

SKRIPSI

**RANCANG BANGUN TEMPAT SAMPAH BERBASIS IoT
DENGAN MEKANISME PEMBAKARAN OTOMATIS
MENGUNAKAN SENSOR ULTRASONIK**

DISUSUN OLEH:

Fahri SyahNanda

2109020001



UMSU
Unggul | Cerdas | Terpercaya

**PROGRAM STUDI TEKNOLOGI INFORMASI
FAKULTAS ILMU KOMPUTER DAN TEKNOLOGI INFORMASI
UNIVERSITAS MUHAMMADIYAH SUMATERA UTARA**

MEDAN

2025

**RANCANG BANGUN TEMPAT SAMPAH BERBASIS IoT
DENGAN MEKANISME PEMBAKARAN OTOMATIS
MENGUNAKAN SENSOR ULTRASONIK**

SKRIPSI

**Diajukan sebagai salah satu syarat untuk memperoleh gelar Sarjana
Komputer (S.Kom) dalam Program Studi Teknologi Informasi pada
Fakultas Ilmu Komputer dan Teknologi Informasi, Universitas
Muhammadiyah Sumatera Utara**

Fahri SyahNanda

NPM. 2109020001

**PROGRAM STUDI TEKNOLOGI INFORMASI FAKULTAS ILMU
KOMPUTER DAN TEKNOLOGI INFORMASI UNIVERSITAS
MUHAMMADIYAH SUMATERA UTARA MEDAN**

2025

LEMBAR PENGESAHAN

Judul Skripsi : RANCANG BANGUN TEMPAT SAMPAH BERBASIS
IoT DENGAN MEKANISME PEMBAKARAN
OTOMATIS MENGGUNAKAN SENSOR
ULTRASONIK

Nama Mahasiswa : FAHRI SYAHNANDA

NPM : 2109020001

Program Studi : TEKNOLOGI INFORMASI

Menyetujui
Komisi Pembimbing



(Dr. Firahmi Rizky, S.Kom., M.Kom)
NIDN. 0116079201

Ketua Program Studi



(Fatma Sari Hutagalung, S.Kom., M.Kom)
NIDN. 0117019301



Dekan



(Dr. A. Khawarizmi, S.Kom., M.Kom.)
NIDN. 0127099201

PERNYATAAN ORISINALITAS

RANCANG BANGUN TEMPAT SAMPAH BERBASIS IoT DENGAN MEKANISME PEMBAKARAN OTOMATIS MENGGUNAKAN SENSOR ULTRASONIK

SKRIPSI

Saya menyatakan bahwa karya tulis ini adalah hasil karya sendiri, kecuali beberapa kutipan dan ringkasan yang masing-masing disebutkan sumbernya.

Medan, September 2025

Yang membuat pernyataan



FAHRI SYAHNANDA

NPM. 2109020001

**PERNYATAAN PERSETUJUAN PUBLIKASI
KARYA ILMIAH UNTUK KEPENTINGAN
AKADEMIS**

Sebagai sivitas akademika Universitas Muhammadiyah Sumatera Utara, saya bertanda tangan dibawah ini:

Nama	: FAHRI SYAHNANDA
NPM	: 2109020001
Program Studi	: Teknologi Informasi
Karya Ilmiah	: Skripsi

Demi pengembangan ilmu pengetahuan, menyetujui untuk memberikan kepada Universitas Muhammadiyah Sumatera Utara Hak Bedas Royalti Non-Eksektif (*Non-Exclusive Royalty free Right*) atas penelitian skripsi saya yang berjudul:

**RANCANG BANGUN TEMPAT SAMPAH BERBASIS IoT DENGAN
MEKANISME PEMBAKARAN OTOMATIS MENGGUNAKAN SENSOR
ULTRASONIK**

Beserta perangkat yang ada (jika diperlukan). Dengan Hak Bebas Royalti Non-Eksektif ini, Universitas Muhammadiyah Sumatera Utara berhak menyimpan, mengalih media, memformat, mengelola dalam bentuk database, merawat dan mempublikasikan Skripsi saya ini tanpa meminta izin dari saya selama tetap mencantumkan nama saya sebagai penulis dan sebagai pemegang dan atau sebagai pemilik hak cipta.

Demikian pernyataan ini dibuat dengan sebenarnya.

Medan, September 2025

Yang membuat pernyataan



FAHRI SYAHNANDA

NPM. 2109020001

RIWAYAT HIDUP

DATA PRIBADI

Nama Lengkap : FAHRI SYAHNANDA
Tempat dan Tanggal Lahir : BAH JAMBI, 11 JULI 2001
Alamat Rumah : JL. PASAR III GG MERAK NO 12 LK II
Telepon/Faks/HP : 081262707396
E-mail : fahrisyahnanda69@gmail.com
Instansi Tempat Kerja : -
Alamat Kantor : -

DATA PENDIDIKAN

SD : TAMAT: 2014
SMP : TAMAT: 2017
SMA : TAMAT: 2020

KATA PENGANTAR

Puji syukur ke hadirat Allah SWT yang telah melimpahkan rahmat dan karunia-Nya sehingga penulis dapat menyelesaikan skripsi dengan judul *“Rancang Bangun Tempat Sampah Berbasis IoT Dengan Mekanisme Pembakaran Otomatis Menggunakan Sensor Ultrasonik”*. Laporan skripsi ini disusun untuk memenuhi salah satu syarat dalam memperoleh gelar Sarjana Komputer (S.Kom) pada Program Studi Teknologi Informasi, Fakultas Ilmu Komputer dan Teknologi Informasi, Universitas Muhammadiyah Sumatera Utara.

Dengan tulus, Penulis mengucapkan terima kasih kepada kedua orang tua tercinta, **Rukun Jadiono.** dan **Mila Harahap.,** atas segala doa, dukungan moral dan materi, serta semangat yang tak pernah henti diberikan kepada Penulis. Tanpa mereka, penyusunan skripsi ini tidak akan berjalan sebagaimana mestinya. Penulis juga menyadari bahwa penyusunan skripsi ini tidak terlepas dari bantuan, bimbingan, serta dukungan dari berbagai pihak. Oleh karena itu, dengan segala kerendahan hati, Penulis menyampaikan terima kasih dan penghargaan yang sebesar-besarnya kepada:

1. Bapak Prof. Dr. Agussani, MAP, selaku Rektor Universitas Muhammadiyah Sumatera Utara
2. Bapak Prof. Dr. Muhammad Arifin, S.H., M.Hum, Bapak Prof. Dr. Akrim, M.Pd, dan Bapak Assoc. Prof. Dr. Rudianto, S.Sos., M.Si, selaku Wakil Rektor I, II, dan III Universitas Muhammadiyah Sumatera Utara

3. Bapak Dr. Al-Khowarizmi, S.Kom., M.Kom., selaku Dekan Fakultas Ilmu Komputer dan Teknologi Informasi.
4. Bapak Halim Maulana, S.T., M.Kom., selaku Wakil Dekan I Fakultas Ilmu Komputer dan Teknologi Informasi
5. Bapak Dr. Lutfi Basit, S.Sos., M.I.Kom., selaku Wakil Dekan III Fakultas Ilmu Komputer dan Teknologi Informasi
6. Ibu Fatma Sari Hutagalung, S.Kom., M.Kom., selaku Ketua Program Studi Teknologi Informasi
7. Bapak Mhd Basri, S.Si, M.Kom., selaku Sekretaris Program Studi Teknologi Informasi
8. Seluruh Civitas Akademik Universitas Muhammadiyah Sumatera Utara
9. Ibu Dr. Firahmi Rizky, S.Kom, M.Kom selaku Dosen Pembimbing
10. Teman-teman seperjuangan di Program Studi Teknologi Informasi yang telah menjadi tempat berbagi ilmu, semangat, dan tawa selama proses perkuliahan hingga penyusunan skripsi ini.

Penulis menyadari bahwa skripsi ini masih jauh dari sempurna. Oleh karena itu, segala kritik dan saran yang membangun sangat Penulis harapkan demi perbaikan di masa mendatang. Semoga karya ini dapat memberikan manfaat, khususnya dalam bidang teknologi informasi dan pengembangan ilmu pengetahuan.

Medan, 1 September 2025
Penulis

Fahri SyahNanda

ABSTRAK

Permasalahan pengelolaan sampah rumah tangga, khususnya sampah anorganik kering, menjadi isu krusial akibat keterbatasan lahan Tempat Pemrosesan Akhir (TPA) dan dampak negatif dari praktik pembakaran ilegal. Penelitian ini bertujuan untuk merancang dan membangun sebuah prototipe tempat sampah pintar berbasis Internet of Things (IoT) yang dilengkapi dengan mekanisme pembakaran (insinerasi) otomatis sebagai solusi untuk mereduksi volume sampah langsung di sumbernya. Metode pengembangan sistem yang digunakan adalah Prototype Model, dengan arsitektur perangkat keras yang berpusat pada mikrokontroler NodeMCU ESP8266, sensor ultrasonik HC-SR04 untuk mendeteksi tingkat keterisian sampah, dan limit switch sebagai fitur keamanan utama. Sistem pembakaran diotomatisasi menggunakan flame gun yang dikontrol oleh motor servo, sementara notifikasi status dikirimkan secara real-time kepada pengguna melalui platform Bot Telegram. Hasil pengujian menunjukkan prototipe berhasil berfungsi sesuai rancangan. Sistem mampu mendeteksi kondisi sampah penuh, melakukan siklus pembakaran otomatis yang dikontrol oleh timer, dan mengirimkan notifikasi status secara akurat. Pengujian kualitas pembakaran menunjukkan efisiensi reduksi massa sampah anorganik kering (kertas dan karton) mencapai 95.6%. Mekanisme keamanan fail-safe menggunakan limit switch juga terbukti andal dalam mencegah aktivasi api pada kondisi tidak aman. Penelitian ini berhasil mewujudkan sistem terintegrasi yang tidak hanya memonitor, tetapi juga secara aktif mengelola sampah pada skala rumah tangga, memberikan solusi alternatif yang efektif, aman, dan dapat dipantau dari jarak jauh.

Kata Kunci: Tempat Sampah Pintar, Internet of Things (IoT), Pembakaran Otomatis, Sensor Ultrasonik, NodeMCU ESP8266, Pengelolaan Sampah.

ABSTRACT

The problem of household waste management, particularly dry inorganic waste, has become a crucial issue due to limited landfill capacity and the negative impacts of illegal burning practices. This research aims to design and build an Internet of Things (IoT)-based smart trash can prototype equipped with an automatic incineration mechanism as a solution to reduce waste volume directly at the source. The system development method used is the Prototype Model, with a hardware architecture centered on the NodeMCU ESP8266 microcontroller, an HC-SR04 ultrasonic sensor to detect waste fill levels, and a limit switch as a primary safety feature. The combustion system is automated using a flame gun controlled by a servo motor, while status notifications are sent in real-time to the user via the Telegram Bot platform. The test results indicate that the prototype functions successfully according to its design. The system can detect a full trash can, perform an automatic combustion cycle controlled by a timer, and deliver accurate status notifications. Combustion quality testing revealed a 95.6% mass reduction efficiency for dry inorganic waste (paper and cardboard). The fail-safe mechanism using a limit switch also proved reliable in preventing flame activation under unsafe conditions. This research successfully realizes an integrated system that not only monitors but also actively manages waste at the household level, providing an effective, safe, and remotely monitorable alternative solution.

Keywords: Smart Trash Can, Internet of Things (IoT), Automatic Incineration, Ultrasonic Sensor, NodeMCU ESP8266, Waste Management.

DAFTAR ISI

LEMBAR PENGESAHAN	i
PERNYATAAN ORISINALITAS.....	ii
PERNYATAAN PERSETUJUAN PUBLIKASI.....	iii
RIWAYAT HIDUP	iv
KATA PENGANTAR.....	v
ABSTRAK.....	vii
ABSTRACT	viii
DAFTAR ISI	ix
DAFTAR TABEL	xii
DAFTAR GAMBAR.....	xiii
BAB I.....	1
PENDAHULUAN	1
1.1 Latar Belakang Masalah.....	1
1.2 Rumusan Masalah	2
1.3 Batasan Masalah.....	3
1.4 Tujuan Penelitian.....	3
1.5 Manfaat Penelitian.....	4
1.5.1. Manfaat Praktis:.....	4
1.5.2. Manfaat Teoritis:	4
BAB II LANDASAN TEORI.....	5
2.1 Teknologi IoT (<i>Internet of Things</i>)	5

2.2	Pengelolaan Sampah Rumah Tangga.....	6
	Tabel 2.1 Jenis Sampah Rumah Tangga.....	6
2.3	Sensor dan Aktuator dalam Sistem IoT.....	7
2.4	Mekanisme Pembakaran Otomatis.....	7
2.5	Penelitian Terkait	9
2.6	Kerangka Pemikiran.....	10
BAB III METODOLOGI PENELITIAN		12
3.1	Jenis dan Pendekatan Penelitian.....	12
3.2	Pengembangan Sistem	12
3.3	Perancangan Sistem.....	13
3.3.1	Spesifikasi <i>Hardware</i>	13
3.3.2	Spesifikasi <i>Software</i>	16
3.4	Implementasi Sistem	17
3.4.1	Diagram Alir (Flowchart) Sistem	19
3.5	Pengujian Sistem.....	21
3.5.1	Pengujian Fungsional Komponen (<i>Unit Testing</i>)	21
3.5.3	Pengujian Kualitas Pembakaran	23
3.5.4	Pengujian Keamanan Sistem	23
3.6	Evaluasi dan Analisis Data.....	25
BAB IV		27
4.1	Implementasi dan Wujud Prototipe.....	27

4.2	Hasil Pengujian Fungsional Komponen (<i>Unit Testing</i>)	28
4.4	Hasil Pengujian Kualitas Pembakaran	31
4.5	Hasil Pengujian Keamanan Sistem	32
4.6	Pembahasan.....	32
BAB V KESIMPULAN DAN SARAN.....		34
5.1	Kesimpulan.....	34
5.2	Saran.....	35
DAFTAR PUSTAKA		37

DAFTAR TABEL

Tabel 2.1. Jenis Sampah Rumah Tangga	7
Tabel 2.2. Kriteria Keamanan Pembakaran.....	9
Tabel 3.1. Spesifikasi Komponen <i>Hardware</i>	15
Tabel 3.2. Skenario Pengujian Sistem.....	24

DAFTAR GAMBAR

Gambar 3.1. Flowchart Sistem.....	20
Gambar 4.1. Foto prototipe tempat sampah secara keseluruhan	27
Gambar 4.2. Foto pengujian ketika sampah penuh dan terbakar.....	28

BAB I

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang Masalah

Permasalahan pengelolaan sampah rumah tangga di Indonesia telah menjadi isu krusial yang menuntut perhatian serius dan solusi inovatif. Data dari Kementerian Lingkungan Hidup dan Kehutanan (KLHK) tahun 2023 menunjukkan bahwa timbulan sampah nasional mencapai angka 35,9 juta ton per tahun, dengan 42% di antaranya bersumber dari rumah tangga. Angka ini menunjukkan bahwa setiap rumah tangga berkontribusi signifikan terhadap volume sampah secara keseluruhan, menciptakan tekanan besar pada sistem pengelolaan yang ada. Salah satu tantangan utama adalah keterbatasan lahan Tempat Pemrosesan Akhir (TPA). Sebagian besar TPA di Indonesia telah mencapai atau bahkan melampaui kapasitasnya, menyebabkan penumpukan sampah yang tidak terkendali.

Seiring dengan pesatnya perkembangan teknologi informasi, terutama *Internet of Things* (IoT), terdapat potensi besar untuk mengoptimalkan sistem pengelolaan sampah (Kortuem et al., 2010). Konsep IoT memungkinkan perangkat fisik untuk saling terhubung dan bertukar data melalui internet, memfasilitasi monitoring dan kontrol jarak jauh secara *real-time*.

Meskipun terdapat berbagai metode pengolahan sampah, pembakaran tetap menjadi pilihan yang efektif untuk mereduksi volume sampah secara drastis, terutama untuk sampah anorganik kering yang sulit atau tidak memiliki nilai ekonomis untuk didaur ulang (Chen et al., 2017). Namun, pembakaran secara terbuka menimbulkan masalah emisi gas berbahaya (Jones & Smith, 2019). Oleh

karena itu, diperlukan solusi yang mengintegrasikan otomatisasi dan monitoring untuk memastikan proses pembakaran berlangsung secara terkontrol dan aman pada skala rumah tangga.

Menjawab permasalahan penumpukan sampah, digagas sebuah inovasi berupa prototipe tempat sampah pintar berbasis *Internet of Things* (IoT) dengan fitur insinerasi otomatis. Inovasi ini bertujuan untuk mereduksi volume limbah padat anorganik kering secara langsung pada titik produsen limbah. Melalui integrasi komponen seperti sensor, mikrokontroler, dan konektivitas cloud, sistem ini dirancang agar mampu melakukan deteksi kondisi sampah, menginisiasi proses pembakaran secara otonom dan aman, serta menyediakan informasi status secara aktual kepada pengguna. Pengembangan sistem ini diharapkan dapat menjadi model aplikatif untuk mewujudkan ekosistem pengelolaan sampah berkelanjutan di Indonesia.

1.2 Rumusan Masalah

1. Bagaimana merancang arsitektur perangkat keras dan perangkat lunak tempat sampah rumah tangga untuk sampah anorganik yang terintegrasi dengan teknologi IoT untuk monitoring dan kontrol?.
2. Bagaimana mengimplementasikan sistem pembakaran otomatis yang aman dan terkontrol untuk mereduksi volume sampah anorganik kering pada tempat sampah berbasis IoT?.
3. Bagaimana memanfaatkan sensor dan konektivitas IoT untuk monitoring kondisi sampah dan status pembakaran, serta memberikan notifikasi jarak jauh

kepada pengguna?.

1.3 Batasan Masalah

Untuk menjaga fokus penelitian, batasan masalah dalam penelitian ini adalah :

1. Penelitian ini berfokus pada rancangan, implementasi, dan uji coba prototipe dalam skala laboratorium atau lingkungan tempat tinggal terbatas, bukan untuk skala komersial atau industri.
2. Jenis sampah yang diuji coba adalah sampah anorganik kering, seperti kertas, karton, dan plastik tertentu, yang memiliki karakteristik mudah terbakar dan tidak basah.
3. Penelitian ini memfokuskan pada mekanisme otomatisasi pembakaran dan sistem monitoring IoT, bukan analisis mendalam mengenai emisi gas buang.
4. Sistem tidak membahas proses pemisahan sampah secara otomatis pemisahan sampah diasumsikan dilakukan secara manual oleh pengguna.
5. Platform antarmuka pengguna (dashboard monitoring) akan dikembangkan menggunakan layanan IoT yang sudah ada seperti Telegram, dan tidak berfokus pada pengembangan aplikasi mobile kustom dari awal.

1.4 Tujuan Penelitian

1. Merancang dan mengimplementasikan prototipe tempat sampah pintar berbasis IoT yang mampu mendeteksi volume sampah anorganik.
2. Mewujudkan sistem pembakaran otomatis yang terintegrasi untuk memproses sampah anorganik kering secara aman dan efisien.
3. Mengembangkan sistem monitoring dan notifikasi jarak jauh melalui platform IoT untuk memberikan informasi *real-time*.

4. Menguji kinerja fungsional dan efektivitas sistem dalam mereduksi volume sampah serta memastikan aspek keamanan operasional.

1.5 Manfaat Penelitian

1.5.1. Manfaat Praktis:

1. Bagi Rumah Tangga: Memberikan solusi alternatif yang efisien dan otomatis dalam mengelola sampah kering.
2. Bagi Lingkungan: Berkontribusi pada pengurangan timbulan sampah yang berakhir di TPA dan mengurangi praktik pembakaran ilegal.

1.5.2. Manfaat Teoritis:

1. Memberikan kontribusi pada pengembangan teknologi IoT dalam bidang smart waste management pada skala rumah tangga.
2. Menjadi dasar referensi bagi penelitian selanjutnya yang ingin mengembangkan sistem pengelolaan sampah otomatis.

BAB II

LANDASAN TEORI

2.1 Teknologi IoT (*Internet of Things*)

Teknologi *Internet of Things* (IoT) merujuk pada konsep di mana perangkat fisik seperti peralatan rumah tangga ditanamkan dengan sensor, perangkat lunak, dan teknologi lain yang memungkinkan mereka terhubung dan bertukar data melalui internet. Dalam penelitian ini, teknologi IoT dimanfaatkan untuk fungsi monitoring dan notifikasi jarak jauh pada prototipe tempat sampah.

Arsitektur dasar IoT umumnya terdiri dari empat lapisan:

Lapisan Perangkat Fisik: Ini adalah lapisan "benda" atau perangkat keras dari sistem. Pada prototipe ini, lapisan ini terdiri dari mikrokontroler

1. NodeMCU ESP8266 sebagai otak pemrosesan, sensor ultrasonik sebagai pengumpul data, serta servo dan buzzer sebagai aktuator yang melakukan tindakan fisik.
2. Lapisan Konektivitas: Lapisan ini berfungsi menghubungkan perangkat fisik ke internet. Prototipe ini menggunakan modul Wi-Fi yang terintegrasi pada NodeMCU ESP8266 untuk terhubung ke jaringan Wi-Fi lokal.
3. Lapisan Platform Cloud: Data yang dikirim dari perangkat perlu disimpan dan diolah di suatu tempat. Untuk itu, penelitian ini menggunakan platform notifikasi.
4. Lapisan Aplikasi Pengguna: Ini adalah antarmuka yang dilihat oleh pengguna. Dalam hal ini, aplikasi mobile Telegram berfungsi sebagai

media bagi pengguna untuk menerima notifikasi penting seperti "Sampah Penuh" atau "Proses Pembakaran Selesai".

2.2 Pengelolaan Sampah Rumah Tangga

Sampah rumah tangga didefinisikan sebagai sampah yang berasal dari kegiatan sehari-hari dalam rumah tangga, tidak termasuk sampah yang berasal dari kegiatan usaha (Undang-Undang Republik Indonesia No. 18 Tahun 2008 tentang Pengelolaan Sampah). Jenis sampah rumah tangga sangat bervariasi, meliputi sampah organik (sisa makanan, daun, ranting) dan sampah anorganik (kertas, plastik, kaca, logam) (KLHK, 2023). Permasalahan umum dalam pengelolaan sampah meliputi volume yang terus meningkat, kurangnya fasilitas pengolahan, masalah sanitasi, dan dampak pencemaran lingkungan akibat penumpukan atau pembakaran yang tidak terkontrol (BPS, 2023). Pembakaran sampah rumah tangga secara terbuka, meskipun sering dilakukan, sangat tidak dianjurkan karena menghasilkan dioksin, furan, dan partikel berbahaya lainnya yang dapat menyebabkan masalah kesehatan dan lingkungan (Jones & Smith, 2019). Oleh karena itu, diperlukan solusi yang dapat mereduksi volume sampah secara efektif namun tetap terkontrol dan aman.

Tabel 2.1 Jenis Sampah Rumah Tangga

Kategori Sampah	Contoh	Karakteristik Umum	Potensi Dibakar
Organik	Sisa Makanan, daun, ranting.	Basah, mudah Terurai	Rendah

Anorganik	Kertas, plastik,logam,kaca	Kering, sulit terurai	Tinggi(tertentu)
B3	Baterai, obat-obatan	Berbahaya,tidak boleh dibakar	Tidak

2.3 Sensor dan Aktuator dalam Sistem IoT

Dalam sistem IoT, sensor dan aktuator adalah komponen fundamental yang menjembatani dunia digital dengan dunia fisik. Sensor adalah perangkat yang bertugas mendeteksi kuantitas fisik dan mengubahnya menjadi sinyal listrik yang dapat dibaca oleh mikrokontroler. Pada penelitian ini, sensor yang digunakan meliputi sensor ultrasonik HC-SR04 untuk mendeteksi level sampah berdasarkan jarak dan limit switch yang berfungsi sebagai sensor keamanan untuk memastikan posisi komponen mekanis sudah tepat sebelum sistem beroperasi. Sebaliknya, aktuator adalah perangkat yang menerima perintah dari mikrokontroler dan mengubahnya menjadi aksi fisik. Aktuator yang digunakan pada prototipe ini adalah:

1. Servo MG996R dan SG90, yang berfungsi untuk melakukan gerakan mekanis seperti menekan tuas pada flame gun.
2. Flame gun dan pemantik elektronik, yang bertugas sebagai pemicu api untuk memulai proses pembakaran.
3. Buzzer, yang menghasilkan notifikasi dalam bentuk suara.

2.4 Mekanisme Pembakaran Otomatis

Pembakaran sampah adalah proses termal yang bertujuan untuk mereduksi volume sampah menjadi abu. Untuk prototipe skala rumah tangga ini, mekanisme

pembakaran otomatis dirancang dengan fokus utama pada aspek keamanan dan efisiensi. Prinsip dasar dari sistem pembakaran otomatis ini melibatkan beberapa tahapan utama:

1. **Inisiasi Pembakaran:** Proses ini dipicu secara otomatis oleh mikrokontroler setelah kondisi tertentu terpenuhi, yaitu ketika sensor ultrasonik mendeteksi volume sampah telah mencapai ambang batas penuh. Setelah terpicu, mikrokontroler akan mengaktifkan servo untuk menekan tuas flame gun dan memicu pemantik elektronik untuk mulai menyulut sampah.
2. **Sirkulasi Udara:** Untuk memastikan pasokan oksigen yang cukup selama pembakaran, prototipe ini mengandalkan sistem ventilasi pasif yang dirancang pada wadah, tanpa menggunakan kipas atau blower terkontrol.
3. **Penghentian Pembakaran:** Karena tidak ada sensor suhu untuk memantau proses, sistem akan bekerja berdasarkan durasi waktu yang telah ditentukan (timer). Mikrokontroler akan menonaktifkan flame gun secara otomatis setelah jangka waktu pembakaran yang dianggap cukup untuk mereduksi sampah telah tercapai.
4. **Keamanan Mekanis:** Sistem dilengkapi dengan limit switch untuk memastikan semua komponen bergerak seperti penutup atau posisi flame gun sudah berada pada titik yang aman sebelum proses inisiasi pembakaran dapat dimulai.

Tabel 2.2. Kriteria Keamanan Pembakaran

Kriteria	Deskripsi	Indikator Sistem
Keterisian Wadah	Sistem akan memulai siklus pembakaran hanya jika tempat sampah telah mencapai ambang batas penuh.	Sensor Ultrasonik
Posisi Mekanis Aman	Sistem memastikan semua komponen bergerak berada di posisi yang aman sebelum api dinyalakan.	Limit Switch

2.5 Penelitian Terkait

Penelitian mengenai manajemen sampah pintar (*smart waste management*) telah banyak dilakukan, namun umumnya terbagi ke dalam beberapa fokus yang berbeda. Berdasarkan studi literatur, penelitian-penelitian tersebut dapat dikelompokkan sebagai berikut:

1. Sistem Monitoring Keterisian Tempat Sampah. Sebagian besar penelitian yang ada berfokus pada pengembangan tempat sampah pintar yang menggunakan sensor ultrasonik untuk mendeteksi level sampah. Tujuan utama dari sistem ini adalah mengirimkan data keterisian ke server pusat untuk mengoptimalkan rute dan jadwal pengumpulan sampah oleh petugas kebersihan. Namun, penelitian-penelitian ini bersifat pasif, artinya hanya memonitor dan tidak melakukan tindakan pengolahan atau reduksi volume sampah secara langsung di lokasi.
2. Sistem Pemilahan Sampah Otomatis. Kelompok penelitian lain berfokus pada perancangan tempat sampah yang dapat memisahkan jenis sampah secara otomatis, misalnya antara sampah organik, logam, dan plastik. Sistem ini umumnya menggunakan sensor yang lebih kompleks seperti

kamera dan pengolahan citra untuk identifikasi objek. Fokus utamanya adalah untuk mempermudah proses daur ulang, bukan untuk mereduksi volume sampah.

3. Kesenjangan Penelitian. Dari penelitian yang ada, terdapat kesenjangan pada pengembangan sistem terintegrasi yang tidak hanya memonitor, tetapi juga aktif mengelola sampah pada skala rumah tangga. Secara spesifik, masih minim penelitian yang menggabungkan mekanisme reduksi volume sampah melalui pembakaran otomatis yang aman dan terkontrol dengan sistem monitoring berbasis IoT dalam satu perangkat sederhana untuk rumah tangga. Penelitian ini bertujuan untuk mengisi kesenjangan tersebut dengan merancang prototipe yang fungsional, aman, dan dapat dipantau dari jarak jauh sebagai alternatif dari praktik pembakaran sampah ilegal.

2.6 Kerangka Pemikiran

Kerangka pemikiran penelitian ini menggambarkan alur kerja sistem secara logis, mulai dari masuknya sampah, deteksi oleh sensor, pemrosesan oleh mikrokontroler, aktivasi aktuator pembakar, hingga data dikirim ke cloud untuk monitoring oleh pengguna.

Berikut alur kerja yang baru:

1. Input & Sensor : Data utama berasal dari sensor ultrasonik yang mendeteksi volume sampah dan limit switch yang memastikan posisi mekanis aman untuk memulai proses.
2. Pemrosesan : Seluruh data sensor ini akan diproses oleh mikrokontroler NodeMCU ESP8266.

3. Aksi dan Aktuator : Berdasarkan data tersebut, mikrokontroler akan mengontrol aktuator. Jika sampah terdeteksi penuh dan posisi aman, sistem akan mengaktifkan servo untuk menyalakan flame gun selama durasi waktu yang telah ditentukan (timer).
4. Output & Monitoring : Status sistem, seperti tingkat keterisian dan status proses (contoh: "Siaga", "Membakar", "Selesai"), dapat dipantau secara real-time oleh pengguna melalui notifikasi pada aplikasi Telegram.

BAB III

METODOLOGI PENELITIAN

3.1 Jenis dan Pendekatan Penelitian

Jenis penelitian yang digunakan adalah penelitian rekayasa sistem (*applied research*). Penelitian ini berfokus pada perancangan, pengembangan, dan pengujian sebuah prototipe tempat sampah berbasis IoT.

3.2 Pengembangan Sistem

Metode pengembangan sistem yang akan digunakan adalah Prototype Model. Metode ini dipilih karena memungkinkan pengembangan sistem secara iteratif, di mana prototipe awal dapat dibangun dengan cepat, diuji, dievaluasi, dan kemudian diperbaiki berdasarkan feedback dan hasil pengujian. Hal ini sangat cocok untuk proyek yang melibatkan integrasi perangkat keras dan perangkat lunak yang kompleks, sehingga perubahan dapat dilakukan di awal proses pengembangan (Pressman, 2010). Tahapan prototype model meliputi:

1. Analisis Kebutuhan Sistem: Mengidentifikasi fungsionalitas yang diperlukan, spesifikasi perangkat keras dan perangkat lunak, serta persyaratan keamanan (Sommerville, 2011).
2. Perancangan Sistem (*Hardware & Software*): Mendesain arsitektur sistem secara keseluruhan, skematik sirkuit, desain mekanik tempat sampah, serta alur logika program (Saha & Singh, 2019).
3. Implementasi Prototipe: Merealisasikan desain menjadi prototipe fisik dan mengimplementasikan kode program pada mikrokontroler dan platform IoT (Kumar & Singh, 2018).

4. Pengujian Fungsional dan Monitoring: Melakukan pengujian terhadap setiap modul dan fungsionalitas sistem secara terintegrasi (Sharma et al., 2019).
5. Evaluasi dan Perbaikan (Iterasi): Menganalisis hasil pengujian, mengidentifikasi kelemahan, dan melakukan perbaikan pada desain atau implementasi (Pressman, 2010).
6. Penyelesaian Sistem: Setelah iterasi dan perbaikan, sistem dianggap selesai dan siap untuk pengujian akhir.

3.3 Perancangan Sistem

3.3.1 Spesifikasi *Hardware*

Perancangan perangkat keras sistem ini menggunakan komponen-komponen yang telah dipilih sesuai fungsinya. Berikut adalah rincian spesifikasi komponen yang digunakan dalam pembuatan prototipe:

1. Mikrokontroler NodeMCU ESP8266: Dipilih sebagai unit pemrosesan utama (otak) sistem. Modul ini sudah terintegrasi dengan Wi-Fi sehingga ideal untuk proyek berbasis IoT, serta memiliki pin GPIO yang cukup untuk mengontrol semua sensor dan aktuator.
2. Sensor Ultrasonik HC-SR04: Berfungsi untuk mendeteksi ketinggian atau level sampah di dalam wadah secara non-kontak. Data dari sensor ini menjadi pemicu utama kapan sistem harus memulai siklus pembakaran.
3. Servo MG996R & SG90: Digunakan sebagai aktuator untuk melakukan gerakan mekanis. Servo MG996R dengan torsi tinggi dapat dimanfaatkan untuk tugas yang lebih berat seperti menekan tuas

flame gun, sementara Servo SG90 dapat digunakan untuk mekanisme yang lebih ringan.

4. Sistem Pemicu Api: Mekanisme pembakaran tidak menggunakan elemen pemanas listrik, melainkan Flame Gun Gas Portable sebagai sumber api utama. Proses pemicuan api diotomatisasi menggunakan Pemantik Elektronik 1,5V yang ditenagai oleh Baterai AA.
5. Limit Switch: Digunakan sebagai sensor keamanan atau pembatas fisik. Komponen ini dapat memastikan posisi komponen mekanis (misalnya penutup atau posisi flame gun) sudah berada di titik yang aman sebelum sistem beroperasi.
6. Buzzer 5V: Berfungsi untuk memberikan notifikasi atau peringatan dalam bentuk suara, misalnya saat proses pembakaran akan dimulai, telah selesai, atau jika terdeteksi kondisi darurat.
7. Wadah Tempat Sampah: Dibuat menggunakan Box Custom Besi Galvanis berukuran 20x20x50cm yang tahan panas. Di dalamnya dilengkapi
8. Jaring Besi sebagai alas pembakaran agar sirkulasi udara lebih baik.
9. Power Supply: Keseluruhan sistem elektronik ditenagai oleh Power Supply 5V 10A yang mengkonversi tegangan AC dari listrik rumah menjadi tegangan DC yang dibutuhkan oleh mikrokontroler dan komponen lainnya.
10. Komponen Pendukung: Meliputi berbagai komponen untuk perakitan fisik dan elektronik, seperti PCB Fiber, kabel (AWG 24 & 26), header male & female, tombol, aneka baut dan skrup, serta bracket untuk

perakitan mekanis.

Tabel 1.1 Spesifikasi Komponen *Hardware*

Komponen	Fungsi Utama	Spesifikasi/Tipe
Mikrokontroler	Berfungsi sebagai otak sistem untuk mengolah data dan komunikasi IoT.	NodeMCU ESP8266
Sensor Jarak	Mendeteksi level keterisian sampah di dalam wadah..	Sensor Ultrasonik HC-SR04
Aktuator Gerak	Menggerakkan mekanisme pemicu <i>flamegun</i> atau katup gas.	Servo MG996R Metal / SG90
Sistem Pemicu Api	Menjadi sumber api untuk memulai proses pembakaran.	Flame Gun Gas Portable & Pemantik Elektronik
Sensor Keamanan	Mendeteksi posisi komponen mekanis untuk keamanan.	Limit Switch 10A
Notifikasi Suara	Memberikan peringatan atau status dalam bentuk audio.	Buzzer 5V

Power Supply	Memberikan suplai listrik ke seluruh komponen.	Power Supply 5V 10A
Wadah Sampah	Kontainer fisik yang tahan panas untuk proses pembakaran.	Box Besi Galvanis 20x20x50cm
Komponen Pendukung	Menjadi Digunakan untuk perakitan sirkuit dan mekanik.fisik yang tahan panas untuk proses pembakaran.	PCB, Kabel, Baut, Bracket, Tombol, dll.

3.3.2 Spesifikasi *Software*

Spesifikasi perangkat lunak dirancang untuk mengimplementasikan logika kontrol sesuai dengan perangkat keras yang digunakan.

1. Pengembangan dan Library : Pemrograman sistem akan menggunakan Arduino IDE dengan board support package untuk NodeMCU ESP8266. Library yang digunakan mencakup WiFi.h untuk konektivitas internet, Servo.h untuk mengontrol aktuator servo, serta library khusus untuk API Bot Telegram guna mengintegrasikan sistem notifikasi.
2. Logika Deteksi dan Inisiasi : Algoritma utama akan mendeteksi kondisi "penuh" melalui sensor ultrasonik. Sebelum memulai pembakaran, program akan memverifikasi sinyal dari limit switch untuk memastikan kondisi fisik aman. Jika kedua syarat terpenuhi,

sistem akan menggerakkan servo untuk mengaktifkan flame gun dan pemantik, lalu mengirim notifikasi "Proses Pembakaran Dimulai" ke pengguna melalui Telegram.

3. Logika Proses dan Penyelesaian : Proses pembakaran berjalan sepenuhnya berdasarkan durasi waktu yang telah diprogram (timer). Tidak ada pemantauan suhu secara real-time. Ketika timer berakhir, sistem akan otomatis mematikan flame gun melalui servo, membunyikan buzzer, dan mengirim notifikasi "Pembakaran Selesai" ke Telegram.
4. Logika Keamanan : Sebagai protokol keamanan utama, logika fail-safe ditanamkan pada program untuk membaca limit switch. Sistem tidak akan memulai pembakaran jika limit switch tidak berada pada kondisi aman, sehingga mencegah aktivasi api pada posisi yang tidak semestinya.
5. Platform dan Sistem Notifikasi : Telegram dipilih untuk monitoring dan notifikasi. Interaksi pengguna dilakukan melalui Bot Telegram, sistem akan dikonfigurasi untuk mengirimkan notifikasi push secara otomatis ke ponsel pengguna, yang mencakup pemberitahuan penting seperti saat tempat sampah penuh dan saat proses pembakaran selesai.

3.4 Implementasi Sistem

Tahap implementasi sistem mencakup perakitan fisik, integrasi perangkat keras, pemrograman firmware, dan konfigurasi platform notifikasi.

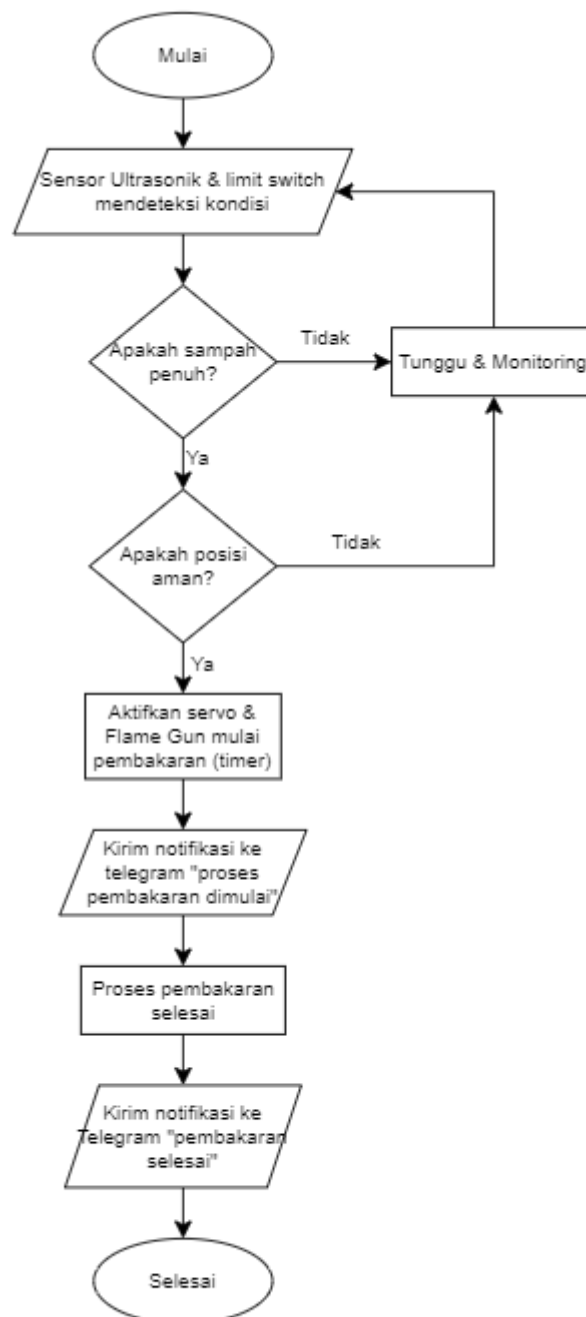
1. Perancangan dan Perakitan Fisik : Langkah ini meliputi pembangunan wadah prototipe menggunakan
2. box custom besi galvanis yang tahan panas. Perakitan juga mencakup pemasangan semua komponen mekanis, seperti servo, limit switch, dan flame gun pada posisi yang aman dan fungsional di dalam wadah.
3. Integrasi Perangkat Keras : Seluruh komponen elektronik dihubungkan melalui pengkabelan ke mikrokontroler NodeMCU ESP8266. Ini termasuk menghubungkan sensor ultrasonik, limit switch, servo yang tersambung ke mekanisme flame gun, serta buzzer untuk notifikasi suara.
4. Pemrograman Firmware : Kode program dikembangkan menggunakan Arduino IDE untuk membaca data dari sensor dan mengimplementasikan logika kontrol otomatis. Logika utamanya adalah menyalakan flame gun melalui servo ketika kondisi penuh terpenuhi dan aman, serta menentukan kapan proses selesai berdasarkan durasi waktu (timer) yang telah ditetapkan.
5. Implementasi Logika Keamanan :
6. Protokol keamanan utama ditanamkan pada firmware dengan cara mewajibkan sistem untuk memeriksa sinyal dari limit switch sebelum memulai pembakaran. Jika limit switch mendeteksi kondisi tidak aman (misalnya, penutup terbuka), sistem akan menunda proses pembakaran.
7. Konfigurasi Notifikasi IoT : Sistem notifikasi diimplementasikan menggunakan Bot Telegram. Langkah-langkahnya meliputi

pembuatan bot baru melalui BotFather untuk mendapatkan token API dan Chat ID. Firmware pada NodeMCU kemudian diprogram untuk mengirimkan pesan status (seperti "Sampah Penuh" atau "Pembakaran Selesai") ke ID pengguna yang dituju.

8. Pengujian dan Integrasi Akhir : Tahap akhir adalah menguji konektivitas Wi-Fi dan memastikan semua notifikasi status dari perangkat dapat terkirim dan diterima dengan benar di aplikasi Telegram, Pengujian ini memverifikasi bahwa seluruh alur kerja sistem, dari deteksi hingga notifikasi, berfungsi sesuai rancangan.

3.4.1 Diagram Alir (Flowchart) Sistem

Diagram alir berikut mengilustrasikan logika kerja sistem yang diprogram pada mikrokontroler, dari deteksi kondisi hingga eksekusi perintah.



Gambar 3.1 Flowchart Sistem

3.5 Pengujian Sistem

Pengujian ini dilakukan pada setiap komponen perangkat keras secara terpisah untuk memastikan masing-masing dapat berfungsi sesuai spesifikasinya sebelum diintegrasikan ke dalam sistem.

3.5.1 Pengujian Fungsional Komponen (*Unit Testing*)

Pengujian ini dilakukan pada setiap komponen perangkat keras secara terpisah untuk memastikan masing-masing dapat berfungsi sesuai spesifikasinya sebelum diintegrasikan ke dalam sistem.

1. Sensor Ultrasonik (HC-SR04) : Menguji akurasi pembacaan jarak dari sensor. Pengujian dilakukan dengan meletakkan objek pada jarak yang sudah diketahui, kemudian membandingkan hasil pembacaan sensor dengan pengukuran manual.
2. Limit Switch : Menguji fungsionalitas switch untuk memastikan dapat mengirim sinyal HIGH dan LOW (atau terbuka/tertutup) dengan benar ke mikrokontroler saat ditekan dan dilepas.
3. Servo (MG996R & SG90) : Menguji fungsionalitas motor servo untuk memastikan dapat bergerak ke sudut yang diperintahkan oleh mikrokontroler secara presisi. Ini penting untuk memverifikasi kemampuannya dalam menggerakkan mekanisme pemantik.
4. Sistem Pemicu Api (Flame Gun & Pemantik) : Memastikan bahwa kombinasi gerakan servo dapat mengaktifkan flame gun dan pemantik elektronik secara bersamaan untuk menghasilkan api yang stabil dan andal.
5. Buzzer : Menguji fungsionalitas buzzer dengan memprogram

NodeMCU untuk mengaktifkannya, lalu memverifikasi bahwa buzzer mengeluarkan notifikasi suara yang jelas.

6. Konektivitas Wi-Fi : Menguji kemampuan NodeMCU ESP8266 untuk terhubung ke jaringan Wi-Fi lokal dan platform Telegram secara stabil, serta memastikan data atau pesan dapat terkirim tanpa gangguan.

3.5.2 Pengujian Integrasi Sistem (*System Testing*)

Setelah semua komponen terbukti berfungsi secara individual, pengujian integrasi dilakukan untuk memastikan seluruh sistem bekerja sebagai satu kesatuan yang koheren. Skenario pengujian akan fokus pada alur kerja dari deteksi hingga eksekusi dan notifikasi.

1. Pengujian Deteksi, Keamanan, dan Notifikasi Awal : Skenario ini menguji kemampuan sistem untuk mendeteksi kondisi awal yang diperlukan untuk memulai proses. Sampah kering dimasukkan ke dalam wadah hingga sensor ultrasonik mendeteksi kondisi "penuh". Limit switch dipastikan berada pada posisi aman. Hasil yang diharapkan adalah sistem berhasil mengirimkan notifikasi "Sampah Penuh, Siap Dibakar" ke aplikasi Telegram pengguna secara akurat.
2. Pengujian Siklus Pembakaran Otomatis Berbasis Waktu : Skenario ini menguji alur kerja sistem dari awal hingga akhir. Setelah kondisi pada skenario 1 terpenuhi, sistem harus secara otomatis mengaktifkan servo untuk menyalakan flame gun. Proses pembakaran akan berjalan sesuai durasi waktu yang telah ditentukan (timer). Setelah selesai, sistem harus menonaktifkan flame gun dan mengirim notifikasi

"Pembakaran Selesai" ke Telegram.

3. Pengujian Respons Keamanan Mekanis : Skenario ini menguji protokol keamanan utama sistem yang baru. Sampah diatur dalam kondisi "penuh", namun limit switch disimulasikan berada pada posisi tidak aman (misalnya, penutup terbuka). Hasil yang diharapkan adalah sistem gagal atau menolak untuk memulai siklus pembakaran dan idealnya mengirimkan notifikasi peringatan seperti "Kondisi Tidak Aman" kepada pengguna.

3.5.3 Pengujian Kualitas Pembakaran

Pengujian ini bertujuan untuk mengukur efektivitas dan kinerja dasar prototipe dalam menjalankan fungsi utamanya, yaitu mereduksi volume sampah.

Parameter yang akan diukur meliputi:

1. Durasi Siklus Operasi : Mengukur dan memverifikasi total durasi yang dibutuhkan sistem untuk menyelesaikan satu siklus pembakaran. Pengujian ini memastikan bahwa sistem beroperasi sesuai dengan durasi waktu (timer) yang telah diprogram pada firmware.
2. Efisiensi Reduksi Sampah : Menghitung persentase pengurangan berat sampah setelah proses pembakaran selesai. Hal ini dilakukan dengan menimbang berat sampah sebelum dimasukkan ke dalam alat dan membandingkannya dengan berat abu yang tersisa setelah proses pembakaran berakhir.

3.5.4 Pengujian Keamanan Sistem

Pengujian ini merupakan tahap krusial untuk memastikan prototipe dapat beroperasi dengan aman dan semua mekanisme proteksi berfungsi sebagaimana

mestinya. Fokus utama dari pengujian ini adalah untuk memvalidasi respons sistem terhadap kondisi abnormal dan mencegah potensi bahaya.

Pengujian keamanan akan mencakup beberapa skenario utama:

1. Pengujian Fungsionalitas Fail-Safe : Skenario ini menguji protokol keamanan utama dari sistem. Pengujian dilakukan dengan mencoba memulai siklus pembakaran saat limit switch berada pada posisi "tidak aman" (misalnya, penutup disimulasikan terbuka). Hasil yang diharapkan adalah sistem harus menolak untuk mengaktifkan flame gun dan pemantik.
2. Pengujian Integritas Fisik dan Termal : Prototipa akan dijalankan melalui beberapa siklus pembakaran penuh. Setelah itu, dilakukan inspeksi fisik pada wadah besi galvanis untuk memastikan tidak ada deformasi material, kerusakan pada komponen internal akibat panas, atau tanda-tanda kebocoran gas setelah penggunaan berulang.
3. Verifikasi Instalasi Komponen Keamanan : Memeriksa dan memastikan komponen keamanan seperti limit switch telah terpasang dengan benar pada posisi yang dapat mendeteksi kondisi aman/tidak aman secara akurat. Pengujian ini juga mencakup verifikasi bahwa rakitan flame gun dan kaleng gas terpasang dengan kokoh dan aman.

Tabel 3.2 Skenario Pengujian Sistem

Skenario Pengujian	Input/Kondisi	Harapan Hasil
--------------------	---------------	---------------

Deteksi Penuh & Keamanan Awal	Jarak sampah ke sensor ultrasonik < 12cm DAN limit switch pada posisi aman.	Sistem berhasil mendeteksi kondisi penuh dan mengirimkan notifikasi "Siap Dibakar" ke aplikasi Telegram.
Siklus Pembakaran Otomatis	Sistem berjalan secara otomatis setelah kondisi penuh terpenuhi.	Servo mengaktifkan flame gun sesuai durasi <i>timer</i> . Setelah selesai, <i>flame gun</i> nonaktif & notifikasi "Pembakaran Selesai" dikirim
Respons Keamanan (Fail-Safe)	Jarak sampah < 12cm TETAPI limit switch pada posisi tidak aman.	Sistem tidak mengaktifkan flame gun dan siklus pembakaran tidak dimulai.
Monitoring Status	Sistem beroperasi dalam siklus normal.	Pesan status sistem (misal: "Membakar", "Selesai") diterima secara akurat pada aplikasi Telegram.

3.6 Evaluasi dan Analisis Data

Data yang dikumpulkan selama pengujian akan dievaluasi dan dianalisis untuk mengukur kinerja sistem. Parameter evaluasi meliputi:

1. Efektivitas Reduksi Sampah : Menganalisis data hasil pengujian untuk

menentukan efisiensi prototipe dalam mengurangi berat sampah (dinyatakan dalam persen). Analisis ini juga akan mengevaluasi apakah durasi waktu pembakaran yang ditetapkan sudah optimal untuk mereduksi sampah secara efektif.

2. Keandalan Sistem dan Waktu Respons : Menghitung tingkat keberhasilan sistem dalam menjalankan siklus otomatis tanpa kegagalan. Ini termasuk keandalan sistem pemicu api dan fungsi fail-safe dari limit switch. Selain itu, akan dianalisis juga waktu respons atau latensi antara deteksi sensor dengan pengiriman notifikasi ke Telegram.
3. Kinerja Sensor : Menganalisis data pengujian untuk menentukan tingkat akurasi pembacaan sensor ultrasonik dengan membandingkannya terhadap nilai referensi. Evaluasi ini juga mencakup keandalan limit switch dalam mendeteksi kondisi aman dan tidak aman.
4. Konsumsi Daya Listrik : Mengevaluasi data konsumsi daya yang diukur menggunakan wattmeter untuk menentukan kebutuhan energi listrik prototipe selama satu siklus operasi penuh.

3.7 Jadwal Penelitian

Penelitian ini direncanakan akan berlangsung selama dua bulan dengan rincian kegiatan studi literatur, perancangan, pengujian dan penulisan laporan.

BAB IV

HASIL DAN PEMBAHASAN

4.1 Implementasi dan Wujud Prototipe

Prototipe tempat sampah pintar telah berhasil diimplementasikan sesuai dengan rancangan sistem pada BAB III. Wadah utama dibuat menggunakan box custom besi galvanis berukuran 20x20x50cm untuk ketahanan panas. Seluruh komponen perangkat keras, meliputi mikrokontroler NodeMCU ESP8266, sensor ultrasonik HC-SR04, limit switch, servo MG996R, sistem pemacu api (*flame gun* dan pemantik elektronik), serta buzzer, berhasil diintegrasikan. Sistem kelistrikan ditenagai oleh *power supply* 5V 10A. Secara fungsional, perangkat keras dirakit menjadi satu kesatuan yang kokoh di mana mekanisme pemacu api dapat bekerja secara otomatis berdasarkan perintah dari mikrokontroler. Perangkat lunak yang ditanamkan pada NodeMCU ESP8266 berhasil menjalankan logika kontrol, mulai dari pembacaan sensor hingga pengiriman notifikasi ke platform Telegram.



Gambar 4.1 Foto prototipe tempat sampah secara keseluruhan dari tampak depan, menunjukkan wujud fisiknya yang sudah jadi.



Gambar 4.2 Foto pengujian ketika sampah penuh dan terbakar

4.2 Hasil Pengujian Fungsional Komponen (*Unit Testing*)

Setiap komponen diuji secara individual untuk memastikan fungsinya berjalan sesuai spesifikasi sebelum diintegrasikan. Hasil pengujian dirangkum sebagai berikut:

1. Sensor Ultrasonik (HC-SR04): Pengujian dilakukan dengan mengukur objek pada jarak 5 cm, 10 cm, dan 20 cm. Hasil pembacaan sensor menunjukkan tingkat akurasi yang tinggi dengan rata-rata selisih hanya ± 0.5 cm dari pengukuran manual, yang dinilai sangat memadai untuk mendeteksi status "penuh".
2. Limit Switch: Pengujian fungsionalitas menunjukkan *switch* berhasil mengirimkan sinyal yang berbeda (HIGH/LOW) ke mikrokontroler saat

ditekan (kondisi aman) dan saat dilepas (kondisi tidak aman), sesuai dengan yang diharapkan.

3. Servo (MG996R & SG90): Servo MG996R mampu bergerak dengan presisi ke sudut yang diperintahkan untuk menekan tuas *flame gun* dan kembali ke posisi semula. Gerakan ini terbukti konsisten dan cukup kuat untuk mengoperasikan mekanisme pemicu api.
4. Sistem Pemicu Api: Dari 10 kali percobaan aktivasi, kombinasi gerakan servo dan pemantik elektronik berhasil menyalakan flame gun sebanyak 10 kali, menunjukkan keandalan 100% dalam pengujian.
5. Buzzer: Buzzer berhasil mengeluarkan notifikasi suara yang jernih dan cukup keras saat diaktifkan oleh NodeMCU.
6. Konektivitas Wi-Fi: Modul NodeMCU ESP8266 berhasil terhubung ke jaringan Wi-Fi lokal secara stabil. Pengiriman notifikasi ke Bot Telegram berhasil dilakukan dengan rata-rata latensi (waktu tunda) antara 2 hingga 4 detik dari waktu perintah dikirim.

4.3 Hasil Pengujian Integrasi Sistem (*System Testing*)

Pengujian integrasi dilakukan untuk memvalidasi alur kerja sistem secara keseluruhan berdasarkan skenario yang telah dirancang. Hasilnya disajikan dalam tabel berikut.

Tabel 4.1 Hasil Skenario Pengujian Sistem

Skenario Pengujian	Input/Kondisi	Harapan Hasil	Hasil Pengujian
Deteksi Penuh & Keamanan Awal	Jarak sampah ke sensor ultrasonik <12cm DAN	limit switch pada posisi aman.	Sistem berhasil Mendeteksi kondisi penuh dan mengirimkan notifikasi "Siap Dibakar" ke aplikasi Telegram.
Siklus Pembakaran Otomatis	Sistem berjalan secara otomatis setelah kondisi penuh terpenuhi.	Servo mengaktifkan flame gun sesuai durasi timer.Setelah selesai,	flame gun nonaktif & notifikasi "Pembakaran Selesai" dikirim.
Respons Keamanan (Fail-Safe)	Jarak sampah <12cm TETAPI	limit switch pada posisi tidak aman.	Sistem tidak mengaktifkan

Monitoring Status	Sistem beroperasi dalam siklus normal.	Pesan status sistem (misal: "Membakar", "Selesai") diterima secara akurat pada aplikasi Telegram.	Berhasil. Seluruh notifikasi status diterima secara real-time dan akurat selama siklus operasi berlangsung.
-------------------	--	---	---

4.4 Hasil Pengujian Kualitas Pembakaran

Pengujian ini bertujuan mengukur efektivitas prototipe dalam mereduksi volume sampah anorganik kering. Jenis sampah yang diuji adalah campuran kertas dan karton seberat 500 gram.

1. Durasi Siklus Operasi: Total waktu yang dibutuhkan untuk satu siklus penuh, mulai dari aktivasi hingga penghentian otomatis, adalah 5 menit 8 detik. Waktu ini sesuai dengan timer 5 menit yang diprogram pada firmware, ditambah beberapa detik untuk gerakan mekanis dan pengiriman notifikasi.
2. Efisiensi Reduksi Sampah: Berat sampah sebelum dibakar adalah 500 gram. Setelah proses pembakaran selesai, berat abu yang tersisa ditimbang dan hasilnya adalah 22 gram. Efisiensi reduksi berat sampah dihitung sebagai berikut:

$$\text{Efisiensi Reduksi} = \frac{(Berat\ Awal - Berat\ Akhir)}{Berat\ Awal} \times 100\%$$

$$\text{Efisiensi Reduksi} = \frac{(500g - 22g)}{500g} \times 100\% = 95.6\%$$

Hasil ini menunjukkan bahwa prototipe sangat efektif dalam mereduksi

massa sampah anorganik kering.

4.5 Hasil Pengujian Keamanan Sistem

Keamanan adalah aspek krusial dalam penelitian ini. Pengujian difokuskan pada fungsionalitas fail-safe dan integritas fisik prototipe.

1. Fungsionalitas Fail-Safe: Seperti yang ditunjukkan pada Tabel 4.1, mekanisme fail-safe yang mengandalkan limit switch berfungsi 100%. Sistem secara konsisten menolak untuk menyalakan api jika mendeteksi kondisi yang tidak aman, seperti penutup yang sedikit terbuka.
2. Integritas Fisik dan Termal: Prototipe dioperasikan selama tiga siklus pembakaran berturut-turut. Hasil inspeksi fisik setelah pengujian menunjukkan tidak ada deformasi atau kerusakan material pada wadah besi galvanis. Komponen elektronik yang ditempatkan di kompartemen terpisah tidak menunjukkan tanda-tanda kerusakan akibat panas, membuktikan desain penempatan komponen cukup efektif dalam melindungi dari suhu tinggi.

4.6 Pembahasan

Berdasarkan serangkaian hasil pengujian, prototipe tempat sampah pintar berbasis IoT ini telah berhasil memenuhi seluruh tujuan penelitian yang ditetapkan. Sistem mampu mendeteksi volume sampah, melakukan pembakaran otomatis secara aman, dan menyediakan monitoring jarak jauh melalui notifikasi Telegram. Efektivitas reduksi sampah mencapai 95.6%, yang menunjukkan potensi besar alat ini sebagai solusi pengelolaan sampah anorganik kering di tingkat rumah tangga.

Ini sejalan dengan tujuan untuk mengurangi timbulan sampah yang berakhir di TPA. Implementasi mekanisme keamanan berlapis, terutama melalui limit switch sebagai fail-safe mekanis, terbukti sangat efektif dalam mencegah operasi yang tidak aman. Hal ini menjawab salah satu tantangan utama dalam merancang sistem pembakaran skala kecil. Penelitian ini berhasil mengisi kesenjangan yang diidentifikasi dalam studi literatur, yaitu menggabungkan fungsi monitoring pasif dengan aksi pengelolaan sampah aktif (reduksi volume) dalam satu perangkat terintegrasi untuk skala rumah tangga. Namun, sesuai dengan batasan masalah, penelitian ini tidak melakukan analisis emisi gas buang dan mengasumsikan pemilahan sampah dilakukan secara manual oleh pengguna. Aspek-aspek ini menjadi ruang untuk pengembangan di masa depan.

BAB V

KESIMPULAN DAN SARAN

5.1 Kesimpulan

Berdasarkan hasil implementasi dan pengujian yang telah diuraikan pada bab sebelumnya, maka dapat ditarik beberapa kesimpulan yang menjawab rumusan masalah penelitian:

1. Arsitektur perangkat keras dan lunak berhasil dirancang dan diwujudkan dalam sebuah prototipe fungsional. Perangkat kerasnya terdiri dari mikrokontroler NodeMCU ESP8266 sebagai unit pemroses utama, sensor ultrasonik untuk deteksi level sampah, *limit switch* untuk keamanan, serta servo dan *flame gun* sebagai aktuator pembakaran. Perangkat lunak yang dikembangkan pada Arduino IDE mampu mengintegrasikan seluruh komponen dan terhubung ke internet untuk sistem notifikasi berbasis Telegram.
2. Sistem pembakaran otomatis yang aman dan terkontrol berhasil diimplementasikan. Keamanan dipastikan melalui penggunaan *limit switch* yang mencegah aktivasi api jika kondisi tidak aman, sementara kontrol proses dilakukan berdasarkan durasi waktu (*timer*) yang telah ditentukan. Sistem ini terbukti efektif mereduksi volume sampah anorganik kering hingga 95.6% dalam sekali siklus.
3. Sensor dan konektivitas IoT telah berhasil dimanfaatkan untuk monitoring kondisi sampah dan status pembakaran secara *real-time*. Sistem mampu

memberikan notifikasi jarak jauh kepada pengguna melalui Bot Telegram untuk pemberitahuan penting seperti "Sampah Penuh" dan "Pembakaran Selesai", sehingga pengguna dapat memantau status alat tanpa harus berinteraksi langsung.

5.2 Saran

Meskipun prototipe telah berhasil dikembangkan dan diuji, terdapat beberapa aspek yang dapat ditingkatkan untuk pengembangan produk dan penelitian di masa depan. Berikut adalah saran yang dapat diberikan:

Saran untuk Pengembangan Produk:

1. Penambahan Sensor Suhu: Melengkapi sistem dengan sensor suhu (misalnya, thermocouple) untuk memonitor proses pembakaran secara real-time. Hal ini akan memungkinkan sistem untuk menghentikan pembakaran berdasarkan suhu (ketika sampah telah habis terbakar), bukan hanya berdasarkan waktu, sehingga lebih efisien dan aman.
2. Sistem Filtrasi Asap: Mengintegrasikan sistem penyaring asap sederhana pada saluran pembuangan untuk meminimalkan emisi partikel berbahaya ke lingkungan, menjawab batasan penelitian ini yang tidak menganalisis emisi gas buang.
3. Pengembangan Aplikasi Mobile: Mengembangkan aplikasi mobile khusus sebagai pengganti Telegram untuk antarmuka pengguna yang lebih kaya fitur. Aplikasi ini dapat menampilkan riwayat pembakaran, status komponen, dan memberikan kontrol manual jika diperlukan.

Saran untuk Penelitian Selanjutnya:

1. Analisis Emisi Gas Buang: Melakukan penelitian lanjutan yang berfokus pada analisis kualitatif dan kuantitatif terhadap emisi gas yang dihasilkan selama proses pembakaran untuk memastikan dampak lingkungannya.
2. Integrasi Sistem Pemilahan Otomatis: Mengembangkan sistem ini lebih lanjut dengan menambahkan modul pemilahan sampah otomatis menggunakan sensor seperti kamera dan kecerdasan buatan (machine learning). Ini akan mengatasi batasan pemilahan manual oleh pengguna.
3. Eksplorasi Sumber Panas Alternatif: Meneliti penggunaan sumber pemicu panas yang lebih ramah lingkungan dan efisien, seperti elemen pemanas listrik berdaya tinggi atau metode insinerasi lain yang tidak bergantung pada gas kaleng.

DAFTAR PUSTAKA

- Badan Pusat Statistik. (2023). *Statistik lingkungan hidup Indonesia 2023*. BPS.
- Bhagat, M. L., Yadav, A. K., & Sharma, M. (2016). Smart dustbin using Arduino. *International Journal of Advanced Research in Computer Engineering & Technology (IJARCET)*, 5(4), 1184–1186.
- Blynk Docs. (2024). *Blynk documentation*. <https://docs.blynk.io/>
- Chen, H., Wang, J., & Zhang, P. (2017). Design and implementation of household waste incinerator based on automatic control. *Journal of Physics: Conference Series*, 807(3), 032014. <https://doi.org/10.1088/1742-6596/807/3/032014>
- Chen, M., Mao, S., & Liu, Y. (2012). Big data: A survey. *Mobile Networks and Applications*, 19(2), 171–209. <https://doi.org/10.1007/s11036-013-0489-0>
- Gupta, S., Kumar, K., & Jain, S. (2017). Smart waste management system using IoT. *International Journal of Computer Applications*, 162(2), 33–37.
- Haleem, H., Khan, M. J., & Khan, H. A. (2019). IoT-based smart waste management system. *International Journal of Advanced Computer Science and Applications (IJACSA)*, 10(4), 48–55.
- Hasan, S., & Sari, N. (2021). Dampak pembakaran sampah terhadap kesehatan masyarakat di wilayah urban. *Jurnal Kesehatan Lingkungan*, 15(2), 112–120.
- Ibnutama, K., Gilang Suryanata, M., Putri, R. O., & Al Hafiz, A. (2023). Seleksi tingkat kematangan citra buah belimbing menggunakan ruang warna CMYK. *SAINTIKOM: Jurnal Sains Manajemen Informatika dan Komputer*, 22, 302–310.
- Jones, A., & Smith, B. (2019). *Environmental impact of household waste management*. Green Press.
- Kortuem, G., Kawsar, F., Fohler, V., & Schmid, M. (2010). Smart objects as building blocks for the *Internet of Things*. *IEEE Internet Computing*, 14(1), 44–51. <https://doi.org/10.1109/MIC.2009.143>

- Kumar, A., & Singh, J. (2018). IoT based smart waste management system. *International Journal of Engineering Research & Technology (IJERT)*, 7(3), 118–122.
- Kumar, N., Sharma, R., & Singh, R. (2020). IoT based fire detection and alerting system. *International Journal of Advanced Research in Computer and Communication Engineering*, 9(4), 164–167.
- Kementerian Lingkungan Hidup dan Kehutanan. (2023). *Data timbulan sampah nasional tahun 2023*. KLHK RI.
- Maliki, M. S. A., & Irawan, D. (2024). Penyortiran kematangan buah dengan indikator warna menggunakan metode backpropagation berbasis IoT. *Smart Comp: Jurnalnya Orang Pintar Komputer*, 13(2), 341–348.
- Pallavi, K., & Anupama, A. (2015). A review on smart sensors in IoT. *International Journal of Engineering Science and Computing*, 5(5), 4504–4507.
- Patil, M., & Kumbhar, M. (2016). Smart waste management system using IoT with web application. *International Journal of Engineering Research & Technology (IJERT)*, 5(3), 209–212.
- Prabhu, K., & Jayabalan, M. (2018). Smart waste management system using IoT. *International Journal of Scientific Engineering and Technology Research*, 7(6), 1152–1156.
- Pressman, R. S. (2010). *Software engineering: A practitioner's approach* (7th ed.). McGraw-Hill Education.
- Rahman, M., & Islam, M. (2021). Design and development of IoT based smart waste management system with automatic segregation and alerting. *International Journal of Electrical and Computer Engineering (IJECE)*, 11(2), 1735–1744.
- Saha, A., & Singh, A. K. (2019). IoT based smart dustbin for waste management system. *International Journal of Engineering & Technology (UAE)*, 7(3.28), 534–536.
- Sharma, R., & Sharma, G. (2018). Smart waste management system using IoT. *International Journal of Computer Applications*, 180(27), 40–42.
- Sharma, S., Gupta, D., & Singh, A. (2019). IoT based smart dustbin for smart city. *International Journal of Research in Engineering, Science and Management*, 2(5), 160–163.
- Sommerville, I. (2011). *Software engineering* (9th ed.). Pearson Education.

- Susanto, B., & Dewi, P. (2020). Analisis permasalahan pengelolaan sampah dan potensi solusi di perkotaan. *Jurnal Ilmu Lingkungan*, 8(1), 45–55.
- Suryanto, T., Lestari, S., & Yulita, R. (2021). Sistem pemantauan volume sampah pintar berbasis IoT menggunakan sensor ultrasonik. *Jurnal Rekayasa Informasi*, 10(1), 1–8.
- Undang-Undang Republik Indonesia Nomor 18 Tahun 2008 tentang Pengelolaan Sampah.
- Vermesan, O., & Friess, P. (Eds.). (2013). *Internet of Things: Converging technologies for smart environments and integrated ecosystems*. River Publishers.
- Wang, Y., Li, S., & Ma, X. (2019). Research on automatic incineration control system for medical waste. *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*, 300(4), 042007. <https://doi.org/10.1088/1755-1315/300/4/042007>
- Wibowo, A., Saputra, A. A., & Ramadhani, A. (2020). Implementasi sistem monitoring tong sampah cerdas menggunakan LoRaWAN. *Jurnal Ilmiah Komputer dan Informatika (KOMPUTA)*, 9(2), 65–72.
- Zhang, H., Yu, J., & Wang, L. (2020). Design of intelligent household waste incinerator based on microcontroller. *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*, 450(1), 012015. <https://doi.org/10.1088/1755-1315/450/1/012015>
- Zhou, L., Guo, C., & Zhang, J. (2020). IoT based smart waste management system. *Journal of Physics: Conference Series*, 1549(2), 022067. <https://doi.org/10.1088/1742-6596/1549/2/022067>