

RANCANG BANGUN MESIN PEMBAKARAN SAMPAH OTOMATIS BERBASIS ARDUINO DENGAN FILTER ASAP

Erwin Dhaniswara¹⁾, Eddy Lybrech Talakua²⁾, Hakim Amrulloh³⁾ Tamaji⁴⁾
^{1,2,3,4)} Jurusan Teknik Elektro, Fakultas Teknik, Universitas Widya Kartika
Jl. Sutorejo Prima Utara II No. 1, Kalisari, Kec. Mulyorejo, Surabaya, Jawa Timur 60112
E-mail : ¹⁾Email: erwin.dhaniswara@gmail.com, ²⁾eddytalakua@widyakartika.ac.id, ³⁾
hakimamrulloh8@gmail.com, ⁴⁾tamaji@widyakartika.ac.id,

ABSTRAK

Peningkatan volume sampah rumah tangga di Indonesia memicu pencemaran udara akibat pembakaran terbuka yang tidak terkontrol. Salah satu solusi untuk mengatasi masalah tersebut adalah penggunaan mesin incinerator yang mampu mengurangi volume sampah secara signifikan. Penelitian ini bertujuan untuk merancang dan mengimplementasikan mesin pembakar sampah otomatis berbasis Arduino dengan sistem filter asap berbasis air untuk menekan emisi karbon hasil pembakaran. Metode penelitian meliputi perancangan sistem kontrol otomatis menggunakan Arduino Nano, perakitan tungku pembakaran berkapasitas 10 kg, serta pengujian performa suhu dan efisiensi filter asap terhadap berbagai jenis sampah organik dan anorganik. Hasil pengujian menunjukkan bahwa sistem incinerator mampu beroperasi pada suhu 250–550°C dengan suhu maksimum 850°C, serta mampu menurunkan emisi karbon hingga 30% dibandingkan pembakaran tanpa filter. Asap hasil pembakaran tampak lebih putih dan berkurang volumenya, menunjukkan efektivitas sistem penyaringan berbasis air. Kebaruan penelitian ini terletak pada integrasi sistem kontrol otomatis dengan teknologi filter air pada incinerator rumah tangga, yang belum banyak dikembangkan dalam penelitian sebelumnya. Sistem ini berpotensi menjadi alternatif ramah lingkungan untuk pengelolaan sampah rumah tangga skala kecil.

Kata kunci: Incinerator, Arduino, Filter Asap, Emisi Karbon, Pengelolaan Sampah.

ABSTRACT

The increasing volume of household waste in Indonesia has led to severe air pollution caused by uncontrolled open burning. One effective solution to address this problem is the use of incinerator machines that can significantly reduce waste accumulation. This study aims to design and implement an automatic waste incinerator based on Arduino with a water-based smoke filter system to reduce carbon emissions from the combustion process. The research method includes designing an automatic control system using an Arduino Nano, assembling a 10-kg capacity combustion chamber, and testing temperature performance and filter efficiency for various types of organic and inorganic waste. The experimental results show that the incinerator operates at temperatures between 250°C and 550°C with a maximum of 850°C, and is capable of reducing carbon emissions by approximately 30% compared to incineration without a filter. The filtered exhaust gas appears whiter and less dense, indicating the effectiveness of the water-based filtration system. The novelty of this study lies in integrating an automatic control system with a water-based smoke filter in a household-scale incinerator, which has not been widely explored in previous research. This system offers an environmentally friendly alternative for small-scale household waste management.

Keywords: Incinerator, Arduino, Smoke Filter, Carbon Emission, Waste Management.

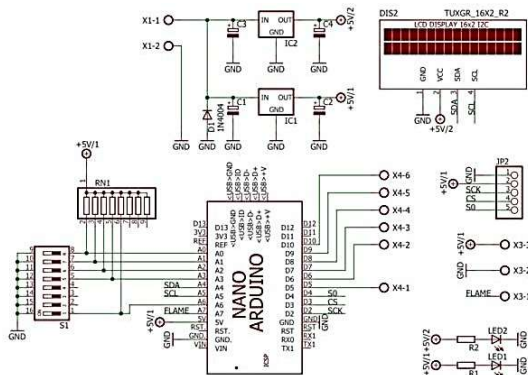
1. PENDAHULUAN

Pertumbuhan populasi yang pesat berimbas pada meningkatnya berbagai kebutuhan, yang pada akhirnya juga meningkatkan jumlah limbah yang dihasilkan, baik dari konsumsi sehari-hari maupun aktivitas lainnya. Menurut data dari Sistem Informasi Pengelolaan Sampah Nasional (SIPSN) yang dikeluarkan oleh Kementerian Lingkungan Hidup dan Kehutanan (KLHK), Indonesia memproduksi sebanyak 19,45 juta ton sampah pada tahun 2022. Sebagian besar dari limbah tersebut, yakni sebesar 39,63%, berasal dari rumah tangga. Di Jawa Timur, pada tahun yang sama, jumlah sampah yang dihasilkan mencapai 1,63 juta ton, dengan kontribusi terbesar berasal dari sampah rumah tangga. Limbah rumah tangga ini dapat berdampak negatif terhadap kualitas air, lingkungan dan tumbuhan di sekitarnya. Selain itu, sampah yang tidak dikelola dengan baik dapat menimbulkan bau yang tidak sedap dan menjadi sarang bagi serangga, tikus, serta hewan lainnya, yang berpotensi menyebarkan penyakit. Bencana yang disebabkan oleh sampah yang tercatat periode bulan Juni - Oktober tahun 2023 adalah kebakaran [1][2]. Upaya penanggulangan yang dapat dilakukan salah satunya adalah mengurangi penumpukan sampah dalam jumlah besar yakni dengan incinerasi atau pembakaran menggunakan suatu mesin pembakar sampah[3][4]. Mesin pembakar sampah menggunakan tungku sebagai media pembakar. Tungku berfungsi sebagai wadah untuk proses pembakaran sampah. Agar dapat mencapai reduksi maksimum, diperlukan ruang bakar yang memiliki suhu tinggi, melebihi titik bakar dari sampah tersebut, sehingga sampah dapat terbakar sepenuhnya[5] [6]. Namun, semakin intensif proses pembakaran, semakin besar pula polusi yang dihasilkan, terutama berupa asap. Asap ini berdampak negatif terhadap kualitas udara, cuaca, dan lapisan ozon. Oleh karena itu, penting untuk mengurangi polusi asap berwarna hitam pekat yang dihasilkan dari pembakaran sampah guna mengurangi risiko kesehatan yang ditimbulkan. Saat ini,

banyak orang masih melakukan pembakaran sampah secara manual, yang memerlukan persiapan yang cukup banyak dan tidak semua orang dapat melakukannya dengan mudah. Untuk mengatasi kendala tersebut, banyak yang beralih ke otomatisasi, yang bertujuan untuk mempermudah pengoperasian. Salah satu komponen otomatisasi yang banyak digunakan adalah Arduino. Arduino adalah perangkat kontrol yang dapat diprogram untuk mengatur proses atau operasi mesin [6]. Dengan Arduino, kontrol dilakukan dengan cara menganalisis sinyal input dan mengatur output sesuai keinginan pengguna [7][8][10][9][10]. Dalam penelitian ini, penggunaan Arduino tidak hanya dimaksudkan untuk mengotomatisasi proses pembakaran, tetapi juga untuk mengatur suplai udara, bahan bakar, dan waktu penyalakan api secara presisi. Tujuan utama penerapan Arduino adalah untuk mempercepat proses pembakaran sekaligus meminimalkan timbulnya asap melalui kontrol suhu dan laju pembakaran yang lebih stabil dan terukur. Penggunaan Arduino menawarkan efisiensi yang lebih tinggi dan kemudahan dalam perawatan, sehingga dalam banyak proses kerja, kita tidak perlu bergantung sepenuhnya pada tenaga manusia, melainkan dapat memanfaatkan mesin yang dioperasikan oleh manusia sebagai pengontrolnya[11]. Untuk itu diambil ide penelitian rancang bangun mesin pembakar sampah berbasis Arduino dengan filter asap dari latar belakang peningkatan sampah, meningkatnya karbon hasil pembakaran sampah, dan mempermudah dalam proses pembakaran sampah. Cara kerja mesin ini adalah membakar sampah dengan menggunakan sistem otomatis menggunakan Arduino Nano sebagai kontrol utama sehingga dalam pengoperasiannya tidak perlu lagi menyalakan api secara manual. Dalam proses pembakaran dihasilkan asap, fungsi pemakaian filter pada mesin pembakar sampah ini bertujuan untuk mengurasi emisi karbon dari asap yang akan dilepaskan ke udara.

2. METODE PENELITIAN

Metodologi penelitian dilaksanakan dengan tahapan studi literatur, merancang rangkaian elektronik, implementasi rangkaian elektronik, merancang perangkat lunak, dan melakukan pengujian. Kemudian penulisan laporan skripsi dan pembuatan makalah ilmiah. Alur metodologi penelitian diperlihatkan pada Gambar 2.1 bawah ini.



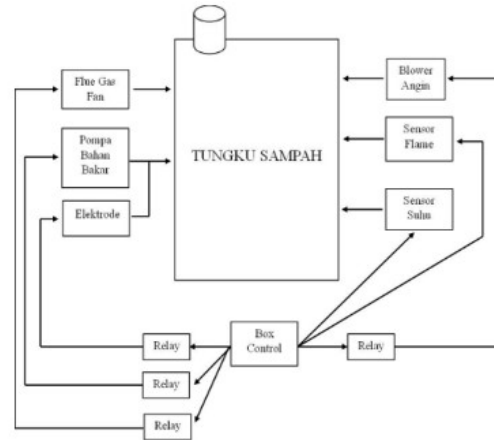
Gambar 2.1 Sketsa Rangkaian Kontrol

Metode penelitian ini diawali dengan tahapan studi literatur untuk mengidentifikasi teknologi pengendalian pembakaran yang relevan, khususnya terkait penggunaan mikrokontroler Arduino dalam sistem otomatisasi. Tahap berikutnya adalah proses perancangan sistem, yang meliputi penyusunan skema rangkaian kontrol seperti ditunjukkan pada Gambar 2.1. Pada tahap ini dilakukan pemilihan dan konfigurasi komponen elektronika seperti catu daya, sensor, aktuator, serta modul tampilan untuk memastikan kesesuaian dengan kebutuhan operasional incinerator. Implementasi rangkaian elektronik kemudian dilakukan dengan merakit seluruh blok sistem sesuai skema, termasuk pengkabelan sensor suhu, sensor gas, flame sensor, pengendali pompa bahan bakar, blower, dan pemantik. Selanjutnya, perangkat lunak dirancang untuk mengatur aliran data dari sensor menuju Arduino dan menghasilkan sinyal kontrol menuju aktuator secara otomatis. Setelah seluruh sistem terintegrasi, dilakukan pengujian kinerja untuk memastikan rangkaian berfungsi secara stabil sesuai parameter desain, meliputi pembacaan sensor, respons kontrol, serta kestabilan suplai daya. Tahap akhir

meliputi analisis hasil dan penyusunan laporan ilmiah.

2.1 Perancangan Sistem

Sistem yang digunakan pada penelitian ini dijelaskan melalui gambar diagram blok di bawah ini :

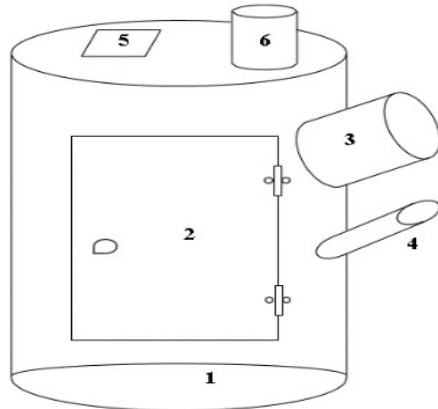


Gambar 2.2 Diagram Blok Sistem

Pada gambar 2.2 dapat dilihat bahwa blok diagram tersebut terdapat beberapa komponen yang digunakan. Komponen yang telah disebutkan berguna untuk menunjang sistem mesin pembakar sampah atau incinerator. Blok diagram diatas menggunakan *box control* sebagai pengontrol utama semua komponen, yang nantinya semua komponen untuk *start* dan *stop* tergantung pada *box control*. Komponen - komponen tersebut adalah sebagai berikut. Sistem incinerator otomatis pada penelitian ini menggunakan beberapa komponen utama dengan spesifikasi teknis sebagai berikut. Sensor suhu yang digunakan adalah thermocouple tipe K, yang mampu bekerja pada rentang suhu tinggi lebih dari 1000°C dan sesuai untuk pemantauan kondisi ruang bakar[11], [12]. Sistem suplai udara menggunakan smoke pump atau blower 12V, yang berfungsi memasok udara untuk mempertahankan proses oksidasi di dalam tungku. Untuk proses pengabutan bahan bakar, digunakan Done Oil Pump Nozzle yang menghasilkan partikulat bahan bakar halus sehingga pembakaran dapat berlangsung lebih cepat dan stabil. Pemantauan kondisi gas dilakukan menggunakan sensor MQ-8, yang

sensitif terhadap gas hidrogen sebagai salah satu produk samping proses termal tertentu. Seluruh komponen dikendalikan oleh Arduino Nano, yang mengatur pembacaan sensor dan kerja aktuator pada sistem incinerator.

2.2 Tungku Incinerator



Gambar 2.3 Tungku Pembakaran

Pada gambar 2.3 adalah rangka untuk membuat tungku mesin pembakar sampah dan bahan yang digunakan adalah drum yang mempunyai volume 209 liter. Untuk bahan plat besinya memiliki tebal 2 mm, alasannya agar bisa tahan di suhu 650 – 1000 oC. dimana telah dijelaskan pada bab 2 titik leleh besi 1.565°C -2.862°C. Pada gambar diatas ada penomoran setiap bagian tungku, berikut nama dan kegunaannya:

1. Tungku mesin bakar yang berfungsi untuk membakar sampah.
2. Pintu untuk memasukkan sampah yang akan dibakar dan untuk mengeluarkan abu sisa pembakaran sampah.
3. Tempat untuk meletakkan pematik dan nozzle bahan bakar fungsinya untuk membuat api agar sampah bisa terbakar.
4. Tempat meletakkan sensor flame yang berfungsi untuk mendeteksi ada dan tidaknya api di dalam tungku mesin pembakar sampah.
5. Blower angin yang berfungsi menghisap udara dari luar tungku untuk dimasukkan ke dalam tungku yang gunanya untuk menstabilkan api di dalam tungku.

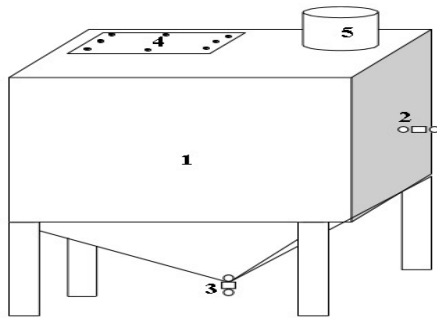
6. Cerobong asap berfungsi sebagai jalan keluar asap hasil pembakaran didalam tungku mesin pembakar sampah.

2.3 Filter Asap

Pemilihan filter air pada sistem incinerator ini didasarkan pada kemampuan filtrasi berbasis mekanisme wet scrubbing, yaitu proses penurunan suhu asap dan penangkapan partikulat melalui kontak langsung antara asap panas dan air. Pendinginan ini menyebabkan sebagian partikel karbon mengalami kondensasi dan deposisi ke dalam media air, sehingga konsentrasi polutan yang dilepas ke udara menjadi lebih rendah. Sementara itu, filter asap digunakan sebagai tahap sekunder untuk mengarahkan aliran asap melalui jalur berlekuk sehingga kecepatan aliran menurun dan memungkinkan partikel tersuspensi yang belum tersaring pada tahap awal mengalami presipitasi tambahan. Kombinasi kedua filter ini dipilih karena lebih aman, sederhana, dan ekonomis dibandingkan sistem filtrasi industri berbasis elektrostatik atau katalitik, namun tetap mampu mengurangi suhu gas buang dan menurunkan kandungan partikulat hitam pada skala rumah tangga maupun lingkungan kecil. Dengan demikian, penggunaan filter air dan filter asap dalam penelitian ini memiliki dasar ilmiah yang jelas dalam konteks mitigasi emisi dan peningkatan kualitas udara hasil pembakaran.

Filter ini berfungsi untuk mengurangi kandungan emisi karbon yang dibawa dari tungku pembakar sampah. Sistem kerjanya adalah dengan mendinginkan asap panas dan menurunkan kandungan karbon sebelum gas buang dilepaskan ke udara bebas. Gambar 2.4 menunjukkan bagan dari filter asap yang digunakan pada penelitian ini. Dalam sistem ini, peran Arduino tidak hanya sebagai pengendali proses pembakaran di tungku, tetapi juga berperan secara tidak langsung dalam proses pendinginan asap. Arduino mengatur kerja blower dan pompa air yang memengaruhi laju aliran udara dan sirkulasi air pada filter. Ketika suhu ruang bakar meningkat, Arduino mengaktifkan blower untuk meningkatkan suplai udara dan

mengatur tekanan aliran asap menuju filter, sementara pompa air akan bekerja untuk menjaga sirkulasi air tetap stabil di dalam tabung filter. Dengan mekanisme tersebut, suhu asap yang masuk ke filter dapat dikendalikan, proses pendinginan menjadi lebih efisien, dan emisi karbon yang keluar dari cerobong berkurang secara signifikan.. Gambar 2.4 adalah bagan dari filter asap yang di gunakan pada penelitian ini.



Gambar 2.4 Filter Asap

Dimana fungsi dari bagian filter asap sesuai dengan nomor yang terdapat pada gambar diatas adalah sebagai berikut ;

1. Tempat menampung air yang digunakan untuk media filter dan pendinginan asap.
2. Tempat pengisian air yang masuk ke filter air.
3. Tempat pembuangan air setelah asap didinginkan.
4. Tempat pembersihan sela dan dinding yang ada di filter.
5. Cerobong asap yang keluar.

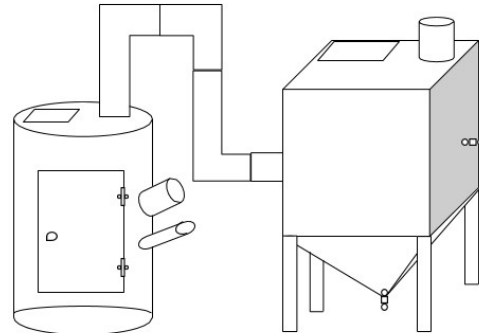
Filter asap di dalamnya mempunyai lekukan untuk jalur asap yang berfungsi untuk mengurangi tekanan dan menurunkan suhu panas dari tungku bakar. Dengan adanya jalur berlekuk tersebut, aliran asap menjadi lebih lambat dan mengalami kontak lebih lama dengan air di dalam filter, sehingga penyerapan panas dan partikel karbon dapat berlangsung lebih optimal. Akibatnya, tabung filter asap akan terasa hangat dan suhu asap yang keluar melalui outlet cerobong menjadi lebih rendah dibandingkan suhu pada inlet tungku pembakaran. Pada sistem ini, peran oksigen tidak dikendalikan secara langsung di dalam filter, melainkan sudah diatur pada

tahap pembakaran di dalam tungku melalui aliran udara yang dikontrol oleh blower. Blower berfungsi untuk menyuplai oksigen secara konstan ke ruang pembakaran agar proses oksidasi berlangsung sempurna dan tidak menghasilkan asap hitam pekat. Dengan demikian, peran oksigen tetap penting dalam sistem ini, tetapi berada pada bagian tungku pembakaran, bukan pada sistem filter. Filter asap hanya berperan dalam pendinginan dan penyaringan karbon dari gas buang hasil pembakaran.. Berikut adalah spesifikasi dari filter asap :

Tabel 2.1 Spesifikasi Filter Asap

Spesifikasi Filter Asap	
Kapasitas air	120 Liter
Bahan yang digunakan	Plat besi 2 mm
Recycle Water	3 periode
Suhu saat operasi	30 – 35 °C
Suhu Maksimal	50 °C

2.4 Sistem Lengkap Incenerator



Gambar 2.5 Sistem Lengkap Incenerator

Gambar diatas merupakan bagan lengkap untuk incinerator yang dimana sampah akan di bakar di dalam tungku setelah itu asap hasil pembakaran sampah dari tungku masuk ke dalam filter, setelah itu asap yang berwarna hitam akan disaring kotorannya di dalam filter sehingga asap yang keluar dari filter sudah tidak berwarna hitam melainkan berwarna putih. Asap yang keluar dari filter asap memiliki kandungan emisi karbon yang lebih sedikit. Seperti dilansir dari (Jurnal yang

dibuat oleh Hermansyah vol. 4, Juni 2017), dalam pengamatan yang telah dilakukan perbedaan asap yang keluar pada cerobong asap yang menggunakan filter air asapnya lebih sedikit dibandingkan dengan tanpa filter air, sedangkan pembakaran sampah secara bebas asap yang dihasilkan lebih banyak dan berwarna hitam dikarenakan tidak adanya filter untuk mengatasi asap pembakaran. Asap berwarna hitam mempunyai dampak yang buruk untuk lapisan atmosfer, jadi melalui filter asap ini bisa mengurangi dampak buruk karbondioksida yang berasal dari pembakaran sampah.

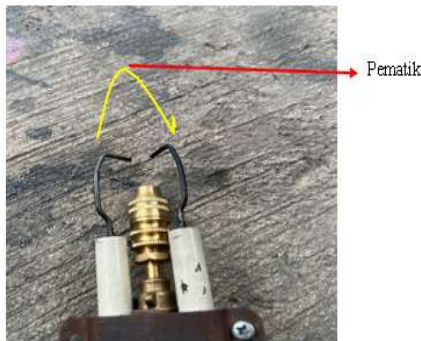
2.5 Nozzle Bahan Bakar



Gambar 2.6 Nozzle Bahan Bakar

Diatas adalah bentuk dari nozzle penyemprot bahan bakar untuk menyalakan api didalam tungku incinerator yang bisa diatur jumlah debit penyemprotannya.

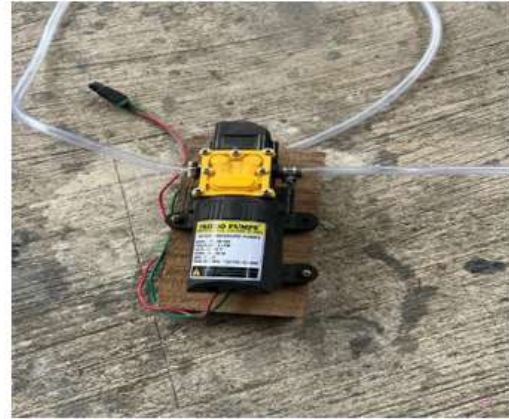
2.6 Pematik



Gambar 2.7 Pematik Elektrik

Gambar 2.7 adalah bentuk dari pematik atau korek api elektrik yang berguna untuk menyalakan percikan api di dalam tungku bakar.

2.7 Pompa Bahan Bakar



Gambar 2.8 Pompa Bahan Bakar

Gambar 2.8 adalah pompa bahan bakar yang digunakan untuk suplai bahan bakar ke dalam tungku sebagai media untuk membakar sampah. Settingan tekanan yang digunakan adalah 120 Psi atau setara dengan 8,5 Bar, yang berfungsi untuk menghasilkan semburan bahan bakar berbentuk kabut halus (atomized fuel spray) dengan tekanan tinggi.

Pemilihan tekanan 120 Psi/8,5 Bar didasarkan pada kebutuhan proses atomisasi bahan bakar cair agar pembakaran berlangsung sempurna. Tekanan ini dianggap optimal untuk menghasilkan ukuran partikel bahan bakar yang cukup kecil sehingga mudah bercampur dengan udara di ruang bakar, mempercepat proses pembakaran, serta mengurangi kemungkinan terbentuknya asap hitam akibat pembakaran tidak sempurna. Selain itu, hasil uji pendahuluan menunjukkan bahwa tekanan di bawah 100 Psi menghasilkan semburan bahan bakar yang terlalu besar dan tidak merata, sedangkan tekanan di atas 130 Psi menyebabkan konsumsi bahan bakar meningkat tanpa peningkatan signifikan pada efisiensi pembakaran. Oleh karena itu, tekanan 120 Psi dipilih sebagai nilai kompromi terbaik antara

efisiensi pembakaran, kestabilan nyala api, dan pengendalian emisi asap.

3. HASIL DAN DISKUSI

Hasil perancangan system secara keseluruhan seperti terlihat pada gambar 3.1



Gambar 3.1 Mesin Pembakar Sampah dengan Filter Asap

3.1 Pengoperasian Incinerator

Pertama sistem dihubungkan ke sumber listrik PLN, saklar power pada posisi On, maka tampilan LCD akan On.



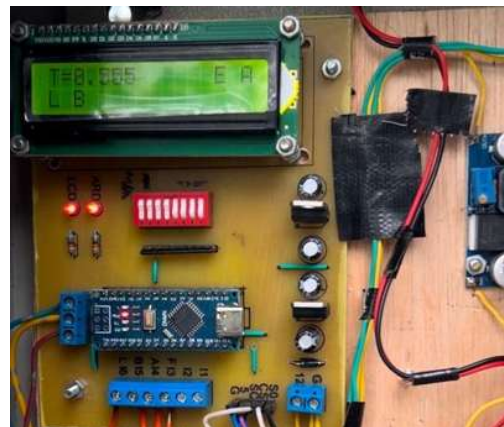
Gambar 3.2 Tampilan Awal LCD pada Incinerator

Dari gambar diatas LCD memunculkan angka, dimana untuk tanda T adalah suhu yang memonitor di dalam ruangan tungku bakar. Tanda E menunjukkan sensor flame eye tidak mendeteksi api di dalam tungku dan untuk M yaitu switch dalam posisi manual.



Gambar 3.3 Tampilan LCD Saat Incinerator Beroperasi

Setelah dipindahkan ke otomatis tampilan LCD akan berubah dan incinerator langsung beroperasi. Untuk tanda A di LCD baris pertama sebelah kiri adalah mode otomatis, dan baris kedua muncul tanda F yang berarti flue gas fan beroperasi selama 1 menit dengan hitungan mundur.



Gambar 3.4 Tampilan LCD Saat Pematik dan Bahan Bakar Beroperasi

Pematik (L) dan bahan bakar (B) aktif sampai sampai sensor Flame Eye mendeteksi adanya api atau sampai suhu ruang bakar mencapai 100 °C.



Gambar 3.5 Incinerator Beroperasi

Gambar 3.5 menunjukkan bahwa incinerator sudah beroperasi dan sampah sudah terbakar di dalam tungku bakar. Pada saat beroperasi keadaan tungku sangat panas sehingga untuk tungku luar diberikan gaswool bertujuan agar mengurangi panas saat terpegang atau berada di sekitar incinerator.

3.2 Data Hasil Uji Kerja Incinerator

Berikut data hasil uji alat incinerator dengan pembakaran menggunakan sampah organik dan anorganik.

3.2.1 Hasil Laju Pembakaran

Hasil laju pembakaran dihitung dengan membandingkan massa sampah dengan lamanya pembakaran. perbandingan nya dibedakan antara pembakaran menggunakan sampah oraganik dan anorganik dengan massa 5 kg dan 10 kg.

Tabel 3.1 Laju Pembakaran Sampah Organik Tabel 5kg

Sampah Organik 5 kg			
No	Jenis Sampah	Waktu Pembakara n (Jam)	Laju Pembakara n (Kg/Jam)
1.	Kayu + Daun	2	2,5
2.	Serbuk Kayu	1,7	2,9

Tabel 3.2 Laju Pembakaran Sampah Organik 10 Kg

Sampah Organik 10 kg			
No	Jenis Sampah	Waktu Pembakaran (Jam)	Laju Pembakaran (Kg/Jam)
1.	Kayu + Daun	2,8	3,6
2.	Serbuk Kayu	2,5	4

Tabel 3.3 Laju Pembakaran Sampah Anorganik 5 Kg

Sampah Anorganik 5kg			
No	Jenis Sampah	Waktu Pembakaran (Jam)	Laju Pembakaran (Kg/Jam)
1.	Plastik	1,1	4,5
2.	Kertas	0,75	6,7
3.	Karet	1,2	4,2
4.	Kaca	1	Tidak terbakar
5.	Besi	1	Tidak terbakar

Tabel 3.4 Laju Pembakaran Sampah Anorganik 10 Kg

Sampah Anorganik 10 kg			
No	Jenis Sampah	Waktu Pembakaran (Jam)	Laju Pembakaran (Kg/Jam)
1.	Plastik	2,6	3,8
2.	Kertas	1,6	6,3
3.	Karet	1,7	5,9
4.	Kaca	1	Tidak terbakar
5.	Besi	1	Tidak terbakar

Berdasarkan hasil pengujian laju pembakaran pada berbagai jenis sampah, baik organik maupun anorganik, diperoleh bahwa setiap jenis material menunjukkan karakteristik pembakaran yang berbeda bergantung pada komposisi, kepadatan, kadar air, serta titik nyala material tersebut. Pada sampah organik, laju pembakaran berkisar antara 2,5 hingga 4 kg/jam, dengan serbuk kayu menunjukkan nilai tertinggi

dibandingkan kayu dan daun. Hal ini disebabkan oleh ukuran partikel serbuk kayu yang lebih kecil sehingga luas permukaan kontak dengan udara lebih besar dan proses oksidasi berlangsung lebih cepat. Sementara itu, kayu dan daun memerlukan waktu pembakaran lebih lama karena memiliki kadar air dan densitas yang lebih tinggi. Kondisi ini sejalan dengan prinsip termodinamika, di mana material dengan kadar air rendah dan struktur berpori memiliki laju difusi oksigen yang lebih tinggi, sehingga proses pembakaran berlangsung lebih sempurna. Pengaturan suplai udara dan bahan bakar yang dikontrol oleh sistem otomatis berbasis Arduino Nano berperan penting dalam menjaga kestabilan suhu ruang bakar. Arduino mengatur kerja blower dan pompa bahan bakar secara presisi, sehingga suhu ruang bakar dapat dipertahankan dalam rentang 250°C hingga 550°C, dengan suhu maksimum mencapai 850°C tanpa fluktuasi signifikan. Kestabilan suhu ini meningkatkan efisiensi proses pembakaran sekaligus menekan pembentukan asap akibat kekurangan oksigen.

Hasil pengujian terhadap sampah anorganik menunjukkan bahwa plastik dan karet memiliki laju pembakaran lebih tinggi dibandingkan material organik, masing-masing mencapai 4,5 hingga 6,7 kg/jam. Hal ini disebabkan oleh nilai kalor kedua material tersebut yang tinggi, yaitu sekitar 30–40 MJ/kg, sehingga proses pembakaran berlangsung cepat dan menghasilkan suhu yang lebih tinggi. Namun demikian, pembakaran plastik dan karet cenderung menghasilkan asap pekat akibat proses pirolisis yang menghasilkan hidrokarbon tidak jenuh. Dalam hal ini, sistem filter air berfungsi menurunkan suhu gas buang serta menjebak partikel karbon melalui proses pendinginan dan pengendapan mekanis. Hasil pengamatan menunjukkan bahwa suhu gas buang setelah melewati filter menurun sekitar 30–40°C dibandingkan sebelum masuk filter, dan intensitas asap berkurang secara visual sekitar 30%.

Material kaca dan besi tidak mengalami proses pembakaran karena titik lelehnya berada jauh di atas kemampuan suhu ruang bakar, masing-masing sekitar 1400°C dan 1500°C. Hal ini menunjukkan bahwa sistem incinerator ini ditujukan untuk pengelolaan limbah organik dan anorganik ringan yang dapat terbakar pada suhu di bawah 900°C. Secara keseluruhan, hasil penelitian ini menunjukkan bahwa sistem incinerator otomatis berbasis Arduino dengan filter air mampu meningkatkan efisiensi proses pembakaran, menurunkan suhu gas buang, serta mengurangi kepadatan asap. Temuan ini mendukung penerapan teknologi sederhana dan ekonomis untuk pengelolaan sampah rumah tangga yang lebih ramah lingkungan.

Pembakaran kaca dan besi dilakukan selama 1 jam, selama pembakaran 1 jam kaca dan besi tetap tidak berubah bentuk dikarenakan titik leleh untuk kaca 1200-1500 °C dan untuk besi 1565-2862 °C. Sedangkan spesifikasi untuk tungku bakar maksimal suhu 850 °C, maka dari itu untuk tungku bakar ini belum bisa untuk membakar kaca dan besi.

3.2.2 Hasil Rendemen

Analisis hasil rendemen adalah parameter massa abu yang dihasilkan oleh proses pembakaran dan massa sampah yang dibakar. Nilai rendemen dihitung dengan presentase perbandingan massa abu dan massa sampah. Berikut hasilnya :

Tabel 3.5 Rendemen Sampah Organik 5 Kg

Sampah Organik			
No	Jenis Sampah	Sisa Pembakaran (Abu) (Kg)	Rendemen (%)
1.	Kayu + Daun	0,8	1,6
2.	Serbuk Kayu	0,85	17

Tabel 3.6 Rendemen Sampah Organik 10 Kg

Sampah Organik			
No	Jenis Sampah	Sisa Pembakaran (Abu) (Kg)	Rendemen (%)
1.	Kayu + Daun	1,5	15
2.	Serbuk Kayu	1,7	17

Tabel 3.7 Rendemen Sampah Anorganik 5 Kg

Sampah Anorganik			
No	Jenis Sampah	Sisa Pembakaran (Abu) (Kg)	Rendemen (%)
1.	Plastik	0,9	18 %
2.	Kertas	0,6	12 %
3.	Karet	0,8	16 %
4.	Kaca	5	Tidak ada abu
5.	Besi	5	Tidak ada abu

Tabel 3.8 Rendemen Sampah Anorganik 10 Kg

Sampah Anorganik			
No	Jenis Sampah	Sisa Pembakaran (Abu)(Kg)	Rendemen (%)
1.	Plastik	1.7	17%
2.	Kertas	0.9	9%
3.	Karet	1.5	15%
4.	Kaca	5	Tidak ada abu
5.	Besi	5	Tidak ada abu

Hasil pengujian rendemen pada sampah organik dan anorganik menunjukkan adanya variasi karakteristik pembakaran yang dipengaruhi oleh komposisi material, struktur kimia, kadar air, nilai kalor, dan kemampuan material mengalami dekomposisi termal pada suhu ruang bakar incinerator. Pada sampah organik dengan massa 5 kg, kayu dan daun menghasilkan abu sebesar 0,8 kg dengan rendemen 1,6%, sedangkan serbuk kayu menghasilkan abu 0,85 kg dengan rendemen 17%. Meskipun keduanya termasuk kategori

biomassa, serbuk kayu memiliki ukuran partikel lebih kecil sehingga proses karbonisasi lebih dominan dan meninggalkan residu lebih banyak. Sementara itu, campuran kayu dan daun lebih mudah terdegradasi pada suhu tinggi karena daun memiliki struktur selulosa lebih tipis sehingga menghasilkan abu lebih sedikit. Ketika massa sampah organik ditingkatkan menjadi 10 kg, pola yang sama tetap muncul: rendemen kayu dan daun meningkat menjadi 15% dan serbuk kayu menjadi 17%. Peningkatan rendemen ini menunjukkan bahwa semakin besar massa material, semakin besar akumulasi residu padat karena pembakaran tidak seratus persen sempurna, meskipun pengendalian pembakaran menggunakan Arduino telah membantu menjaga kestabilan suplai udara.

Pada sampah anorganik, perbedaan karakter termal material semakin terlihat. Pada sampah anorganik 5 kg, plastik menghasilkan residu 0,9 kg dengan rendemen 18%, sedangkan kertas menghasilkan residu 0,6 kg (12%). Plastik memiliki nilai kalor tinggi sehingga proses pirolisis menghasilkan char padat sebelum terurai menjadi gas, sehingga residu lebih besar dibandingkan kertas yang terdiri dari selulosa dan mudah terdekomposisi pada suhu tinggi. Material karet menghasilkan rendemen 16%, sejalan dengan sifat elastomernya yang sulit teroksidasi sempurna. Sementara itu, material kaca dan besi tidak mengalami perubahan massa baik pada pengujian 5 kg maupun 10 kg. Hal ini disebabkan titik leleh kaca (~1400°C) dan besi (~1500°C) jauh lebih tinggi dibandingkan suhu maksimum incinerator yang hanya mencapai sekitar 850°C, sehingga material tersebut hanya mengalami pemanasan tanpa terjadi penguraian atau peleburan.

Pada pengujian 10 kg sampah anorganik, tren yang sama kembali terjadi. Plastik menghasilkan rendemen 17%, karet 15%, dan kertas 15%. Peningkatan massa input cenderung menaikkan nilai rendemen karena pembakaran material anorganik bersifat terbatas dan sangat bergantung pada suplai udara serta luas permukaan material.

Walaupun Arduino mengontrol blower dan pompa bahan bakar untuk menjaga stabilitas suhu dan oksigen, pembakaran anorganik tetap dibatasi oleh sifat material itu sendiri. Hal ini menunjukkan bahwa sistem incinerator ini sangat efektif untuk material organik dan anorganik ringan seperti plastik, karet, dan kertas, tetapi tidak didesain untuk material mineral atau logam.

Dari semua hasil tersebut dapat disimpulkan bahwa proses pembakaran sangat dipengaruhi oleh sifat fisik dan kimia masing-masing material. Sistem kontrol otomatis berbasis Arduino terbukti mampu menjaga kestabilan suhu dan suplai udara sehingga meningkatkan efisiensi pembakaran, terutama untuk material yang mudah terdekomposisi seperti organik, plastik, dan kertas. Namun, keterbatasan temperatur menyebabkan beberapa material seperti kaca dan besi tidak mengalami reduksi massa sama sekali. Implikasi dari temuan ini adalah bahwa incinerator otomatis yang dikembangkan cocok diaplikasikan pada lingkungan rumah tangga atau skala kecil sebagai solusi pengurangan sampah sehari-hari, tetapi tidak dapat menggantikan sistem insinerasi industri yang memiliki suhu sangat tinggi. Selain itu, tingginya rendemen pada beberapa material menunjukkan bahwa perlu dilakukan optimasi lebih lanjut, seperti desain ruang bakar yang lebih efisien, peningkatan suplai udara, atau kombinasi filter berlapis untuk mengurangi residu dan emisi secara lebih efektif pada penelitian selanjutnya.

3.2.3 Data Pengambilan Nilai Suhu Pada Ruang Bakar Terhadap Waktu Pembakaran.

Tabel 3.9 Data Pengambilan Nilai Suhu Pada Ruang Bakar Terhadap Waktu Pembakaran.

No	Waktu Pembakaran	Suhu Ruang Bakar
1.	3	74.50
2.	6	96.00
3.	9	322.75
4.	12	389.50
5.	15	422.00

Dari tabel 3.9 terlihat bahwa pada saat pembakaran pertama dan kedua kenaikan suhu tidak begitu banyak karena posisi sampah yang terbakar masih belum merata. Saat di pembakaran ketiga sampai kelima kenaikan suhunya lebih cepat dikarenakan titik nyala api sudah merata membakar sampah.

Pengukuran suhu ruang bakar selain didapat dari hasil output system yang tampil pada LCD juga dilakukan pengukuran suhu dengan menggunakan Thermogun, dengan demikian didapat nilai keakuratan system pengukuran suhu.

Tabel 3.10 Data Error Pengukuran Suhu

No	Waktu Pembakaran (menit)	Suhu (°C)			Error (%)
		LC D	Thermogun	Selisih	
1.	3	74,50	69,3	5,2	7,5
2.	5	96,00	80,2	15,8	19,7
3.	9	322,75	465,5	142,75	30,7
4.	12	389,50	478,8	89,3	18,7
5.	15	422,00	510,4	88,4	17,3

Berikut adalah hitung error pengambilan suhu dengan sensor thermocouple dan Thermogun dengan jangka waktu yang sama : Hitung Error

Rumus :

$$\frac{[TK-TG]}{TG} \times 100 \%$$

Dimana,

TK : Thermocouple

TG : Thermogun

Pada perhitungan error diatas didapatkan selisish paling banyak di pengambilan suhu ketiga pada waktu 9 menit dengan selisih 142,75 dan error 30,7 %.

4. KESIMPULAN DAN SARAN

Kesimpulan

Penelitian ini menunjukkan bahwa penerapan sistem incinerator otomatis berbasis Arduino mampu meningkatkan efisiensi pembakaran dan mengurangi emisi asap secara signifikan. Pengendalian suplai udara dan bahan bakar secara otomatis memungkinkan ruang bakar mencapai suhu kerja stabil antara 250°C–550°C, dengan suhu maksimum 850°C, sehingga proses oksidasi berlangsung lebih sempurna. Kondisi ini berdampak langsung pada rendahnya rendemen sampah organik, yaitu hanya 1,6%–17% dari total massa awal, serta pada sampah anorganik ringan seperti plastik, karet, dan kertas dengan rendemen 12%–18%. Sementara itu, penggunaan filter air terbukti mampu menurunkan suhu gas buang sebesar 30–40°C dan mengurangi intensitas asap hingga sekitar 30%, sehingga lebih ramah lingkungan. Temuan ini memberikan makna ilmiah bahwa sistem kontrol otomatis berperan penting dalam meminimalkan ketidakstabilan suhu dan memastikan suplai oksigen yang memadai, sedangkan filter air efektif melakukan pendinginan dan pengendapan partikel karbon tanpa memerlukan energi tambahan. Dengan demikian, penelitian ini menegaskan bahwa kombinasi otomatisasi berbasis Arduino dan filter air merupakan pendekatan teknis yang efisien, ekonomis, dan layak diterapkan untuk pengelolaan sampah rumah tangga skala kecil sebagai alternatif teknologi pembakaran konvensional yang menghasilkan asap lebih tinggi.

Saran

Penelitian ini masih memiliki beberapa keterbatasan yang perlu diperhatikan untuk pengembangan selanjutnya. Pengujian emisi belum mencakup analisis kandungan gas secara kuantitatif seperti CO, CO₂, dan partikulat halus (PM_{2.5} dan PM₁₀), sehingga efektivitas filter air dalam mereduksi polutan belum dapat dibandingkan secara langsung dengan standar kualitas udara. Selain itu, sistem filter air yang digunakan masih bersifat sederhana dan bekerja berdasarkan

pendinginan pasif, sehingga efisiensi penyaringan bergantung pada volume air dan frekuensi penggantian tanpa adanya mekanisme otomatis untuk pengendalian kualitas air filter. Keterbatasan lain terletak pada suhu maksimum ruang bakar yang hanya mencapai sekitar 850°C, sehingga tidak mampu mengolah material anorganik berat seperti kaca dan logam. Untuk penelitian berikutnya, sistem ini dapat dikembangkan dengan menambahkan sensor gas untuk pemantauan emisi secara real-time, integrasi filter lanjutan seperti karbon aktif atau katalis, serta perancangan ruang bakar dengan isolasi termal yang lebih baik agar mampu mencapai suhu lebih tinggi. Selain itu, sistem pembersihan air filter secara otomatis dan pemanfaatan IoT untuk pemantauan jarak jauh dapat meningkatkan efisiensi operasional dan kelayakan implementasi di lingkungan masyarakat.

5. DAFTAR PUSTAKA

- [1] M. Noor Fachry, H. Silmi Syah, J. Teknik Elektro -Politeknik Negeri Malang Jl Soekarno Hatta No, K. Lowokwaru, K. Malang, and J. Timur, “RANCANG BANGUN SISTEM PEMADAM KEBAKARAN BERBASIS INTERNET OF THINGS”.
- [2] A. P. N. S. M. Bunga Chintya¹, “RANCANG BANGUN PENGOLAHAN SAMPAH BERBASIS,” *Konferensi Nasional Social dan Engineering Politeknik Negeri Medan Tahun 2024*, 2024.
- [3] N. Tawaf and W. Ayu, “RANCANG BANGUN ALAT PEMBAKAR SAMPAH RAMAH LINGKUNGAN DALAM PENANGANAN SAMPAH RUMAH TANGGA”, [Online]. Available: <http://e-journalppmunsa.ac.id/index.php/jrktl>
- [4] R. Fenny Muldiani, Y. Supriyanti, T. M. Gantina, N. H. Koesoemah, and D. Pratama, “THE IMPLEMENTATION OF SMOKE FILTER TECHNOLOGY FOR HANDLING EXHAUST GASES

- FROM AN INCINERATOR IN WASTE PROCESSING PENERAPAN TEKNOLOGI FILTER ASAP UNTUK PENANGANAN GAS BUANG INSINERATOR PADA PENGOLAHAN SAMPAH,” 2024.
- [5] P. T. Santoso, D. Irawan, H. Rosyid, and J. Teknik, “RANCANG BANGUN ALAT OTOMATISASI Pengereman Kendaraan Bermotor Berbasis Fuzzy Logic,” vol. 19, p. 225, 2024.
- [6] H. Judul, D. Oleh, F. Nurmay, R. Dinnul, and H. Nim, “SISTEM PEMANTAU KUALITAS UDARA PADA RUANGAN BAGI KESEHATAN LANSIA,” 2024.
- [7] M. Islam Dwi Suwari, A. Naili Ni, M. Jimly Ash-shiddiqie, and F. Dimas Maulana, “TEKNOLOGI PENDETEKSI SUHU PADA BAN KENDARAAN BERBASIS SENSOR INFRARED PYROMETER UNTUK MENGURANGI RISIKO KECELAKAAN AKIBAT PECAH BAN,” vol. 19, pp. 60–66, 2024.
- [8] A. Fakhruddin, D. Irawan, A. Soffiana, and J. Teknik, “RANCANG BANGUN SISTEM KEAMANAN PINTU RUMAH BERBASIS INTERNET OF THINGS DENGAN ESP32 DAN APLIKASI BLYNK,” vol. 19, pp. 53–59, 2024.
- [9] M. Rifky, A. Faris, D. Irawan, and J. Teknik, “RANCANG BANGUN SMARTHOME BERBASIS HAIWELL CLOUD SCADA MENGGUNAKAN ESP32,” vol. 19, pp. 250–254, 2024.
- [10] B. Khoirul Arifin and D. Irawan, “RANCANG BANGUN ALAT KINCIR AIR TAMBAK UDANG TENAGA HYBRID BERBASIS MIKRO KONTROLLER,” vol. 20, pp. 97–107, 2025.
- [11] L. Rahmawati and Y. Kresna Junior, “PERANCANGAN ALAT PEMBERIAN PAKAN OTOMATIS DAN MONITORING KUALITAS AIR DENGAN SENSOR SUHU”.
- [12] I. Achmad Komarudin, A. Rahman Hidayat, D. Ayu Permatasari, P. Studi Teknik Elektronika Jurusan Teknik Elektro-Politeknik Negeri Malang Jl Soekarno Hatta No, K. Malang, and J. Timur, “PERANCANGAN USER INTERFACE MONITORING DATA SENSOR UNTUK MENENTUKAN NILAI FINE FUEL MOISTURE CODE SEBAGAI PERINGATAN DINI POTENSI KEBAKARAN HUTAN