak filter 3.

Tabel C.2 Data Pengujian Pembakaran Sampah Plastik

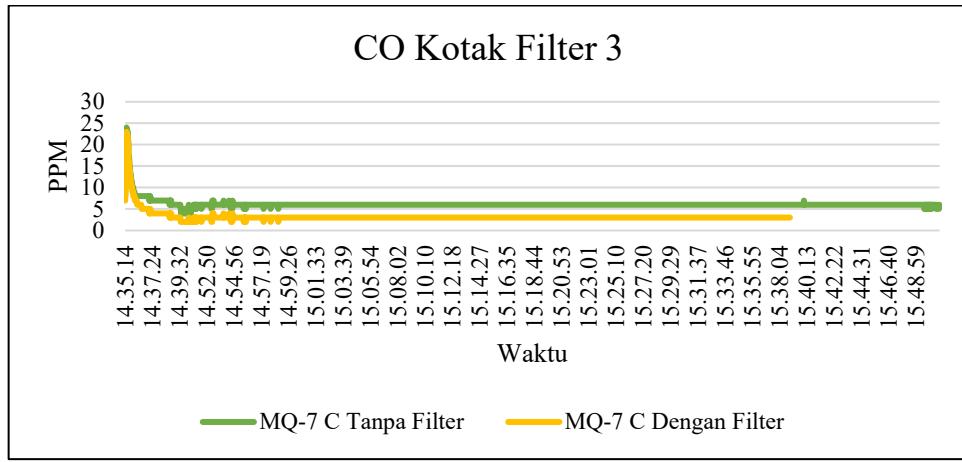
Zat Polutan	Pembakaran Tanpa Filter			Pembakaran Dengan Filter		
	Durasi Pembakaran: 1:14:36			Durasi Pembakaran: 52:41		
	Kondisi Awal	Kenaikan Zat Polutan	Kondisi Akhir	Kondisi Awal	Kenaikan Zat Polutan	Kondisi Akhir
<b>Kotak Filter 1</b>						
<b>CO A</b>	8 PPM	25 PPM	7 PPM	7 PPM	15 PPM	4 PPM
<b>CO2 A</b>	599 PPM	882 PPM	784 PPM	516 PPM	829 PPM	495 PPM
<b>PM2.5 A</b>	36 $\mu\text{g}/\text{m}^3$	171 $\mu\text{g}/\text{m}^3$	55 $\mu\text{g}/\text{m}^3$	36 $\mu\text{g}/\text{m}^3$	87 $\mu\text{g}/\text{m}^3$	20 $\mu\text{g}/\text{m}^3$
<b>Kotak Filter 2</b>						
<b>CO B</b>	8 PPM	16 PPM	6 PPM	7 PPM	15 PPM	3 PPM
<b>CO2 B</b>	574 PPM	757 PPM	718 PPM	426 PPM	488 PPM	464 PPM
<b>PM2.5 B</b>	23 $\mu\text{g}/\text{m}^3$	158 $\mu\text{g}/\text{m}^3$	42 $\mu\text{g}/\text{m}^3$	10 $\mu\text{g}/\text{m}^3$	54 $\mu\text{g}/\text{m}^3$	10 $\mu\text{g}/\text{m}^3$
<b>Kotak Filter 3</b>						
<b>CO C</b>	8 PPM	24 PPM	6 PPM	7 PPM	23 PPM	3 PPM
<b>CO2 C</b>	570 PPM	698 PPM	668 PPM	312 PPM	374 PPM	349 PPM
<b>PM2.5 C</b>	20 $\mu\text{g}/\text{m}^3$	150 $\mu\text{g}/\text{m}^3$	34 $\mu\text{g}/\text{m}^3$	10 $\mu\text{g}/\text{m}^3$	13 $\mu\text{g}/\text{m}^3$	8 $\mu\text{g}/\text{m}^3$



(a)

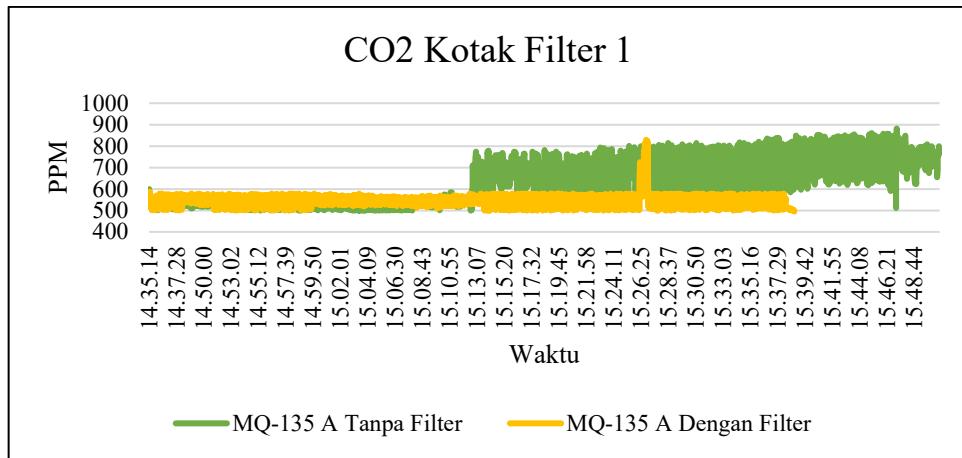


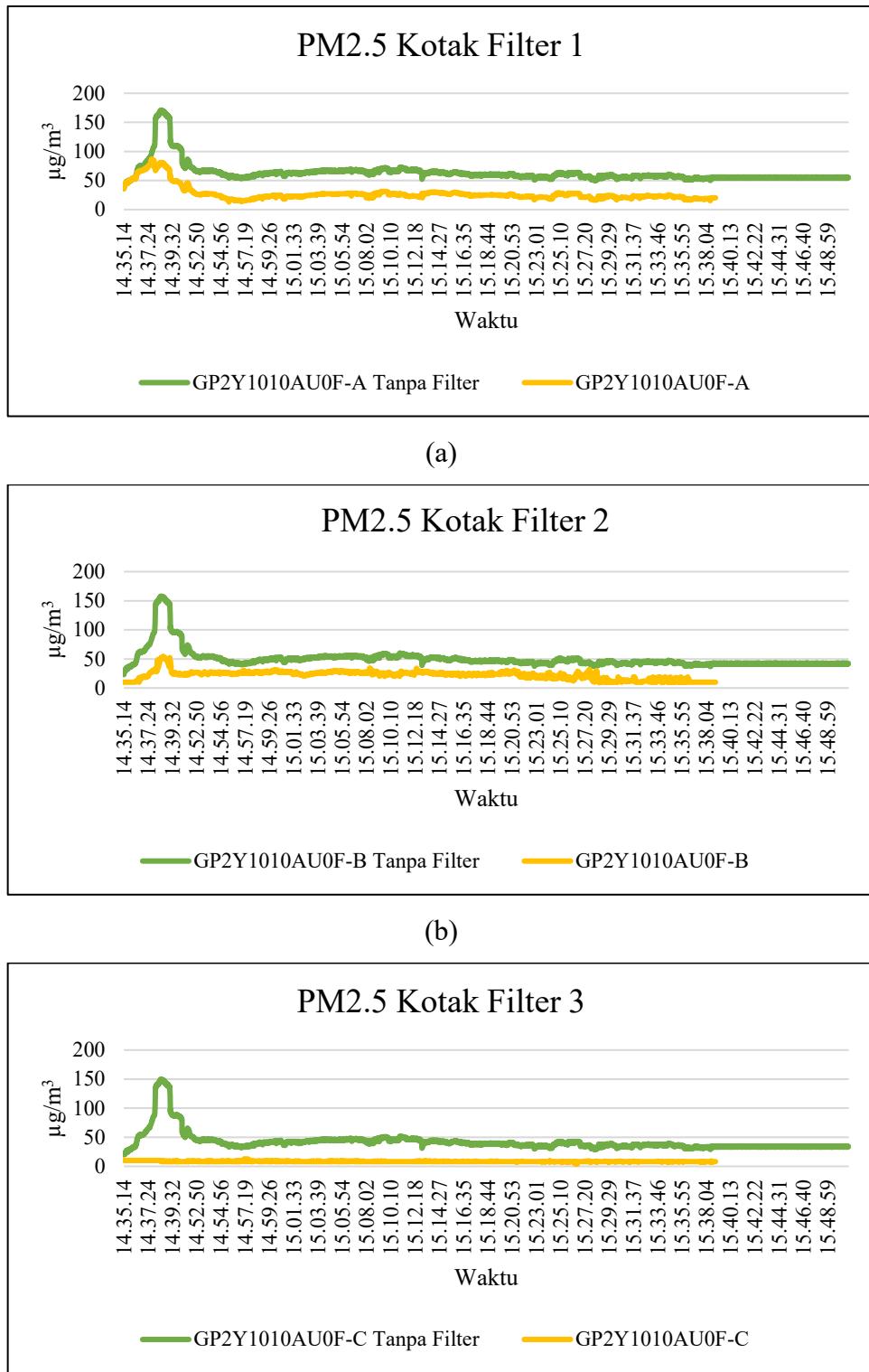
(b)



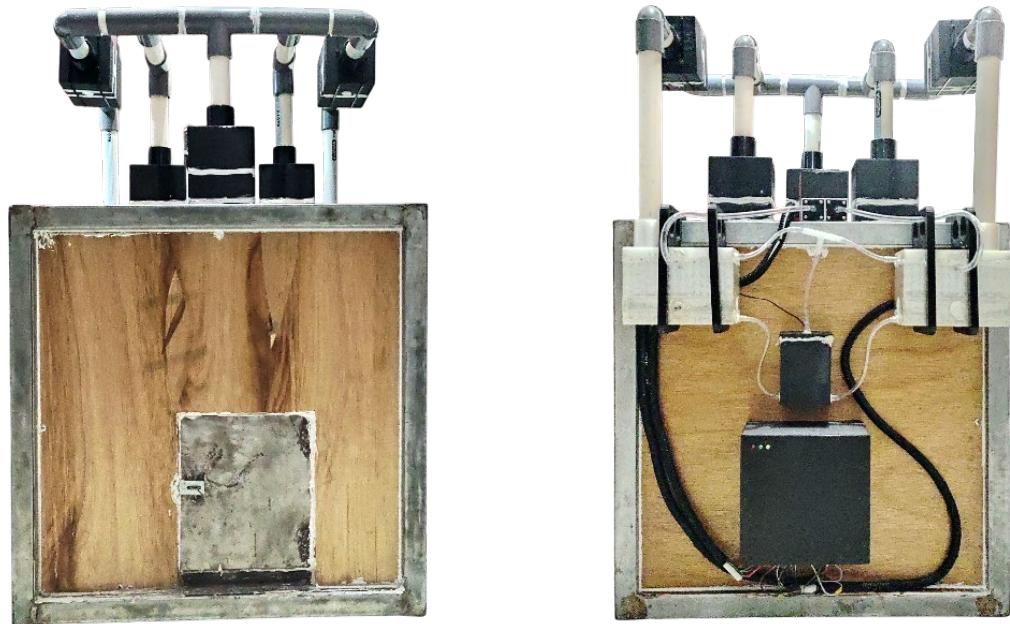
(c)

Gambar C.5 Kandungan Gas CO Pada Pengujian Pembakaran Sampah Plastik Tanpa Filter dan Dengan filter: (a) Data gas CO pada kotak filter 1; (b) Data gas CO pada kotak filter 2; (c) Data gas CO pada kotak filter 3.





Gambar C.7 Kandungan PM2.5 Pada Pengujian Pembakaran Sampah Plastik Tanpa Filter dan Dengan filter: (a) Data PM2.5 pada kotak filter 1; (b) Data PM2.5 pada kotak filter 2; (c) Data PM2.5 pada kotak filter 3.



(a)

(b)



(c)

Gambar C.8 Hasil Perancangan Alat: (a) Tampilan alat tampak depan; (b) Tampilan alat tampak belakang; (c) Tampilan alat tampak samping



(a)



(b)

Gambar C.9 Residu Pembakaran Sampah Kertas dan Plastik: (a) Residu abu dan sisa kertas ; (b) Residu lelehan plastik



Gambar C.10 Sisa Sampah Kertas yang Tidak Terbakar Habis



Gambar C.11 Cairan yang Dihasilkan Dari Pembakaran Sampah Tanpa Filter