



TUGAS AKHIR (DM43300)

RANCANG BANGUN ALAT PEMBAKAR SAMPAH UNTUK MEMINIMALISIR ASAP SKALA RUMAH TANGGA

ANQI NUHANA

NRP. 0622040004

DOSEN PEMBIMBING

DHIKA ADITYA PURNOMO, S.ST., M.T.

FIPKA BISONO, S.ST., M.T.

PROGRAM STUDI D4 TEKNIK DESAIN DAN MANUFAKTUR
JURUSAN TEKNIK PERMESINAN KAPAL

POLITEKNIK PERKAPALAN NEGERI SURABAYA
SURABAYA

2026

“Halaman ini Sengaja Dikosongkan”



PPNS POLITEKNIK
PERKAPALAN
NEGERI SURABAYA

TUGAS AKHIR (DM43300)

**RANCANG BANGUN ALAT PEMBAKAR SAMPAH UNTUK
MEMINIMALISIR ASAP SKALA RUMAH TANGGA**

ANQI NUHANA

NRP. 0622040004

DOSEN PEMBIMBING

DHIKA ADITYA PURNOMO, S.ST., M.T.

FIPKA BISONO, S.ST., M.T.

**PROGRAM STUDI D4 TEKNIK DESAIN DAN MANUFAKTUR
JURUSAN TEKNIK PERMESINAN KAPAL
POLITEKNIK PERKAPALAN NEGERI SURABAYA SURABAYA
2026**

“Halaman ini Sengaja Dikosongkan”

LEMBAR PENGESAHAN

TUGAS AKHIR

RANCANG BANGUN ALAT PEMBAKAR SAMPAH UNTUK MEMINIMALISIR ASAP SKALA RUMAH TANGGA

Disusun Oleh:

Anqi Nuhana

NRP 0622040004

Diajukan Untuk Memenuhi Salah Satu Syarat Kelulusan
Program Studi D4 - Teknik Desain dan Manufaktur
Jurusan Teknik Permesinan Kapal
POLITEKNIK PERKAPALAN NEGERI SURABAYA

Disetujui oleh Tim penguji Tugas Akhir Tanggal Ujian : 14 Juli 2026

Periode Wisuda : Oktober 2026

Menyetujui,

Dosen Penguji

1. Amanda Rosalina, S.T., M.T.

2. Fipka Bisono, S.ST., M.T.

3. Ridhani Anita Fajardini, S.Tr.T., M.T.

NIDN/NUPTK

(5559774675230232)

(0008078805)

(9361775676230163)

Tanda Tangan

()

(.....)

()

Dosen Pembimbing

1. Dhika Aditya Purnomo, S.ST., M.T.

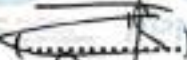
2. Fipka Bisono, S.ST., M.T.

NIDN/NUPTK

(0007108902)

(0008078805)

Tanda Tangan

()

(.....)

Menyetujui
Ketua Jurusan,



Dr. Ir. Privo Agus Setiawan, S.T., M.T.
NIP. 197708192005011001

Mengetahui
Koordinator Program Studi,

()

Dhika Aditya Purnomo, S.ST., M.T.
NIP. 198910072019031008

“Halaman ini Sengaja Dikosongkan”



PERNYATAAN BEBAS PLAGIAT

No. : F.WD I.021
Date : 3 Nopember 2015
Rev. : 01
Page : 1 dari 1

Yang bertandatangan dibawah ini :

Nama : Anqi Nuhana

NRP. : 0622040004

Jurusan/Prodi : Teknik Permesinan Kapal/Teknik Desain dan Manufaktur

Dengan ini menyatakan dengan sesungguhnya bahwa :

Tugas Akhir yang akan saya kerjakan dengan judul :

RANCANG BANGUN ALAT PEMBAKAR SAMPAH UNTUK MEMINIMALISIR ASAP SKALA RUMAH TANGGA

Adalah benar karya saya sendiri dan bukan plagiat dari karya orang lain.

Apabila dikemudian hari terbukti terdapat plagiat dalam karya ilmiah tersebut, maka saya bersedia menerima **sanksi** sesuai ketentuan peraturan yang berlaku.

Demikian surat pernyataan ini saya buat dengan penuh tanggung jawab.

Surabaya, 7 September 2026

Yang membuat pernyataan,


(Anqi Nuhana)
NRP. 0622040004

“Halaman ini Sengaja Dikosongkan”

KATA PENGANTAR

Puji syukur penulis sampaikan kepada Tuhan Yang Maha Esa atas berkat, kasih sayang, dan pertolongan-Nya, penulis dapat menyelesaikan Tugas Akhir yang berjudul **“Rancang Bangun Alat Pembakar Sampah Untuk Meminimalisir Asap Skala Rumah Tangga”**. Tugas Akhir ini disusun guna memenuhi persyaratan dalam memperoleh gelar sarjana terapan di Politeknik Perkapalan Negeri Surabaya.

Penulis menyadari bahwa dalam proses pengerjaan dan penyusunan tugas akhir ini tidak terlepas dari bantuan dan dorongan dari berbagai pihak. Oleh karena itu, penulis mengucapkan rasa terima kasih kepada:

1. Kedua orang tua serta keluarga besar penulis yang telah memberi dukungan baik secara moril maupun materiil kepada penulis.
2. Bapak Rachmad Tri Soelistijono, S.T., M.T., selaku Direktur Politeknik Perkapalan Negeri Surabaya.
3. Bapak Dr. Ir. Priyo Agus Setiawan, S.T., M.T. selaku Ketua Jurusan Teknik Permesinan Kapal.
4. Bapak Dhika Aditya Purnomo, S.ST.,M.T. selaku Koordinator Program Studi D4 – Teknik Desain dan Manufaktur.
5. Bapak Fipka Bisono, S.,ST.M.T. selaku Koordinator Tugas Akhir Program Studi Teknik Desain dan Manufaktur.
6. Bapak Dhika Aditya Purnomo, S.ST.,M.T., dan Bapak Fipka Bisono, S.,ST.M.T. selaku Dosen Pembimbing yang memberikan arahan untuk penulis dalam pengerjaan tugas akhir ini.
7. Tim dosen penguji selaku penguji tugas akhir yang telah memberikan koreksi, saran, serta arahan yang bermanfaat dalam penulisan tugas akhir yang baik.
8. Bapak dan Ibu Dosen pengajar serta seluruh staf Politeknik Perkapalan Negeri Surabaya yang telah membekali ilmu yang bermanfaat kepada penulis selama masa perkuliahan.
9. Teman-teman Teknik Desain dan Manufaktur angkatan 2022 yang telah membantu dan memberikan dukungan kepada penulis.

10. Semua pihak yang tidak dapat disebutkan satu persatu yang telah memberikan doa dan dukungan kepada penulis.

Penulis menyadari bahwa masih banyak kekurangan dalam penulisan maupun penyusunan laporan tugas akhir ini, penulis sangat mengharapkan kritik dan saran yang membangun untuk menyempurnakannya. Semoga laporan tugas akhir ini dapat bermanfaat dan memberikan kontribusi bagi kemajuan dunia industri manufaktur.

Surabaya, 20 Juli 2026

Penulis

RANCANG BANGUN ALAT PEMBAKAR SAMPAH UNTUK MEMINIMALISIR ASAP SKALA RUMAH TANGGA

ANQI NUHANA

ABSTRAK

Permasalahan sampah di Indonesia, terutama pada tingkat rumah tangga, menjadi tantangan besar yang memerlukan solusi efektif dan ramah lingkungan. Sampah harian nasional mencapai 151.921 ton dengan pengumpulan hanya sekitar 80%, memicu maraknya praktik pembakaran terbuka (*open burning*) yang menghasilkan emisi berbahaya. Penelitian ini bertujuan merancang, menghitung rincian anggaran biaya (RAB), Fabrikasi Alat, aserta menguji alat pembakar sampah minim asap skala rumah tangga dengan mengintegrasikan metode *Pahl and Beitz* untuk pengembangan konsep desain serta *Quality Function Deployment* untuk identifikasi kebutuhan pengguna. Hasil penelitian menunjukkan desain terpilih (Variasi Konsep 2) menggunakan tungku silinder berbahan pelat galvanis 1.2 mm berkapasitas 1 kg sampah plastik, dikombinasikan dengan sistem pencucian asap *wet scrubber* berbasis tangki drum 50 liter dan pompa sirkulasi air. Total biaya produksi alat ini sangat ekonomis, yaitu Rp1.739.000,-. Pengujian fungsional terhadap 5 jenis sampah kering rumah tangga seberat 1 kg membuktikan alat ini mampu mereduksi kepekatan asap secara signifikan. Asap pembakaran sampah ranting kayu dan kertas mampu diredam total menjadi tidak terlihat (Skala Ringelmann 0 / Opasitas 0%), sedangkan untuk sampah plastik, daun kering, dan campuran mampu diturunkan hingga mencapai kategori putih sangat tipis (Skala Ringelmann 1 / Opasitas 20%).

Kata Kunci: *Insinerator* Rumah Tangga; Minim Asap; *Wet scrubber*; *Pahl & Beitz*; *QFD*

“Halaman ini Sengaja Dikosongkan”

DESIGN AND CONSTRUCTION OF A HOUSEHOLD-SCALE WASTE INCINERATOR TO MINIMIZE SMOKE EMISSIONS

ANQI NUHANA

ABSTRACT

Household waste management remains a major environmental challenge in Indonesia, requiring effective and environmentally friendly solutions. National daily waste generation reaches approximately 151,921 tons, yet only about 80% is collected, leading to widespread open burning that produces hazardous emissions. This study aimed to design a low-smoke household waste incinerator, estimate the production cost (Bill of Materials and Cost Estimation), fabricate it, and evaluate its performance by integrating the Pahl and Beitz design methodology for concept development with the Quality Function Deployment (QFD) method to identify user requirements. The results indicated that the selected design (Concept Variation 2) consists of a cylindrical combustion chamber made of 1.2 mm galvanized steel plate with a capacity of 1 kg of plastic waste, integrated with a wet scrubber smoke treatment system using a 50-liter drum water tank and a water circulation pump. The total production cost of the prototype was relatively economical at IDR 1,739,000. Functional testing using five types of 1 kg dry household waste demonstrated that the proposed system effectively reduced smoke density. Smoke generated from burning wood twigs and paper was completely eliminated, resulting in Ringelmann Scale 0 (0% opacity). However, smoke produced from plastic waste, dry leaves, and mixed waste was reduced to the category very very thin white smoke, corresponding to Ringelmann Scale 1 (20% opacity).

Keywords: Household Incinerator; Low-Smoke Incinerator; Wet scrubber; Pahl and Beitz Method; Quality Function Deployment (QFD)

“Halaman ini Sengaja Dikosongkan”

DAFTAR ISI

JUDUL	1
LEMBAR PENGESAHAN	iii
LEMBAR PLAGIASI.....	v
KATA PENGANTAR.....	vii
ABSTRAK	ix
ABSTRACT.....	xi
DAFTAR ISI	xiii
DAFTAR GAMBAR	xvii
DAFTAR TABEL.....	xxi
BAB 1 PENDAHULUAN	1
1.1 Latar Belakang	1
1.2 Rumusan Masalah	4
1.3 Tujuan.....	5
1.4 Manfaat Penelitian	5
1.5 Batasan Masalah.....	5
BAB 2 KAJIAN PUSTAKA.....	7
2.1 Penelitian Terdahulu.....	7
2.2 Sampah.....	10
2.3 Sumber Sampah	11
2.3.1 Jenis Sampah.....	12
2.4 Pengolahan Sampah	13
2.4.1 Open Dumping	14
2.4.2 Sanitary Landfill.....	14
2.4.3 Pembakaran (incenaration).....	15
2.4.4 Pengolahan Berbasis Masyarakat.....	16
2.5 Pencemaran Udara	16
2.6 Pengukuran Asap Visual	18
2.7 Rendemen Arang.....	19

2.8 Rendemen Abu	20
2.9 Sistem Suplai Udara Pembakaran.....	21
2.10 Debit Gas Buang (Flue Gas Flow Rate)	22
2.11 Perancangan Diameter cerobong	22
2.12 Keamanan Pada proses Pembakaran	24
2.13 Air Limbah Sisa Pembakaran	24
2.13.5 Pergantian Air Untuk Bilas Asap.....	25
2.14 Klasifikasi Pemilihan Material	26
2.14.1 Plate	26
2.14.2 Pipa Besi.....	28
2.14.3 Pipa PVC	30
2.14.4 Pompa Air.....	31
2.14.5 Saringan Air	32
2.14.6 Insulasi (Peredam Panas).....	33
2.14.7 Blower	33
2.14.8 Profil L.....	34
2.14.9 Semen Tahan Api.....	34
2.15 Bagian-bagian pada alat pembakar sampah tanpa asap.....	35
2.15.1 Tungku Pembakaran	35
2.15.2 Tempat peletakan sampah diruang bakar.....	36
2.15.3 Tempat Sisa Abu Pembakaran	36
2.15.4 Pipa Besi Penyalur Asap.....	36
2.15.5 Tangki Pembilas Asap	37
2.15.6 Analisis <i>Software</i> Rangka Alat	37
2.16 Metode Pahl and Beitz.....	39
2.16.1 Perencanaan dan Penjelasan Tugas	40
2.16.2 Perancangan Konsep.....	40
2.16.3 Perancangan Detail.....	40
2.17 <i>Quality Function Deployment</i> (QFD).....	41
BAB 3 METODE PENELITIAN	43
3.1 Diagram Alir	43

3.2 Identifikasi Perumusan Masalah	44
3.3 Study Litelatur.....	44
3.4 Kajian Produk Eksisting.....	44
3.5 Identifikasi dan Penyusunan Daftar kebutuhan Produk	44
3.6 Perancangan dan Perhitungan Spesifikasi.....	45
3.7 Pembuatan Konsep Desain.....	45
3.8 Simulasi Software	46
3.9 Detail Drawing	46
3.10 Persiapan Alat dan Bahan.....	46
3.11 Pembuatan dan Perakitan Produk.....	47
3.12 Pengujian Alat	47
3.13 Rincian Biaya Produksi.....	48
3.14 Kesimpulan dan Saran.....	48
BAB 4 HASIL DAN PEMBAHASAN.....	51
4.1 Kajian Produk Eksisting.....	51
4.2 Identifikasi kebutuhan pelanggan	52
4.2.1 Identifikasi karakteristik responden	52
4.2.2 Penyebaran Wawancara.....	55
4.3 Matriks House of Quality (HOQ)	55
4.3.3 Mengidentifikasi Kebutuhan Pengguna	55
4.3.4 Penentuan Karakteristik Teknik (<i>Technical Response</i>)	56
4.3.5 Penentuan <i>Technical Correlations</i>	57
4.3.6 Penentuan <i>Relationship</i>	57
4.3.7 Membuat <i>House of Quality (HOQ)</i>	57
4.4 <i>Conceptual Design</i> (Perancangan Konsep).....	58
4.4.8 Pembuatan <i>Morphological Chart</i>	60
4.4.9 Pembuatan Seleksi Prinsip Solusi	62
4.5 Perhitungan Spesifikasi Alat	64
4.5.1 Perhitungan Volume Ruang Bakar	65
4.5.2 Ruang Sisa Abu Pembakaran	65
4.5.3 Pipa Cerobong Asap	66

4.5.4 Perhitungan Volume <i>Wet scrubber</i>	68
4.6 Analisis <i>Software</i> Kekuatan Rangka.....	68
4.6.1 Hasil Simulasi Safety Faktor	87
4.6.2 Hasil Simulasi <i>Stress Von Mises</i>	88
4.6.3 Hasil Simulasi <i>Displacement</i>	89
4.7 Pembuatan Detail Drawing.....	89
4.8 Proses Fabrikasi dan Perakitan	89
4.8.1 Alat yang Digunakan	90
4.8.2 Pembuatan ruang bakar dan abu sisa pembakaran	90
4.8.3 Proses pembuatan ruang penyiraman asap.	91
4.8.4 Pembuatan Pipa Penyalur Asap	92
4.8.5 Pembuatan Rangka	92
4.8.6 Perakitan komponen listrik scrubber	93
4.9 Hasil Pengujian Kelayakan dan Pembahasan.....	94
4.9.1 Hasil Pengujian Dengan <i>Ringelmann Chart</i>	94
4.9.2 Rendemen Arang dan abu.....	100
4.10 Rincian Anggaran Biaya.....	104
4.10.1 Biaya Pembelian Bahan Baku	104
4.10.2 Biaya Tenaga Kerja.....	105
4.10.3 Perhitungan Biaya Total	106
4.11 Pembahasan	106
4.11.4 Hasil Pembuatan Alat	107
4.11.5 Keberhasilan Alat.....	108
BAB 5 KESIMPULAN DAN SARAN	111
5.1 Kesimpulan.....	111
5.2 Saran	112
DAFTAR PUSTAKA'	113
Lampiran.....	119
BIODATA PENULIS.....	161

DAFTAR GAMBAR

Gambar 2. 1 Sampah Rumah Tangga.....	11
Gambar 2. 2 Sampah Organik.....	12
Gambar 2. 3 Sampah Anorganik	13
Gambar 2. 4 Sampah B3	13
Gambar 2. 5 <i>Open Dumping</i> Sampah	14
Gambar 2. 6 <i>Sanitary Landfill</i>	15
Gambar 2. 7 Sampah Yang Dibakar	16
Gambar 2.8 <i>ringelman chart</i>	18
Gambar 2. 9 Plat Baja Karbon	27
Gambar 2. 10 Plate Stainless steel	27
Gambar 2. 11 plat aluminium.....	28
Gambar 2. 12 pipa baja karbon	29
Gambar 2. 13 pipa galvanis.....	29
Gambar 2. 14 pipa stainless stell.....	30
Gambar 2. 15 pipa pvc	30
Gambar 2. 16 pompa sentrifugal.....	31
Gambar 2. 17 pompa <i>submersible</i>	32
Gambar 2. 18 filter air	32
Gambar 2. 19 <i>insulasi</i>	33
Gambar 2. 20 blower.....	33
Gambar 2. 21 profil L.....	34
Gambar 2. 22 semen tahan api	35
Gambar 2. 23 Alur Metode <i>Pahl and Beitz</i>	41
Gambar 3. 1 Flowchart Penelitian.....	43
Gambar 4. 1 Produk Eksisting	51
Gambar 4. 2 <i>House of Quality</i>	58
Gambar 4. 3 Prinsi Kerja Alat.....	59
Gambar 4. 4 Desain Terpilih	64

Gambar 4. 5 <i>Load Condition</i> pada Profil Konsep Terpilih yang akan Dihitung ...	70
Gambar 4. 6 Pemetaan <i>Load Condition Main Frame</i>	71
Gambar 4. 7 Nilai RA Dan RB Main Frame	72
Gambar 4. 8 Sketsa Potongan Main Frame	73
Gambar 4. 9 Potongan a Main Frame.....	73
Gambar 4. 10 Potongan b Main Frame	74
Gambar 4. 11 Potongan c Main Frame	75
Gambar 4. 12 Profil Konsep	77
Gambar 4. 13 Moment Diagram Main Frame	77
Gambar 4. 14 Shear Diagram Main Frame.....	77
Gambar 4. 15 Sketsa Potongan Base Frame Ruang Bakar.....	77
Gambar 4. 16 Momen Diagram Base Frame Ruang Bakar	79
Gambar 4. 17 Shear Diagram Base Frame Ruang Bakar	79
Gambar 4. 18 Pemetaan Load Condition Base Frame Ruang <i>Scrubber</i>	80
Gambar 4. 19 Momen Diagram Base Frame Ruang <i>scrubbe</i>	82
Gambar 4. 20 Shear Diagram Base Frame Ruang Scrubber	82
Gambar 4. 21 Katalog Profil Siku	84
Gambar 4. 22 <i>Structural Load</i>	85
Gambar 4. 23 <i>Structural Constrain</i>	86
Gambar 4. 24 Pembebanan F1.....	86
Gambar 4. 25 Pembebanan F2.....	87
Gambar 4. 26 Pembebanan F3.....	87
Gambar 4. 27 Hasil Simulasi Safety Faktor	88
Gambar 4. 28 Hasil Simulasi <i>Stress Von Mises</i>	88
Gambar 4. 29 Hasil Simulasi <i>Displacement</i>	89
Gambar 4. 30 Pengerollan	91
Gambar 4. 31 Pemasangan Hupper	91
Gambar 4. 32 Pembuatan Ruang Scrubber.....	92
Gambar 4. 33 Pembuatan Pipa Penyalur Asap	92
Gambar 4. 34 Pembuatan Rangka	93
Gambar 4. 35 Pengecetan Rangka.....	93
Gambar 4. 36 Perakitan Komponen Listrik.....	94

Gambar 4. 37 Proses Pengayakan Arang Dan Abu	101
Gambar 4. 38 Hasil Pembuatan Alat	107

“Halaman ini Sengaja Dikosongkan”

DAFTAR TABEL

Tabel 2. 1 penelitian terdahulu	7
Tabel 2.2 Tabel respentasi Skala Ringelman.....	19
Tabel 2. 3 Tabel baku mutu maksimum Opasitas.....	19
Tabel 3. 1 Hasil Pemilihan Daftar Kebutuhan	45
Tabel 4. 1 Kriteria Produk.....	54
Tabel 4. 2 Atribut Produk	56
Tabel 4. 3 Morphological Chart	61
Tabel 4. 4 Tabel Variasi Konsep.....	62
Tabel 4. 5 Selection Chart	63
Tabel 4. 6 Tabel Parameter Material	82
Tabel 4. 7 Proses Penimbangan Sampah.....	95
Tabel 4. 8 Proses Penimbangan Untuk Sampah Campuran	95
Tabel 4. 9 Komparasi Tebal Asap.....	96
Tabel 4. 10 Proses Penimbangan Arang	101
Tabel 4. 11 Proses Penimbangan Abu	101
Tabel 4. 12 Hasil Rendemen Arang Dan Abu	104
Tabel 4. 13 Laporan Biaya Pembuatan Alat Pembakar Sampah Minim Asap	104
Tabel 4. 14 Biaya Pembuatan Rangka.....	105
Tabel 4. 15 Biaya Pembuatan Ruang Bakar	105
Tabel 4. 16 Biaya Pembuatan Ruang Pembilas Asap Dan Pipa Penyalur Asap...	105
Tabel 4. 17 Biaya Pembuatan Dan Perakitan Tollbox Serta Tempat Penyaring Air	106
Tabel 4. 18 Biaya Perangkaian Sistem Kelistrikan	106
Tabel 5. 1 Hasil Alat.....	111

BAB 1

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Sampah merupakan limbah yang dihasilkan dari aktivitas manusia, baik yang berasal dari rumah tangga maupun industri. Menurut WHO (*World Health Organisation*) sampah adalah materi yang tidak lagi berguna, tidak terpakai, tidak diinginkan, atau dibuang, yang berasal dari aktivitas manusia dan tidak terjadi secara alami (WHO, 2024). WHO juga menyatakan bahwa permasalahan sampah saat ini menjadi salah satu tantangan terbesar yang dihadapi oleh seluruh dunia. Pada tahun 2025, jumlah sampah yang dihasilkan di seluruh dunia diperkirakan meningkat sebesar 70%, dari 1,3 miliar ton per tahun menjadi 2,2 miliar ton per tahun. Peningkatan tersebut dipengaruhi oleh pertumbuhan negara-negara berkembang, termasuk Indonesia (WHO, 2024). Secara nasional, Indonesia menghasilkan sekitar 151.921 ton sampah setiap harinya. Kondisi ini menunjukkan bahwa setiap penduduk Indonesia menghasilkan rata-rata sekitar 0,85 kg sampah padat per hari, dengan tingkat pengumpulan sampah yang hanya mencapai sekitar 80%, sementara sisanya masih dibuang tanpa pengelolaan yang memadai (Setyaningrum, 2015).

Keterbatasan pengolahan sampah pada skala rumah tangga menjadi salah satu permasalahan yang sering dijumpai, terutama pada permukiman padat penduduk. Hal ini disebabkan oleh kurangnya layanan pengolahan sampah serta penanganan sampah yang masih menggunakan cara konvensional. Kondisi tersebut mendorong masyarakat untuk melakukan pembakaran sampah di lahan terbuka sebagai salah satu solusi pengolahan sampah karena dianggap lebih cepat, praktis, dan tidak memerlukan peralatan tambahan. Namun, pembakaran terbuka menimbulkan berbagai permasalahan lingkungan. Dampak yang paling nyata dari pembakaran sampah secara terbuka adalah terjadinya polusi udara. Pembakaran yang tidak sempurna menghasilkan asap tebal serta emisi gas buang yang berbahaya bagi lingkungan. Selain itu, dampak pembakaran terbuka juga berpengaruh terhadap kesehatan manusia. Zat-zat berbahaya yang dihasilkan selama proses

pembakaran dapat menyebabkan berbagai penyakit, khususnya pada sistem pernapasan. Menurut Sangkham et al. (2024), paparan gas hasil pembakaran sampah di lahan terbuka berpotensi menyebabkan gangguan kesehatan, terutama pada sistem paru-paru. Hal ini menunjukkan bahwa praktik pembakaran sampah terbuka belum sesuai dengan prinsip pengelolaan sampah yang berkelanjutan.

Berbagai upaya telah dilakukan untuk mengatasi permasalahan sampah, baik pada skala kecil maupun skala besar. Salah satu pendekatan yang umum diterapkan adalah konsep 3R, yaitu *reduce*, *reuse*, dan *recycle*, yang bertujuan untuk mengurangi timbunan sampah sejak dari sumbernya. Penerapan konsep 3R dinilai relatif mudah dilakukan pada skala rumah tangga dan mampu mengurangi jumlah sampah yang dihasilkan (Rafidah et al., 2025). Selain itu, pengomposan sampah organik juga menjadi alternatif pengolahan sampah yang berkelanjutan, di mana hasil pengomposan dapat dimanfaatkan sebagai pupuk untuk kegiatan pertanian atau bercocok tanam (Afiatun et al., 2024). Namun, penerapan pengolahan sampah di tingkat rumah tangga masih belum optimal akibat rendahnya kesadaran masyarakat dalam melakukan pemilahan dan pengolahan sampah.

Pembakaran sampah masih menjadi salah satu alternatif pengolahan yang banyak digunakan, terutama di lingkungan yang memiliki keterbatasan pengetahuan dan fasilitas pengelolaan sampah (Faridawati and Sudarti, 2021). Meskipun metode ini memiliki risiko terhadap kesehatan dan lingkungan akibat emisi gas buang, pembakaran sampah tetap dilakukan karena kemudahannya. Oleh karena itu, diperlukan pengembangan metode pembakaran sampah yang sederhana, aman, serta memperhatikan aspek kesehatan dan lingkungan (Fazha N et al., 2025). Pembakaran sampah pada temperatur tinggi diketahui mampu menghancurkan mikroorganisme patogen dan senyawa berbahaya, sehingga dapat menurunkan risiko pencemaran lingkungan dan dampak kesehatan yang ditimbulkan oleh sampah yang tidak terkelola dengan baik (Dewi et al., 2024).

Teknologi yang dapat digunakan sebagai pendekatan dalam mengatasi permasalahan tersebut adalah rancang bangun alat pembakaran sampah dengan sistem yang terkendali dan efisien. Proses pembakaran yang dirancang dan dikendalikan dengan baik dapat meningkatkan efisiensi energi serta menurunkan emisi gas buang berbahaya. Pembakaran yang optimal dapat dicapai melalui

pengaturan aliran udara yang tepat, pengendalian dan peningkatan suhu pembakaran, serta desain ruang bakar yang mendukung proses oksidasi secara maksimal. Upaya ini bertujuan untuk mengurangi asap dan meminimalkan dampak negatif pembakaran terhadap lingkungan sekitar (Bhikuning et al., 2025).

Sejumlah penelitian telah mengkaji penerapan teknologi penyaring asap pada alat pembakaran sampah, khususnya insinerator, sebagai upaya untuk menekan emisi gas buang. Sistem penyaringan tersebut umumnya terdiri atas beberapa komponen, seperti *quencher*, karbon aktif, kapur tohor, dan *bag filter*, yang berfungsi untuk menurunkan tingkat polusi udara selama proses pembakaran sampah (Fenny Muldiani et al., 2024). Selain itu, penelitian mengenai *smokeless burn barrel* menunjukkan bahwa penerapan prinsip pembakaran ganda, yaitu pembakaran primer dan sekunder dengan pengaturan aliran udara, mampu meningkatkan efisiensi pembakaran serta mengurangi asap dan residu abu dibandingkan dengan pembakaran terbuka secara konvensional (Fitroh and Ilham NZ, 2025).

Selain itu, penelitian tentang alat pembakaran sampah tanpa asap ditingkat komunitas, menggunakan drum bekas yang dimodifikasi dengan ventilasi serta penambahan pengaturan oksigen yang masuk sebagai upaya untuk mencapai pembakaran yang lebih efisien dan emisi gas buang sisa pembakaran lebih sedikit. Serta, memberikan pengaruh terhadap pengguna di Tingkat desa serta penilaian terhadap lingkungan yang lebih ramah dibandingkan dengan metode pembakaran secara terbuka (Hafizh and Rosmawati, 2025). selain itu, perancangan alat yang meneliti tentang bagaimana mengolah sampah dengan sistem pembakaran tertutup dan control suhu. Pada penelitian ini menunjukkan bahwa incinerator smokeless dengan menggunakan suhu pembakaran secara optimal bisa membuat asap yang keluar menjadi sedikit dan juga residu hasil pengolahan bisa diolah dan dimanfaatkan Kembali (Permana and Iqbal, 2019).

Berdasarkan penelitian-penelitian terdahulu, dapat diketahui bahwa sebagian besar pengembangan alat pembakaran sampah tanpa asap masih berfokus pada skala komunitas, institusi, atau semi-industri. Alat-alat tersebut umumnya memiliki desain berukuran besar, menggunakan sistem filtrasi yang kompleks, serta membutuhkan biaya pembuatan dan perawatan yang relatif tinggi. Meskipun

terbukti mampu menurunkan emisi asap, penerapan alat tersebut belum sepenuhnya mempertimbangkan keterbatasan ruang, kemudahan operasional, serta aspek keselamatan apabila digunakan pada skala rumah tangga. Selain itu, sebagian besar penelitian hanya menitikberatkan pada efektivitas teknis pengurangan asap, tanpa membahas secara mendalam aspek kesederhanaan konstruksi, kemudahan pemeliharaan, dan kesesuaian alat dengan kebiasaan pengguna rumah tangga. Padahal, masyarakat umumnya membutuhkan alat pengolahan sampah yang ringkas, berbiaya rendah, aman, dan mudah dioperasikan tanpa memerlukan keterampilan teknis khusus. Sistem filtrasi yang kompleks pada beberapa insinerator juga dinilai kurang sesuai untuk diterapkan di lingkungan rumah tangga yang memiliki keterbatasan energi, biaya, dan ruang instalasi.

Oleh karena itu, tidak ada penelitian yang cukup tentang pembuatan alat pembakaran sampah untuk meminimalisir asap yang dikhususkan untuk digunakan dalam skala rumah tangga. Alat ini harus dapat menggabungkan prinsip pembakaran bersih dengan desain yang sederhana, ukuran minimalis, dan biaya rendah, serta sistem operasi yang aman dan mudah digunakan oleh masyarakat umum. Dengan merancang Alat Pembakaran Sampah Untuk Meminimalisir Asap menggunakan metode *pahl and beitz* dan *Quality Function Deployment (QFD)* sebagai pembuatan model yang dirancang untuk memenuhi kebutuhan pengguna rumah tangga, penelitian ini berharap dapat menjadi solusi alternatif untuk pengelolaan sampah di tingkat rumah tangga yang praktis, ramah lingkungan, dan berkelanjutan.

1.2 Rumusan Masalah

Berdasarkan uraian pada latar belakang, maka dapat dirumuskan beberapa permasalahan penelitian sebagai berikut:

1. Bagaimana desain Alat Pembakaran Sampah Untuk Meminimalisir Asap skala rumah tangga?
2. Bagaimana RAB (Rancangan Anggaran Biaya) Alat Pembakaran Sampah Untuk Meminimalisir Asap untuk skala rumah tangga?
3. Bagaimana hasil pengujian Alat Pembakaran Sampah Untuk Meminimalisir Asap untuk skala rumah tangga?

1.3 Tujuan

Adapun tujuan dari penelitian ini sebagai berikut:

1. Membuat desain Alat Pembakaran Sampah Untuk Meminimalisir Asap skala rumah tangga.
2. Dapat mengetahui RAB (Rancangan Anggaran biaya) Alat Pembakaran Sampah Untuk Meminimalisir Asap.
3. Mengetahui hasil uji coba Alat Pembakaran Sampah Untuk Meminimalisir Asap.

1.4 Manfaat Penelitian

Adapun manfaat penelitian sebagai berikut:

1. Memberikan kontribusi dalam pengembangan teknologi pengolahan sampah terutama pada skala rumah tangga.
2. Dapat mengetahui hasil fungsional dari Alat Pembakaran Sampah Untuk Meminimalisir Asap.
3. Dapat dibuat acuan sebagai Alat Pembakaran Sampah Untuk Meminimalisir Asap pada penelitian selanjutnya.
4. Untuk mengetahui proses manufaktur Alat Pembakaran Sampah Untuk Meminimalisir Asap.

1.5 Batasan Masalah

Batasan masalah diberikan supaya penulis bisa fokus ke penelitiannya dan terarah agar tidak ada pertanyaan yang diluar pembahsan dari penelitian. Berikut batsan masalahnya:

1. Penelitian ini berkonsentrasi pada pembuatan Alat Pembakaran Sampah Untuk Meminimalisir Asap yang dapat digunakan dalam skala rumah tangga dan komunitas kecil.
2. Jenis sampah yang digunakan untuk penelitian hanya sekedar sampah rumah tangga kering, seperti kertas, daun kering, dan plastik dengan kadar air rendah.
3. Penelitian ini tidak mengkaji hasil kandungan emisi gas buang secara mendalam.
4. Dalam penelitian ini las sudah dianggap memenuhi kriteria pengelasan.

“Halaman ini Sengaja Dikosongkan”

BAB 2

KAJIAN PUSTAKA

2.1 Penelitian Terdahulu

Dalam pelaksanaan suatu penelitian, penulis perlu mempertimbangkan serta melakukan perbandingan terhadap penelitian-penelitian terdahulu yang relevan. Oleh karena itu, rangkuman penelitian terdahulu disajikan dalam bentuk tabel yang dapat dilihat table 2.1 dibawah ini.

Tabel 2. 1 penelitian terdahulu

No	Nama	Judul Penelitian	Tahun	Hasil
1	Muldiani, Supriyanti,	Penerapan Teknologi Filter Asap Untuk Penanganan Gas Buang Insanoror Pada Pengolahan Sampah Ratu	2024	Sampah yang dibakar dalam <i>incinerator</i> ini hanya sampah organik. Jika sampah masih kondisi basah pada awal proses pembakaran awal untuk mengeringkan sampah setelah itu menimbulkan asap tebal, akan tetapi jika setelah proses pengeringan selesai sampah terbakar dengan sempurna dan asap yang keluar sudah sedikit
2	Fitroh, Nisrina Zukhrufa Ilham	Inovasi Smokeless Burn Barrel Menjadi Solusi Ramah Lingkungan untuk Mengatasi Pencemaran Udara dari Pembakaran Sampah Terbuka	2025	Alat ini didukung dengan penambahan oksigen pada proses pembakaran, sehingga sampah yang dibakar akan terbakar sempurna dibandingkan dengan pembakaran konvensional. Suhu maksimum pada penelitian ini dengan menggunakan tambahan oksigen untuk penyempurnaan pembakaran mencapai 353.6 derajat celcius

No	Nama	Judul Penelitian	Tahun	Hasil
3	Afif Abdul Hafizh, Ery Rosmawati	Pembuatan Alat Pembakar Sampah Tanpa Asap Untuk Meminimalisir Polusi Udara Di Desa Cicinde Selatan	2025	Alat ini dilengkapi dengan ventilasi supaya saat pembakaran udara bisa diatur sebanyak apa. Hasil pembakaran dalam alat ini memiliki beberapa jenis. Jika sampah organik pembakaran cepat tetapi jika anorganik pembakaran sedikit lebih lama. Emisi yang dihasilkan juga berbeda jika sampah dari plastik asap menjadi pekat tetapi jika ventilasi dibuka pembakaran menjadi sempurna. Dan juga penelitian ini pada ruang pembakaran menggunakan drum bekas sehingga membantu meningkatkan suhu sehingga pembakaran menjadi lebih cepat
4	(Erwin Dhaniswara et al., 2025)	Rancang Bangun Mesin Pembakaran Sampah Otomatis Berbasis Arduino Dengan Filter Asap	2025	Dalam penerapan alat ini menggunakan Arduino nano sebagai monitoring. Hal ini mampu mengurangi emisi dan meningkatkan pembakaran secara signifikan. Dan pengendalian udara serta bahan bakar secara otomatis dapat membuat suhu pembakaran stabil mencapai 250° C-550° C dengan pembakaran maksimum mencapai 850° C yang memungkinkan proses oksidasi menjadi sempurna

No	Nama	Judul Penelitian	Tahun	Hasil
5	(Kemas Ridhuan et al., 2024)	Analisa Kinerja Alat Incenerator Pembakar Sampah Tanpa Asap Yang Ramah Lingkungan	2024	Hasil dari penelitian yaitu <i>incinerator</i> ini menggunakan bunner oli bekas sebagai pembakaran sampah dengan pengumpanan secara langsung dengan kapasitas 17,7 kg/jam. Dengan suhu maksimal 565.6° C. dan direduksi dengan penambahan sprayer air pada asap yang akan keluar sehingga menurunkan suhu sebesar 90.3% dan menjadikan asap yang dibuang ke lingkungan mempunyai suhu 54.5° C sehingga cukup aman bagi lingkungan
6	Ganda Permana A, M Iqbal	Mesin Pengolah Sampah Portable Multiguna Dengan Teknik Termocontrol Dan Termocople	2019	Penelitian ini yaitu mengembangkan mesin incinerator portable multi fungsi dengan penambahan termocontrol dan termocople yang berguna untuk mengoptimalkan pembakaran sampai 400° C-600° C yang berguna untuk mengurangi emisi dan abu yang ramah bagi lingkungan

Berdasarkan hasil penelitian terdahulu, pengembangan alat pembakaran sampah tanpa asap umumnya telah difokuskan pada peningkatan efisiensi pembakaran melalui pengaturan suplai udara, peningkatan suhu pembakaran, penggunaan sistem filtrasi asap, serta penerapan kontrol otomatis berbasis sensor dan mikrokontroler. Berbagai pendekatan tersebut terbukti mampu menurunkan emisi gas buang dan menghasilkan pembakaran yang lebih sempurna, baik pada incinerator berbasis filter asap, *smokeless burn barrel*, maupun mesin pembakaran otomatis dan portabel. Namun, sebagian besar penelitian tersebut masih ditujukan untuk skala komunitas, institusi, atau semi-industri dengan desain alat yang relatif

besar, konstruksi yang kompleks, serta biaya pembuatan dan perawatan yang tinggi. Selain itu, aspek kesederhanaan desain, kemudahan pengoperasian, keterbatasan ruang, serta tingkat keselamatan pengguna pada skala rumah tangga belum menjadi fokus utama dalam penelitian sebelumnya. Oleh karena itu, diperlukan penelitian lebih lanjut mengenai Alat Pembakaran Sampah Untuk Meminimalisir Asap yang secara khusus ditujukan untuk skala rumah tangga, dengan mengintegrasikan prinsip pembakaran bersih dalam desain yang sederhana, berukuran minimalis, berbiaya rendah, aman, dan mudah dioperasikan, sehingga dapat menjadi solusi alternatif pengelolaan sampah rumah tangga yang praktis, ramah lingkungan, dan berkelanjutan.

2.2 Sampah

Menurut UU RI No 18 Tahun (2008) Sampah merupakan sisa dari aktivitas sehari-hari manusia maupun proses alam yang berbentuk padat atau semi padat, baik berupa bahan organik maupun anorganik, yang bersifat dapat terurai maupun tidak dapat terurai, serta dibuang karena tidak lagi memiliki nilai guna. Sedangkan SNI 19-2454-(2002) memberikan penjelasan bahwa sampah adalah limbah yang mempunyai sifat padat, terdiri dari bahan organik maupun anorganik yang sudah tidak bisa digunakan dan dianggap tidak berguna dan sampah tersebut wajib dikelola secara tepat dan berkelanjutan agar tidak menimbulkan gangguan terhadap lingkungan, seperti pencemaran udara, air, dan tanah, serta untuk menjaga nilai dan umur teknis bangunan maupun infrastruktur yang dapat terdampak akibat penumpukan dan pengelolaan sampah yang tidak memadai. World Health Organization Organisation (1998), juga menyatakan bahwa Sampah merupakan limbah yang tidak lagi digunakan, tidak dimanfaatkan, tidak diinginkan, atau dibuang, yang berasal dari aktivitas manusia dan bukan terbentuk secara alami. Bisa dilihat pada Gambar 2.1



Gambar 2. 1 Sampah Rumah Tangga
(Sumber:Dokumentasi Pribadi)

2.3 Sumber Sampah

Sampah dapat ditemukan diberbagai tempat akan tetapi pada tempat tertentu sampah yang dihasilkan akan berbeda beda. Hal ini dikarenakan produktivitas sampah sesuai dengan aktivitas di tempat itu. Menurut penelitian oleh Vigil et al. (1993), sumber dari suatu sampah dapat dilihat dari aktivitas suatu tempat, sehingga jenis jenis sampah bisa dikategorikan sebagai berikut:

1. Sampah komersial merupakan jenis sampah yang dihasilkan dari kegiatan usaha dan pelayanan, seperti restoran, penginapan, hotel, pertokoan, pasar, serta fasilitas komersial lainnya.
2. Sampah basah dan sampah kering umumnya termasuk dalam kategori sampah permukiman atau rumah tangga, yang dihasilkan dari aktivitas sehari-hari di lingkungan rumah, khususnya kegiatan dapur.
3. Sampah institusi dihasilkan dari aktivitas yang berlangsung di fasilitas umum dan kelembagaan, seperti tempat ibadah, perkantoran, sekolah, dan institusi lainnya. Jenis sampah yang dihasilkan umumnya memiliki karakteristik yang serupa dengan sampah kering rumah tangga.
4. Sampah industri merupakan limbah yang dihasilkan dari berbagai kegiatan industri, seperti proses manufaktur, konstruksi, fabrikasi, serta aktivitas produksi lainnya.
5. Sampah dari lokasi pembangunan mencakup limbah yang dihasilkan dari kegiatan konstruksi, pemeliharaan, maupun pembongkaran bangunan, yang

umumnya berupa sisa beton, pasir, kayu, besi, serta puing-puing material bangunan.

6. Sampah pelayanan kesehatan merupakan limbah medis yang berasal dari fasilitas kesehatan dan harus dikelola secara khusus serta hati-hati, karena berpotensi mengandung mikroorganisme patogen yang dapat menimbulkan risiko penyakit.
7. Sampah umum dihasilkan dari area terbuka dan fasilitas publik, seperti jalan, lapangan, taman, pantai, serta kawasan rekreasi lainnya.
8. Sampah pertanian meliputi limbah yang berasal dari kegiatan pertanian, kehutanan, perikanan, perkebunan, dan peternakan, termasuk limbah bahan berbahaya dan beracun (B3) yang umumnya bersumber dari penggunaan bahan kimia dalam aktivitas tersebut.

2.3.1 Jenis Sampah

Menurut Enri Damanhuri Tri Padmi (2010), sampah dikelompokkan menjadi tiga jenis antara lain:

1. Sampah organik ialah sampah yang mudah terurai dan mudah membusuh, jenis sampah ini seperti tumbuhan, sisa makanan, bangkai Binatang, dan lain-lain. Bisa dilihat pada Gambar 2.2



Gambar 2. 2 Sampah Organik

Sumber: <https://www.asterra.id/artikel/sampah-organik/>

2. Sampah anorganik adalah sampah yang sulit terurai dan sulit membusuk seperti kaca, besi, plastic dan lain-lain. Bisa dilihat pada Gambar 2.3



Gambar 2. 3 Sampah Anorganik

Sumber: <https://www.kompas.com/sains/read/2023/11/14/153500723/beda-sampah-guna-ulang-dan-daur-ulang>

3. Sampah B3 (Bahan Berbahaya dan Beracun) merupakan sampah dari sisa sisa zat kimia yang beracun dan berbahaya seperti hasil industry, kesehatan, laboratorium dll. Biasanya cara mengolah sampah ini dilakukan secara khusus. Bisa dilihat pada Gambar 2.4



Gambar 2. 4 Sampah B3

Sumber: <https://dndindonesia.id/cara-pengelolaan-limbah-b3-yang-baik-dan-benar/>

2.4 Pengolahan Sampah

Pada UNDANG-UNDANG REPUBLIK INDONESIA NOMOR 18 TAHUN (2008) sudah diatur bagaimana cara pengolahan sampah yang menyeluruh, sistematis, dan berkelanjutan untuk meminimalisir dan penanganan sampah. Peraturan itu sudah menegaskan untuk menolah sampah dari awal sampai akhir. Pengolahan sampah merupakan cara untuk mencegah penimbunan sampah dan

pencegahannya (Hilman & Masnelyarti ,2005).menurut SNI 19-2454-(2002) ada beberapa cara di Indonesia dalam pengolahan sampah sebagai berikut:

2.4.1 Open Dumping

Metode ini dilakukan dengan membiarkan sampah terkumpul di suatu lokasi terbuka tanpa penutup serta tanpa adanya proses pengolahan lebih lanjut. Akibatnya sampah akan berbau busuk dan penyakit karena tidak ada pengolahan apapun. Cara ini paling banyak ditemukan di Indonesia. Bisa dilihat pada Gambar 2.5



Gambar 2. 5 Open Dumping Sampah

Sumber: <https://waste4change.com/blog/bahaya-pengelolaan-sampah-open-dumping/>

2.4.2 Sanitary Landfill

Pada metode *sanitary landfill*, sampah ditempatkan pada area tanah yang cekung dan kemudian ditutup dengan lapisan tanah hingga ketebalan tertentu. Proses ini dilakukan secara berlapis, yaitu dengan menimbun sampah dan tanah secara bergantian sehingga terbentuk lapisan-lapisan yang terkontrol. Selama pelaksanaannya, bagian dasar *landfill* dilengkapi dengan lapisan kedap air untuk mencegah pencemaran tanah dan air tanah. Selain itu, sistem ini juga dilengkapi dengan pipa drainase yang berfungsi untuk menyalurkan air lindi (*leachate*) yang dihasilkan dari proses penguraian sampah organik. Bisa dilihat pada Gambar 2.6



Gambar 2. 6 Sanitary Landfill

<https://waste4change.com/blog/sanitary-landfill-pengertian-contoh-keuntungan-dan-kerugian/>

2.4.3 Pembakaran (incenaration)

Meskipun proses pembakaran ini sering dilakukan, hal tersebut melanggar peraturan pemerintah karena dapat mengganggu hak pengguna jalan yang melintas di sekitar area pembakaran. Pada skala besar, alat yang digunakan adalah insinerator. Alat ini bekerja dengan membakar sampah di ruang pembakaran pertama pada suhu 600-800 °C, yang mengurangi massa sampah hingga 70-75%. Di ruang pembakaran kedua, suhu ditingkatkan menjadi 800–1100 °C untuk mengoksidasi senyawa gas yang belum sepenuhnya terbakar di ruang pembakaran pertama. Namun, perlu dicatat bahwa metode ini sering kali menghasilkan debu, asap, dan polusi partikulat yang dapat membahayakan kesehatan serta mengganggu kegiatan masyarakat. Dioksin, senyawa berbahaya yang terbentuk selama proses pembakaran, dapat menyebabkan kanker. *Dioksin* ini terbentuk ketika senyawa yang mengandung *klorin* serta *hidrokarbon* dibakar pada suhu lebih rendah sekitar 250°C. Dapat dilihat pada Gambar 2.7



Gambar 2. 7 Sampah Yang Dibakar

Sumber: <https://waste4change.com/blog/bahaya-sampah-plastik-jika-dibakar-asapnya-tidak-baik-bagi-kesehatan/>

2.4.4 Pengolahan Berbasis Masyarakat

Dalam Masyarakat Kampanye 3R—kurangi, gunakan, dan buang—dapat digunakan untuk mengatasi masalah pengelolaan sampah. Kampanye ini bertujuan untuk menghindari pola konsumsi berlebihan atau hanya mengonsumsi apa yang diperlukan. Segala sesuatu yang masih layak pakai harus dibuang dan digunakan kembali. Ini berarti kebiasaan konsumsi yang lebih rendah dan kemungkinan penumpukan sampah yang lebih rendah. *Recycle* atau *reprocessing* adalah proses mengolah barang bekas atau limbah untuk digunakan kembali. Jika pengurangan dan penggunaan kembali tidak dapat diterapkan lagi pada suatu produk atau sampah, *recycle* menjadi pilihan terakhir.

2.5 Pencemaran Udara

Pencemaran udara ialah suatu zat yang ketika masuk ke ruang atmosfer menjadikan udara ambien mutunya berkurang yang berdampak pada pemanasan global, kesehatan manusia, serta merusak kualitas lingkungan. Menurut Saptaningrum et al. (2024), terjadinya pencemaran udara dapat berasal dari banyak factor aktivitas manusia maupun proses alami yang menimbulkan atmosfer menjadi kurang seimbang. Pencemaran udara bisa terjadi karena pembakaran bahan bakar fosil, polusi kendaraan, industry, kebakaran hutan, bahkan pembakaran sampah dilahan terbuka. Jenis polutan dari hasil pembakaran terdiri dari berbagai macam jenis utama seperti *karbon monoksida* (CO), *nitrogen oksida* (NOx), *sulfur dioksida*

(SO₂), dan partikulat halus (PM_{2.5}) yang dapat menimbulkan pencemaran udara maupun Kesehatan. Adapun sumber pencemaran udara sebagai berikut:

1) Industry

Salah satu penyumbang pencemaran udara utama ialah industri. Fasilitas yang terdapat pada industri maupun pabrik menghasilkan banyak polusi udara berbentuk gas antara lain *karbon monoksida*, *sulfur dioksida*, dan juga *nitrogen oksida*) serta sisa pembakaran, pengolahan bahan mentah, dan pembuangan limbah yang menghasilkan partikel. Contohnya ialah batubara yang digunakan untuk pembangkit listrik ataupun rusaknya kualitas udara yang diakibatkan emisi yang dihasilkan minyak bumi (Saptaningrum et al., 2024).

2) Transportasi

Transportasi yang digunakan manusia yaitu kendaraan bermotor menjadi salah satu penyumbang polusi paling banyak karena menghasilkan gas buang karbon monoksida, nitrogen oksida, partikulat halus. Karena proses pembakaran fosil pada sistem motor menghasilkan polusi yang berbahaya bagi manusia.

3) Pertanian

Penggunaan pestisida maupun pembakaran sisa tanaman dan penggunaan pestisida kimia mengakibatkan polusi udara. Pembakaran sis tanaman menghasilkan senyawa gas karbon dioksida, metana, dan senyawa berbahaya lainnya. Penggunaan pupuk kimia juga meningkatkan emisi amonia yang berkontribusi pada pencemaran udara

4) Rumah Tangga

Pembakaran yang dilakukan dalam rumah tangga biasanya pembakaran bahan padat seperti kayu dan bio masa yang mengakibatkan pencemaran udara. Termasuk pembakaran sampah terbuka salah satu kegiatan yang sering terjadi di rumah tangga karena kurangnya fasilitas dan juga pengetahuan tentang pengelolaan sampah. Hasil dari kegiatan tersebut menghasilkan gas polusi udara seperti *karbon monoksida*, *partikulat*, dan senyawa berbahaya lainnya (Saptaningrum et al., 2024).

2.6 Pengukuran Asap Visual

Asap memiliki tingkat kepekatan yang secara ilmiah disebut sebagai opasitas, yaitu sejauh mana intensitas cahaya bisa menembus asap itu. Nilai yang ada pada opasitas asap biasanya digunakan untuk penilaian atau indikator pada sebuah pencemaran pada asap. Di skala industri biasanya cara mengukur asap menggunakan alat yaitu opacity meter, tetapi pada saat di lapangan yang tidak memiliki alat itu skala kepekatan asap bisa menggunakan *ringelmann* (Teknologi Lingkungan et al., 2023). Skala *Ringelmann chart* yaitu berupa alat yang digunakan untuk mengukur tingkat kekeruhan atau kepekatan asap. Metode ini sudah berstatus Standart Nasional Indonesia yang bernomor SNI 19-7117.11-2005. SNI. Metode ini dikembangkan oleh Method 9 USEPA. Jadi dalam pengukuran asap hitam di Indonesia harus menggunakan SNI ini. Pengukuran ini terdiri dari lima tingkat yang masing-masing diberi nomor dari 1 hingga 5, sesuai dengan Gambar 2.8, kartu tersebut memiliki gradasi warna dari putih hingga hitam pekat, yang menampilkan variasi kepekatan asap. Selain itu, kartu ini juga dilengkapi dengan skala yang menunjukkan persentase kepekatan asap pada masing-masing tingkatnya (choirul et al., 2018).



Gambar 2.8 *ringelman chart*

Sumber: (choirul et al., 2018)

Tabel 2.2 Tabel representasi Skala Ringelman

Skala Ringelman	Transmisi Cahaya Melalui Asap (%)	Opasitas (%)
0	100	0
1	80	20
2	60	40
3	40	60
4	20	80
5	0	100

Sumber: (choirul et al., 2018)

Pada Tabel 2.2 pengamat akan membandingkan tingkat kegelapan asap yang terlihat dengan level warna yang terdapat pada kartu, kemudian mencatat nilai yang paling mendekati. Pengamatan ini dilakukan secara berulang pada interval waktu tertentu untuk memperoleh nilai rata-rata kepekatan asap sepanjang periode operasi. Penelitian yang membandingkan hasil pengamatan menggunakan Ringelmann dengan pengukuran menggunakan opacity meter menunjukkan bahwa penilaian visual yang dilakukan dengan prosedur yang benar dapat menghasilkan hasil yang cukup konsisten dan dapat diandalkan untuk pemantauan lapangan. Semakin kecil skala ringelmann chart maka semakin kecil pula opasitas cahaya yang menembus asap. Untuk menghitung nilai ringelmann dapat dilihat pada persamaan berikut ini.

$$\text{Nilai} = \frac{\text{total nilai ringelmann}}{\text{jumlah pengamatan}} \quad (2.1)$$

Ketentuan dalam PERATURAN MENTERI NEGARA LINGKUNGAN HIDUP (2009), bisa dilihat pada Tabel 2.3 kadar opasitas maksimum untuk emisi pembakaran adalah 40%.

Tabel 2. 3 Tabel baku mutu maksimum Opasitas

No	Kadar Maksimum (%)	Metode
1	40	SNI 19.7117.11 2005

Sumber: ("PERATURAN MENTERI NEGARA LINGKUNGAN HIDUP," 2009)

2.7 Rendemen Arang

Rendemen arang merupakan persentase massa arang yang dihasilkan dari proses pembakaran atau karbonisasi terhadap massa awal bahan sebelum dibakar.

Parameter ini digunakan untuk mengetahui jumlah residu padat berupa arang yang masih tersisa setelah proses pembakaran berlangsung. Semakin rendah nilai rendemen arang, maka proses pembakaran cenderung semakin sempurna karena sebagian besar karbon telah teroksidasi menjadi gas hasil pembakaran. Selain itu, nilai rendemen arang dipengaruhi oleh karakteristik bahan bakar, suhu pembakaran, lama pembakaran, dan jumlah udara yang tersedia selama proses pembakaran.

Rendemen arang dihitung berdasarkan perbandingan antara massa arang yang dihasilkan dengan massa awal bahan yang dibakar (Asmara et al., 2024) sebagaimana ditunjukkan pada Persamaan (2.2).

$$\text{Rendemen arang (\%)} = \frac{m_a}{m_b} \times 100\% \quad (2.2)$$

Keterangan:

Rendemen Arang = rendemen arang (%)

m_a = massa arang hasil pembakaran (kg)

m_b = massa awal sampah yang dibakar (kg)

2.8 Rendemen Abu

Rendemen abu merupakan persentase massa abu yang dihasilkan setelah proses pembakaran dibandingkan dengan massa awal bahan yang dibakar. Abu merupakan residu anorganik yang tidak dapat terbakar lagi sehingga jumlahnya dapat digunakan sebagai indikator sisa hasil pembakaran. Nilai rendemen abu dipengaruhi oleh kandungan mineral dalam bahan bakar serta kondisi operasi pembakaran, seperti suhu, waktu tinggal, dan kecukupan udara pembakaran.

Dalam pengujian kinerja alat pembakar sampah, rendemen abu digunakan untuk mengetahui besarnya residu akhir yang dihasilkan dari proses pembakaran. Semakin kecil nilai rendemen abu pada sampah dengan kandungan mineral rendah, semakin baik proses pembakaran yang terjadi karena sebagian besar material telah terkonversi menjadi gas hasil pembakaran. (Asmara et al., 2024) Rendemen abu dihitung menggunakan Persamaan (2.3)

$$\text{Rendemen abu (\%)} = \frac{\text{massa abu}}{\text{massa sampah}} \times 100\% \quad (2.3)$$

Rendemen Abu = rendemen arang (%)

m_a = massa abu hasil pembakaran (kg)

m_b = massa awal sampah yang dibakar (kg)

2.9 Sistem Suplai Udara Pembakaran

Suplai udara merupakan salah satu faktor yang sangat menentukan keberhasilan proses pembakaran pada insinerator. Udara pembakaran berfungsi sebagai pemasok oksigen yang diperlukan dalam reaksi oksidasi bahan bakar sehingga proses pembakaran dapat berlangsung secara sempurna. Jumlah udara yang tidak mencukupi akan menyebabkan pembakaran tidak sempurna yang ditandai dengan meningkatnya pembentukan asap, karbon monoksida (CO), serta sisa arang yang tidak terbakar. Sebaliknya, udara yang terlalu berlebihan dapat menurunkan temperatur ruang bakar karena sebagian panas digunakan untuk memanaskan udara yang tidak ikut bereaksi.

Secara umum, sistem suplai udara pada insinerator dibedakan menjadi dua, yaitu *natural draft* dan *forced draft*. Sistem *natural draft* memanfaatkan perbedaan tekanan akibat perbedaan temperatur antara gas panas di dalam ruang bakar dengan udara luar sehingga udara masuk secara alami melalui saluran atau bukaan udara. Sementara itu, sistem *forced draft* menggunakan bantuan blower atau kipas untuk mengalirkan udara ke dalam ruang bakar sehingga jumlah udara pembakaran dapat dikendalikan sesuai kebutuhan proses pembakaran.

Pada penelitian ini digunakan sistem suplai udara kombinasi antara *natural draft* dan *forced draft*. Udara alami masuk melalui bukaan pada bagian bawah ruang bakar, sedangkan udara tambahan disuplai menggunakan blower berkapasitas kecil. Kombinasi kedua metode tersebut dipilih untuk meningkatkan ketersediaan oksigen selama proses pembakaran tanpa menghilangkan fungsi aliran udara alami. Dengan adanya blower, proses pembakaran diharapkan menjadi lebih stabil, temperatur ruang bakar dapat dipertahankan pada kondisi yang diinginkan, serta pembentukan asap akibat pembakaran tidak sempurna dapat dikurangi. Sementara itu, bukaan udara pada bagian bawah tetap dipertahankan agar proses pembakaran masih dapat berlangsung meskipun blower tidak beroperasi, sekaligus mencegah terjadinya tekanan berlebih di dalam ruang bakar.

Udara yang masuk ke dalam ruang bakar akan bereaksi dengan bahan bakar dan menghasilkan gas hasil pembakaran (*flue gas*). Selanjutnya, gas hasil

pembakaran dialirkan menuju cerobong dan sistem *wet scrubber* untuk menurunkan kandungan partikulat maupun gas pencemar sebelum dilepaskan ke atmosfer. Oleh karena itu, kapasitas blower, luas bukaan udara, dan diameter cerobong harus dirancang secara terpadu agar laju aliran udara masuk seimbang dengan laju aliran gas buang yang keluar. Perancangan yang sesuai akan menghasilkan proses pembakaran yang lebih efisien, meningkatkan efisiensi termal alat, serta mengurangi emisi yang dihasilkan selama proses pembakaran.

2.10 Debit Gas Buang (Flue Gas Flow Rate)

Gas buang (*flue gas*) merupakan hasil pembakaran yang terdiri atas karbon dioksida (CO₂), uap air (H₂O), nitrogen (N₂), sisa oksigen (O₂), serta sejumlah kecil gas pencemar dan partikulat. Besarnya debit gas buang dipengaruhi oleh massa sampah yang dibakar, nilai kalor bahan bakar, serta jumlah udara pembakaran yang digunakan selama proses pembakaran.

Menurut (Thabit et al., 2022), pembakaran sampah padat perkotaan (*municipal solid waste*) dengan nilai kalor sekitar 7 MJ/kg dan rasio udara berlebih (*excess air ratio*) sebesar 1,5 menghasilkan volume gas buang teoritis sekitar 2,55 Nm³/kg sampah. Nilai tersebut dapat digunakan sebagai pendekatan dalam menentukan debit gas buang pada tahap awal perancangan *insinerator* skala kecil. Debit gas buang selanjutnya dihitung berdasarkan kapasitas pembakaran dan waktu pembakaran sehingga diperoleh laju aliran gas yang akan melewati cerobong maupun sistem pengendalian emisi.

Debit gas buang dapat dihitung menggunakan persamaan berikut:

$$Q = \frac{V}{t} \quad (2.4)$$

Keterangan:

Q = Debit gas buang (m³/s)

V = Volume gas buang (m³)

t = waktu pembakaran (s)

2.11 Perancangan Diameter cerobong

Cerobong merupakan komponen yang berfungsi mengalirkan gas hasil pembakaran dari ruang bakar menuju atmosfer atau menuju sistem pengendalian emisi, seperti *wet scrubber*. Selain sebagai saluran pembuangan gas, cerobong juga

membantu menjaga kestabilan aliran gas sehingga tekanan di dalam ruang bakar tetap terkendali.

Diameter cerobong harus dirancang agar mampu mengalirkan seluruh gas hasil pembakaran tanpa menimbulkan hambatan aliran yang besar (*pressure drop*). Diameter yang terlalu kecil akan meningkatkan kecepatan aliran gas dan kehilangan tekanan sehingga dapat menghambat proses pembakaran. Sebaliknya, diameter yang terlalu besar dapat menurunkan kecepatan aliran gas sehingga kemampuan cerobong dalam mengalirkan gas panas menjadi kurang optimal.

Perhitungan diameter cerobong didasarkan pada persamaan kontinuitas.

$$A = \frac{Q}{v} \quad (2.5)$$

Keterangan:

A = luas penampang cerobong (m^2)

Q = laju aliran volume (m^3/s)

v = Kecepatan (m/s)

Karena penampang cerobong berbentuk lingkaran, maka luas penampang dihitung menggunakan persamaan.

$$A = \frac{(\pi x D^2)}{4} \quad (2.6)$$

Keterangan:

A = luas penampang cerobong (m^2)

D = diameter dalam cerobong (m)

Dengan mensubstitusikan persamaan luas penampang ke dalam persamaan kontinuitas, maka diperoleh persamaan diameter cerobong sebagai berikut.

$$D = \sqrt{\frac{4A}{\pi v}} \quad (2.7)$$

Keterangan:

D = Diameter cerobong (m)

Q = debit gas buang (m^3/s)

V = kecepatan aliran gas (m/s)

Persamaan tersebut digunakan sebagai dasar dalam menentukan diameter cerobong agar mampu mengalirkan gas hasil pembakaran secara optimal sesuai dengan kapasitas insinerator yang dirancang.

2.12 Keamanan Pada proses Pembakaran

Tungku *incinerator* yang memiliki suhu yang tinggi tentunya menimbulkan resiko keselamatan pada saat pengoperasian seperti luka bakar, kebakaran, ledakan, serta paparan asap. Oleh karena itu, desain tungku dan sistem operasinya harus dilengkapi dengan fitur pengaman teknis, prosedur kerja yang aman, serta penggunaan alat pelindung diri (APD) yang memadai. Dari aspek desain, tungku harus dilengkapi dengan isolasi termal untuk meminimalkan perpindahan panas ke permukaan luar dan lingkungan sekitar. Selain itu, perlu dipasang pelindung (guarding) atau pagar pengaman guna memastikan operator tidak bersentuhan langsung dengan permukaan yang sangat panas, sehingga mengurangi risiko kecelakaan kerja. Ventilasi dan sistem pembuangan gas harus dirancang sedemikian rupa untuk mencegah akumulasi gas panas dan asap di ruang kerja. Hal ini dapat dicapai dengan menggunakan pengaman pada cerobong, kedap, dan terhubung dengan baik ke sistem pembilas asap. Sistem ini akan memastikan bahwa gas berbahaya dan asap hasil pembakaran dapat dikeluarkan dengan aman dari area penggunaan alat, menjaga kualitas udara di sekitar tempat pembakaran, serta melindungi kesehatan para pengguna.

2.13 Air Limbah Sisa Pembakaran

Dalam proses pembakaran sampah untuk meminimalisir asap terdapat air untuk proses pembilasan. Limbah air sisa proses pembakaran biasa disebut dengan *firewater*, didalamnya terdapat berbagai polusi, logam berat, partikel, dan bahan kimia lainnya hal ini terjadi karena air nya sudah terkontaminasi dengan asap hasil pembakaran. Oleh karena itu pentingnya pengolahan air limbah sisa pembakaran untuk menghindari pencemaran lingkungan. Air limbah sisa pembakaran atau *firewater* ternyata mengandung berbagai kontaminan, logam berat dan logam berat. Hal ini menjadikan limbah cair memiliki pH rendah dan perlu pengolahan kembali atau pemanfaatan agar aman bagi lingkungan. Salah satunya yaitu pemanfaatan untuk budidaya mikroalga, seperti *spirulina platensis*. Sebuah penelitian dari Khairunnissa et al. (2018), menunjukan bahwa air sisa hasil pembakaran atau *firewater* dapat dimanfaatkan Kembali sebagai media pertumbuhan mikroalga

dengan konsentrasi tertentu, yang berfungsi sebagai pengurangan limbah yang memiliki kontaminasi dan sekaligus menghasilkan biomasa yang berguna.

Dalam penelitian ini, setelah melalui proses pengolahan awal seperti penyaringan dan koagulasi untuk menghilangkan partikel besar serta logam berat, air limbah hasil dari *wet scrubber* menunjukkan potensi yang baik untuk mendukung pertumbuhan mikroalga. Dengan pendekatan ini, air limbah yang terkontaminasi dapat digunakan kembali, sehingga mengurangi dampak negatif terhadap lingkungan yang biasanya ditimbulkan oleh limbah industri. Selain itu, ini juga membuka peluang untuk mengintegrasikan sistem pengelolaan limbah dengan sumber energi terbarukan, yang nantinya dapat dimanfaatkan dalam sektor pertanian atau energi berbasis biomassa. Pemanfaatan air limbah *wet scrubber* untuk budidaya mikroalga memberikan manfaat ganda: pertama, mengurangi jumlah limbah cair berbahaya, dan kedua, menghasilkan produk bernilai ekonomis, seperti biomassa alga yang bisa digunakan untuk pembuatan biofuel atau pakan ternak (Khairunnissa et al., 2018).

2.13.5 Pergantian Air Untuk Bilas Asap

Didalam tanki pembilas asap atau *wet scrubber* terdapat air yang berguna untuk menangkap partikulat dan gas pada asap sebelum dilepas langsung ke lingkungan, hal ini berfungsi untuk menurunkan kandungan yang berbahaya bagi lingkungan. Seiring berjalannya waktu karena proses pembilasan mengakibatkan pengendapan dan penumpukan polutan menjadikan penurunan kualitas air. Bila tidak dikendalikan maka air akan kotor dan menurunkan kualitas penyaringan plousi. Untuk mencegah kurangnya optimal pada proses pembilasan maka air perlu diganti dengan air segar secara berkala berdasarkan seberapa banyaknya sampah yang Dibakar. Pada skala rumah tangga pergantian air tidak dikuras secara total tetapi dilakukan hanya dibuang sebagian untuk mengendalikan polutan yang terlarut dalam air. Untuk lebih efektifnya pada skala rumah tangga, dilakukan secara harian sampai mingguan tergantung jumlah polutan yang dihasilkan (Suprpto et al., 2025).

2.14 Klasifikasi Pemilihan Material

Pemilihan material harus didasarkan pada kebutuhan yang spesifik dan disesuaikan dengan faktor biaya yang efisien. Mengingat material adalah elemen krusial dalam pembuatan Alat, memilih material yang sesuai sangat penting untuk mencapai keberhasilan. Memahami karakteristik material sangat diperlukan untuk menentukan jenis material yang tepat untuk komponen mesin. Selain itu, analisis dari perspektif ekonomi dan dampak lingkungan juga perlu menjadi pertimbangan tambahan.

2.14.1 Plate

Plat adalah material berbentuk lembaran tipis dengan ketebalan tertentu yang digunakan secara luas dalam berbagai industri, termasuk dalam pembuatan alat bakar. Biasanya, plat dibuat dari logam seperti baja karbon, stainless steel, atau aluminium, yang dipilih berdasarkan karakteristik fisik dan mekanis yang diperlukan untuk aplikasi tertentu. Plat memiliki keunggulan dalam hal kemampuan dibentuk, ketahanan terhadap tekanan, serta suhu tinggi, yang menjadikannya material utama dalam pembuatan alat bakar yang efisien. Dalam pembuatan alat bakar yang bertujuan untuk mengurangi asap, pemilihan jenis plat yang tepat sangat krusial. Setiap jenis plat memiliki karakteristik yang berbeda, yang mempengaruhi hasil pembakaran dan pengurangan emisi. Berikut Adalah jenis jenis plat:

1) Plat Baja Karbon

Plat baja karbon memiliki kekuatan yang sangat baik, menjadikannya cocok untuk aplikasi yang membutuhkan daya tahan terhadap tekanan mekanik. Baja karbon juga lebih ekonomis, tetapi memerlukan perlakuan khusus untuk mencegah kerusakan akibat korosi (Singh et al., 2024). Baja karbon banyak digunakan pada bagian alat bakar yang tidak langsung terpapar gas pembakaran yang bersifat korosif. Bisa dilihat pada Gambar 2.9

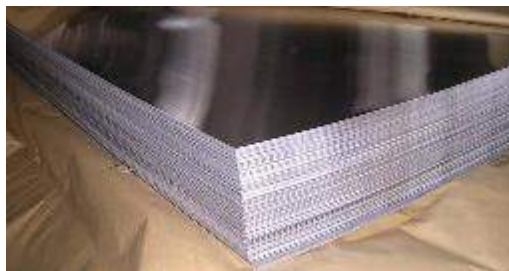


Gambar 2. 9 Plat Baja Karbon

Sumber: <https://m.indonesian.boilerspart.com/sale-34930634-astm-a709-grade-mild-carbon-steel-plate-6mm-thick-galvanized.html>

2) Plat *Stainless Steel*

Stainless steel memiliki ketahanan yang sangat baik terhadap suhu tinggi, oksidasi, dan korosi, membuatnya ideal untuk digunakan dalam alat bakar yang beroperasi dalam kondisi ekstrem. Material ini memiliki ketahanan terhadap suhu tinggi hingga lebih dari 1000°C dan mampu bertahan lama meskipun terpapar gas korosif (NIDI, 2020). bisa dilihat pada Gambar 2.10



Gambar 2. 10 Plate Stainless steel

<https://bajakaryaperkasa.co.id/product/plat/plat-stainless-steel-304-316/>

3) Plat Aluminium

Aluminium adalah pilihan yang baik untuk aplikasi yang memerlukan konduktivitas termal yang tinggi, meskipun lebih ringan dibandingkan dengan baja atau stainless steel. Karena kemampuannya untuk menghantarkan panas dengan sangat baik, aluminium digunakan dalam bagian alat bakar yang

membutuhkan distribusi panas yang cepat dan efisien. Dapat dilihat pada Gambar 2.11



Gambar 2. 11 plat aluminium

Sumber: <https://www.anekasteelteknik.com/product/plat-aluminium-p198774.aspx>

2.14.2 Pipa Besi

Pipa besi adalah komponen berbentuk tabung yang berfungsi untuk menyalurkan fluida seperti gas atau udara pada sistem pembakaran. Dalam alat bakar, pipa besi digunakan untuk mengalirkan udara dari blower menuju ruang pembakaran serta menyalurkan produk pembakaran keluar dari sistem. Material ini dipilih karena kekuatan struktural yang tinggi, kemampuan menahan tekanan, serta ketahanan terhadap beban mekanik yang dihadapi selama operasi pembakaran. Penggunaan pipa besi sangat umum dalam sistem pemanas, pembangkit panas, dan instalasi gas karena kemampuan material ini untuk mempertahankan integritas pada kondisi yang ekstrem, terutama pada suhu tinggi dan tekanan operasional yang variative. Berikut Adalah jenis jenis bahan pipa

1) Pipa baja karbon

Pipa berbasis baja karbon banyak digunakan karena kekuatan mekaniknya yang tinggi dan kemampuan menangani tekanan yang relatif besar. Baja karbon sering dipilih untuk jalur pasokan udara atau gas sebelum pembakaran karena harga yang relatif ekonomis dan kemudahan fabrikasi. Dapat dilihat pada Gambar 2.12



Gambar 2. 12 pipa baja karbon

Sumber: <https://www.pusathdpe.co.id/2019/10/23/mengenal-jenis-pipa-baja-karbon-yang-ada-di-pasaran/>

2) Pipa Besi Galvanis

Pada aplikasi yang berpotensi terpapar kelembapan atau lingkungan yang korosif, pipa galvanis dengan lapisan seng dapat meningkatkan ketahanan terhadap korosi. Pipa galvanis sering dipilih di bagian sistem yang berhubungan dengan udara lembap atau di luar ruang operasi utama (Wahyuningsih et al., n.d.). bisa dilihat pada Gambar 2.13



Gambar 2. 13 pipa galvanis

Sumber: <https://www.smsperkasa.com/produk/pipa-galvanis>

3) Pipa *Stainless Steel*

Stainless steel memiliki kandungan kromium yang tinggi sehingga membentuk lapisan pasif yang melindungi terhadap korosi, terutama dalam kondisi suhu tinggi dan lingkungan yang agresif. Stainless steel dapat dipilih apabila kebutuhan ketahanan terhadap oksidasi dan radikal produk pembakaran menjadi prioritas utama (Wang et al., 2025). Bisa dilihat pada Gambar 2.14.



Gambar 2. 14 pipa stainless stell

Sumber: <https://www.karyaprimasuplindo.co.id/wajib-tahu-ini-daftar-lengkap-harga-pipa-stainless-terbaru>

2.14.3 Pipa PVC

Pipa PVC (Polyvinyl Chloride) adalah jenis pipa plastik yang terbuat dari bahan polimer yang memiliki karakteristik ringan, kuat, tahan korosi, dan mudah dibentuk. Yang bisa dilihat pada Gambar 2.15



Gambar 2. 15 pipa pvc

Sumber: <https://kawuryan.co.id>

Pipa PVC banyak digunakan dalam berbagai aplikasi industri, termasuk sistem distribusi air, saluran gas, dan pengolahan limbah. Meskipun pipa PVC tidak ideal untuk aplikasi yang melibatkan suhu ekstrem, dalam sistem alat bakar, pipa PVC digunakan untuk distribusi air dalam proses pembilasan asap (International Polymer Solutions Inc., n.d.). dapat dilihat pada Gambar 2.15.

2.14.4 Pompa Air

Pompa air didefinisikan sebagai alat yang digunakan untuk memindahkan atau mengalirkan cairan dari satu lokasi ke lokasi lainnya dengan cara meningkatkan tekanan cairan sehingga mampu mengatasi hambatan aliran termasuk perbedaan elevasi dan hambatan gesek. Beberapa jenis pompa air yang umum digunakan dalam sistem pengaliran air meliputi pompa sentrifugal, pompa *submersible*, serta variasi pompa positif displacement, yang masing-masing memiliki mekanisme kerja dan aplikasi spesifik dalam aliran dan tekanan air (Amitkumar et al., 2015). Adapun jenis jenis pompa air adalah sebagai berikut.

1) Pompa Sentrifugal

Pompa sentrifugal merupakan salah satu jenis pompa yang paling umum dipakai untuk memompa air. Pompa ini bekerja dengan memanfaatkan gaya sentrifugal dari impeller yang berputar untuk meningkatkan tekanan dan mengalirkan air keluar dari pompa. Pompa sentrifugal banyak digunakan dalam sistem distribusi air dan berbagai aplikasi industri karena struktur yang sederhana dan efisiensi yang baik. Berikut Adalah Gambar 2.16



Gambar 2. 16 pompa *sentrifugal*
Sumber: <https://id.modopumpcn.com/>

2) Pompa *Submersible*

Pompa *submersible* merupakan varian dari pompa sentrifugal yang dirancang untuk beroperasi di bawah permukaan air, dengan motor tertutup yang terendam. Pompa ini sering digunakan pada sumur, reservoir, dan situasi di mana pompa harus berada langsung di dalam cairan untuk mengangkat air langsung ke permukaan (Ergashev et al., 2026). Bisa dilihat pada Gambar 2.17



Gambar 2. 17 pompa submersible

Sumber: <https://www.facebook.com/groups/banguntapanupdate/posts/jual-pompa-air-celup-merk-hcl-pumpmulai-dari-016-hp-1-hpbekas-masih-handal-harga/8548160175308481/>

2.14.5 Saringan Air

Saringan air adalah sistem atau perangkat yang digunakan untuk menyaring air dari kotoran, partikel, dan bahan lainnya, untuk menghasilkan air yang lebih bersih dan aman digunakan. Saringan ini bekerja dengan berbagai metode fisik, kimia, atau biologis, tergantung pada jenis filter yang digunakan. Tujuan utama dari penggunaan saringan air adalah untuk meningkatkan kualitas air yang digunakan dalam berbagai aplikasi, termasuk pembilasan, konsumsi manusia, atau proses industri. Jenis-jenis filter air yang sering digunakan seperti saringan pasir, saringan karbon, saringan membrane, saringan keramik, saringan *biofiltrasi*. Contoh filter air seperti pada Gambar 2.18



Gambar 2. 18 filter air

Sumber: <https://penguin.id/tips/jenis-jenis-filter-air-untuk-kebutuhan-rumah-anda/>

2.14.6 Insulasi (Peredam Panas)

Insulasi merupakan bahan yang digunakan untuk meredam panas agar tidak membahayakan pengguna. Terutama pada system pipa pengalir asap yang memiliki suhu yang cukup tinggi sehingga dapat melukai pengguna. Insulasi panas adalah material atau sistem yang digunakan untuk membatasi atau mengurangi aliran panas antara dua objek yang memiliki perbedaan suhu. Insulasi ini bertujuan untuk menjaga suhu pada sistem atau objek tetap stabil dengan meminimalkan kehilangan panas ke lingkungan sekitar (Deshmukh et al., 2017). Bahan dari insulasi ini beraneka ragam seperti serat *fiber*, *poliuretan*, *aluminium*, dan *silica*. Dapat pada Gambar 2.19



Gambar 2. 19 insulasi
Sumber: <https://www.lazada.co.id>

2.14.7 Blower

Blower berfungsi untuk mendistribusikan aliran udara dari blower secara seragam pada seluruh ruang bakar. Distribusi udara memiliki pengaruh terhadap pembakaran sebagai distribusi oksigen untuk proses pembakaran. Blower pada Gambar 2.20 digunakan untuk menambahkan udara kedalam tungku pembakaran.



Gambar 2. 20 blower
Sumber: <https://shopee.co.id/>

2.14.8 Profil L

Profil L Adalah jenis profil yang biasa digunakan untuk membuat rangka sebuah alat. Profil ini digunakan karena jenis nya yang kuat serta mudah di bentuk menjadikan profil ini banyak digunakan terutama untuk membuat sebuah rangka. Dalam penelitian ini jenis profil L dipilih 25mm x 25mm dipilih karena beban yang digunakan tida terlalu berat dan hanya bekerja secara statis. Dapat dilihat pada Gambar 2.21



Gambar 2. 21 profil L
Sumber: <https://www.boshardware.co.id/>

2.14.9 Semen Tahan Api

Semen yang digunakan untuk melapisi dinding insinerator memiliki fungsi yang berbeda dari semen konvensional yang biasa digunakan untuk membangun struktur bangunan. Semen ini dirancang khusus untuk melapisi dinding insinerator, yaitu alat yang digunakan untuk pembakaran sampah atau bahan-bahan lainnya pada suhu yang sangat tinggi. Fungsi utama dari semen pelapis ini adalah untuk melindungi dinding insinerator dari kerusakan akibat suhu ekstrem yang dihasilkan selama proses pembakaran. Semen pelapis insinerator ini memiliki ketahanan termal yang sangat baik, sehingga mampu menahan suhu tinggi dan mencegah degradasi struktur insinerator. Selain itu, lapisan semen ini juga berfungsi untuk meningkatkan efisiensi pembakaran dengan membantu mempertahankan suhu yang konsisten di dalam ruang pembakaran, sehingga proses pembakaran berlangsung lebih efektif. Semen pelapis tersebut dapat mencegah erosi atau keretakan pada dinding insinerator, menjaga integritas struktural alat pembakaran dan memperpanjang umur pakai insinerator itu sendiri. Bisa dilihat pada Gambar 2.22



Gambar 2. 22 semen tahan api
Sumber: <https://www.bataapiibs.com/>

2.15 Bagian-bagian pada alat pembakar sampah tanpa asap

Adapun bagian bagian pada system alat pembakar sampah agar alat berjalan sesuai keinginan Adalah sebagai berikut

2.15.1 Tungku Pembakaran

Tungku pembakaran merupakan tempat pembakaran menggunakan teknologi pengolahan limbah dengan pembakaran temperature tinggi untuk mengurangi gas emisi sisa pembakaran, tentunya dalam penelitian ini disesuaikan dengan kapasitas sampah yang dihasilkan dalam rumah tangga, menurut (SNI 8423, 2003) untuk menentukan ukuran tungku pembakaran dapat menggunakan persamaan berikut ini.

$$V_{RB} = \frac{Kap}{K} \quad (2.8)$$

Keterangan:

V_{RB} = Volume Ruang Pembakaran (m^3)

Kap = Kapasitas pembakaran nominal (kg/jam)

K = Konstanta kapasitas ruang bakar sebesar 40 (kg/jam. m^3)

Sebelumnya tentunya menghitung ruang volume pada ruang bakar dengan menggunakan rumus volume tabung yaitu

$$v = \pi \times r^2 \times t \quad (2.9)$$

Dimana

V = volume tabung

r = jari jari tabung

t = tinggi tabung

Rasio ruang bakar terhadap volume sampah digunakan untuk mengetahui kecukupan kapasitas ruang pembakaran dalam menampung sampah yang akan dibakar. Rasio ini diperoleh dengan membandingkan volume ruang bakar dengan volume sampah yang dimasukkan ke dalam ruang bakar. Semakin besar nilai rasio yang diperoleh, semakin besar ruang kosong (freeboard) yang tersedia untuk mendukung sirkulasi udara, pencampuran gas hasil pembakaran, serta proses pembakaran yang lebih sempurna. Rasio tersebut dihitung menggunakan Persamaan (2.8).

$$\text{Rasio} = \frac{VRB}{VS} \quad (2.10)$$

Dimana:

Rasio = Perbandingan volume ruang bakar terhadap volume sampah

VRB = Volume ruang bakar (m³)

VS = Volume sampah (m³)

2.15.2 Tempat peletakan sampah diruang bakar

Bagian ini yaitu untuk memisahkan anatara ruang bakar dan ruang sisa abu pembakaran. Pada bagian ini dibuat berbentuk jarring jarring, hal ini bertujuan untuk abu sisa pembakaran akan turun ke bawah ketempat ruang abu.

2.15.3 Tempat Sisa Abu Pembakaran

Dari proses pembakaran tentunya sampah yang dibakar akan menjadi abu. Abu akan turun ke bagan bawah ruang pembakaran dan dibagian inilah tempat sisa abu hasil pembakaran terkumpul.

2.15.4 Pipa Besi Penyalur Asap

Pipa ini akan menyalurkan asap sisa pembakaran menuju ke tempat pembilasan asap yang bertujuan agar asap yang dikeluarkan ke lingkungan sudah mengalami penurunan. Proses pembakaran tentunya mengeluarkan tekanan tetapi tekananya tidak terlal besar atau biasanya memkai persamaan low pressure yang memiliki tekanan <500 pa (ashare, 2000). Dalam pembakaran tentunya terdapat partikel yang dihasilkan gas buang maka dari itu perlu menentukan diameter pipa. Diameter pipa dapat ditentukan dengan rumus sebagai berikut(patrick and brooks, 2003). Seperti pada persamaan 2.3

2.15.5 Tangki Pembilas Asap

Tangki pembilas asap ini berfungsi untuk menampung asap pembakaran yang telah disalurkan oleh pipa pipa. Fungsi lainnya juga sebagai tempat peletakan filter air, pompa, dan juga pipa untuk penyalur air. Dan disini juga air ditampung untuk pembilas asap itu supaya udara yang keluar sudah terminimalisir. Untuk menentukan ukuran tanki menggunakan rumus volume tabung yaitu:

$$v = \pi \times r^2 \times t \quad (2.11)$$

Keterangan:

V = volume tabung (m³)

π = 3.14

r = jari jari lingkaran (m)

t = tinggi (m)

2.15.6 Analisis *Software* Rangka Alat

Rangka berfungsi sebagai struktur utama yang menopang seluruh komponen penyusun alat pembakaran sampah sehingga mampu menjaga kestabilan konstruksi selama proses pengoperasian. Oleh karena itu, pemilihan material dan dimensi rangka harus disesuaikan dengan kebutuhan agar mampu menahan beban yang bekerja secara aman. Penentuan profil rangka dilakukan berdasarkan hasil perhitungan kekuatan struktur, yang diawali dengan menghitung besar pembebanan yang diterima rangka. Pembebanan tersebut berasal dari berat setiap komponen penyusun alat, seperti ruang pembakaran, sistem *wet scrubber*, serta komponen pendukung lainnya. Setelah total pembebanan diketahui, selanjutnya dilakukan perhitungan untuk menentukan modulus penampang minimum sehingga dapat dipilih profil rangka yang memiliki kekuatan dan kekakuan yang sesuai dengan kebutuhan perancangan menggunakan Persamaan Persamaan berikut ini.

a. Menghitung gaya yang bekerja.

$$F = m \times g \quad (2.12)$$

Keterangan:

F = Gaya (N)

M = massa (kg)

g = gravitasi (10 m/s²)

b. Menghitung momen yang bekerja.

$$\Sigma M = 0 \quad (2.13)$$

$$\Sigma F_y = 0 \quad (2.14)$$

$$\Sigma F_x = 0 \quad (2.15)$$

Keterangan:

($\Sigma M = 0$) = Menghitung momen yang bekerja

($\Sigma F_y = 0$) = Jumlah gaya arah y

($\Sigma F_x = 0$) = Jumlah gaya arah x

c. Menghitung tegangan lentur.

$$M_{max} = \frac{qL^2}{8} \quad (2.16)$$

Keterangan:

M_{max} = Momen lentur maksimal (N.mm)

L = Panjang bentangan (mm)

q = Beban (N)

d. Menghitung tegangan lentur yang diijinkan.

$$\Sigma_{ijin} = \frac{\sigma}{sf} \quad (2.17)$$

Keterangan:

Σ_{ijin} = Tegangan lentur yang diijinkan (N/mm²)

Σ = Tegangan luluh (N/mm²)

Sf = Faktor keamanan beban yang diijinkan

e. Menghitung resultan beban

$$x = \frac{L}{2} \quad (2.18)$$

Keterangan

L = panjang bidang

X = resultan gaya

f. Modulus penampang

$$Z = \frac{M}{\sigma_{ijin}} \quad (2.19)$$

Dimana:

σ_{ijin} = tegangan ijin maksimal (Mpa atau N/mm²)

M = Momen maksimum (N.mm)

sf = factor keamanan

2.16 Metode Pahl and Beitz

Sebelum memulai desain, perlu dilakukan perancangan untuk menciptakan produk yang sesuai dengan kebutuhan masyarakat. Setelah perancangan selesai, pembuatan produk dilakukan oleh dua pihak atau kelompok yang memiliki keahlian khusus, yaitu tim perancang yang bertugas merancang produk, dan tim pembuat yang bertanggung jawab untuk merealisasikan produk tersebut. Salah satu metode perancangan konstruksi mesin maupun alat yang sering digunakan yaitu Pahl and Beitz (*Engineering Design A Systematic Approach*, 2007). Metode perancangan ini merupakan salah satu yang bisa digunakan dalam semua perancangan Teknik, akan tetapi tidak juga secara menyeluruh bisa digunakan untuk proses produksi.

Pahl and Beitz mempunyai penyusunan perancangan produk yang dijelaskan di dalam bukunya. Perancangan menurut metode *Pahl and Beitz* terdiri dari 4 (empat) tahapan kegiatan atau fase, yang masing-masing melibatkan beberapa langkah. Fase-fase tersebut adalah sebagai berikut:

1. Perencanaan dan Penjelasan Tugas: Menyusun spesifikasi dari informasi yang diperlukan untuk produk yang akan dirancang.
2. Perencanaan Konsep: Menentukan spesifikasi dari solusi atau konsep yang akan diterapkan dalam perancangan produk.
3. Perencanaan Bentuk: Menyusun spesifikasi dari konstruksi atau bentuk fisik yang akan diwujudkan dalam produk.
4. Perancangan Detail: Menyusun spesifikasi teknis secara rinci untuk produk yang akan diproduksi, termasuk elemen-elemen teknis dan fungsionalnya.

Dalam sebuah rencana prosedur semuanya harus diterapkan dengan cara yang fleksibel dan harus menyesuaikan dengan situasi masalah tertentu, seluruh pendekatan harus harus dinilai dan disesuaikan jika diperlukan. Adapun ada 4 (empat) fase utama sebagai berikut:

2.16.1 Perencanaan dan Penjelasan Tugas

Sebelum menentukan perencanaan produk, kita perlu memahami terlebih dahulu permasalahan yang akan diberi solusi, baik yang berasal dari perencanaan produk itu sendiri maupun dari pihak lain. Hal ini bertujuan untuk memperjelas dan merinci masalah sebelum memulai pengembangan produk. Fase ini bertujuan untuk mengumpulkan informasi mengenai persyaratan yang harus dipenuhi oleh produk, serta mengidentifikasi kendala dan kepentingan yang ada. Hasil dari pengumpulan data atau informasi ini akan menghasilkan daftar persyaratan (*requirements list*) yang mencakup kebutuhan (*demands*) dan keinginan (*wishes*), yang fokusnya disesuaikan dengan produk dan untuk kebutuhan proses pengerjaan serta langkah-langkah berikutnya. Pada tahap ini, metode *House of Quality (HoQ)* digunakan untuk mengidentifikasi dan menjelaskan berbagai kebutuhan dan keinginan terkait produk yang akan dirancang. Hasil dari proses ini adalah spesifikasi produk yang akan digunakan pada tahap berikutnya.

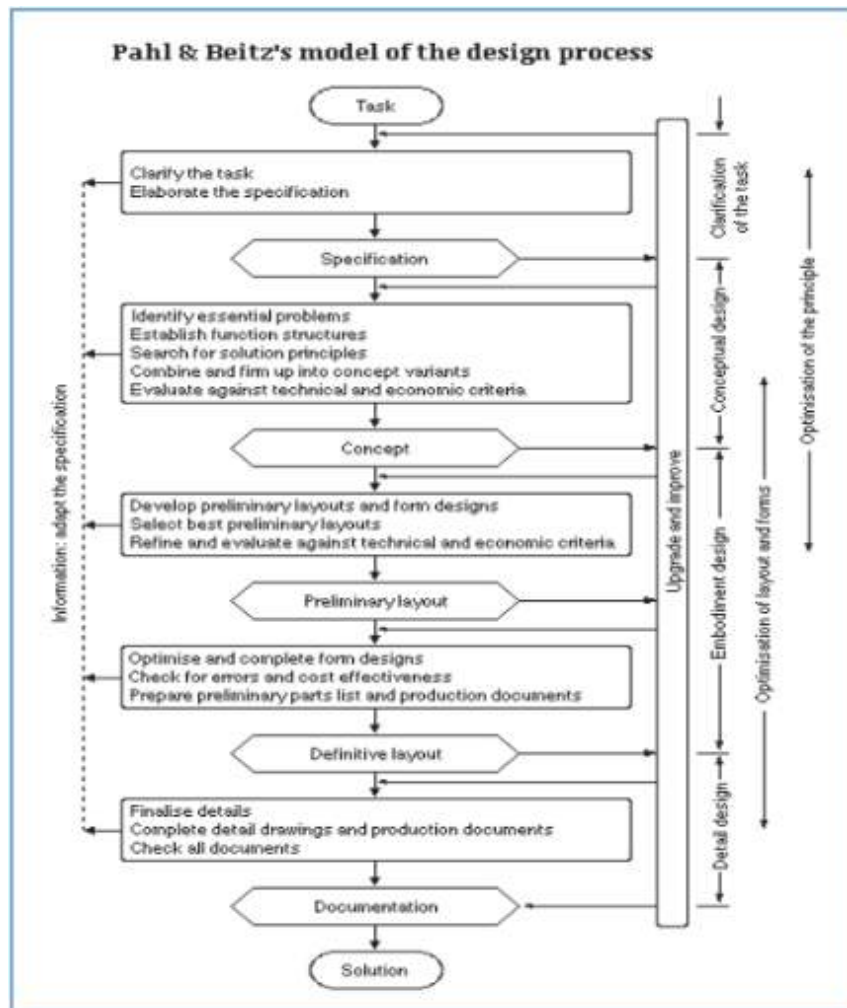
2.16.2 Perancangan Konsep

Berdasarkan hasil perencanaan kebutuhan dari fase pertama, langkah selanjutnya adalah melakukan analisis untuk menentukan struktur fungsi komponen. Pada tahap ini, kita perlu mencari beberapa bentuk konsep produk yang dapat memenuhi spesifikasi dan persyaratan yang telah ditetapkan. Hasil dari konsep yang dibuat merupakan solusi atau pemecahan terhadap masalah yang ada dalam perancangan. Setelah itu, berbagai variasi konsep produk dikumpulkan dan dievaluasi berdasarkan sejumlah kriteria, seperti aspek teknis, ekonomis, dan kriteria lainnya. Ide-ide yang tidak memenuhi kriteria tersebut akan dieliminasi dan tidak akan diproses lebih lanjut, sementara ide-ide yang memenuhi kriteria dapat dipilih sebagai pilihan terbaik untuk dilanjutkan ke tahap berikutnya.

2.16.3 Perancangan Detail

Pada proses perancangan detail ini, komponen-komponen produk disusun dengan menentukan bentuk, dimensi, kehalusan permukaan, serta material yang diperlukan untuk produk. Selain itu, metode pembuatan setiap produk juga dipelajari, perkiraan biaya dibuat, dan semua dokumen serta gambar teknis disiapkan. Hasil akhir dari tahap ini adalah dokumen pembuatan produk yang

mencakup gambar detail teknik, daftar material, serta spesifikasi produk yang akan dibuat. Alur bisa dilihat pada Gambar 2.23



Gambar 2. 23 Alur Metode Pahl and Beitz

Sumber: Rahmat Setiadi, (2015)

2.17 Quality Function Deployment (QFD)

Metode *Quality Function Deployment (QFD)*, yang berasal dari Jepang pada tahun 60-an, digunakan dalam penelitian ini. Bukan hanya mengontrol kualitas dalam proses manufaktur, *QFD* juga menetapkan pengukuran kualitas sebagai perbaikan dan desain. Dengan metode *QFD*, peneliti dapat menemukan apa yang diinginkan konsumen dan menemukan cara terbaik untuk menerjemahkan keinginan konsumen dalam desain teknis, manufaktur, dan perencanaan produksi. Dengan *QFD*, peneliti dapat melakukan tugasnya secara sistematis untuk

menemukan cara terbaik untuk menciptakan desain teknis, manufaktur, dan perencanaan produksi.

Metode *QFD* dapat mempertahankan dan meningkatkan kualitas desain sekaligus mengurangi waktu pembuatan desain sebesar 40% dan biaya pembuatan desain sebesar 60%. Manfaat tambahan dari metode *QFD* termasuk mengurangi biaya, meningkatkan pendapatan, dan mengurangi waktu produksi (Baczkowicz and Gwiazda, 2015; Ionica and Leba, 2015). Tahapan dalam penelitian ini yaitu sebagai berikut: Identifikasi Kebutuhan Konsumen: Tujuan dari proses identifikasi kebutuhan konsumen ini adalah untuk menemukan kebutuhan pengguna terhadap alat pembakar sampah tanpa asap, kemudian menerjemahkannya ke dalam karakteristik teknis yang diperlukan untuk membuat produk yang memenuhi kebutuhan pengguna.

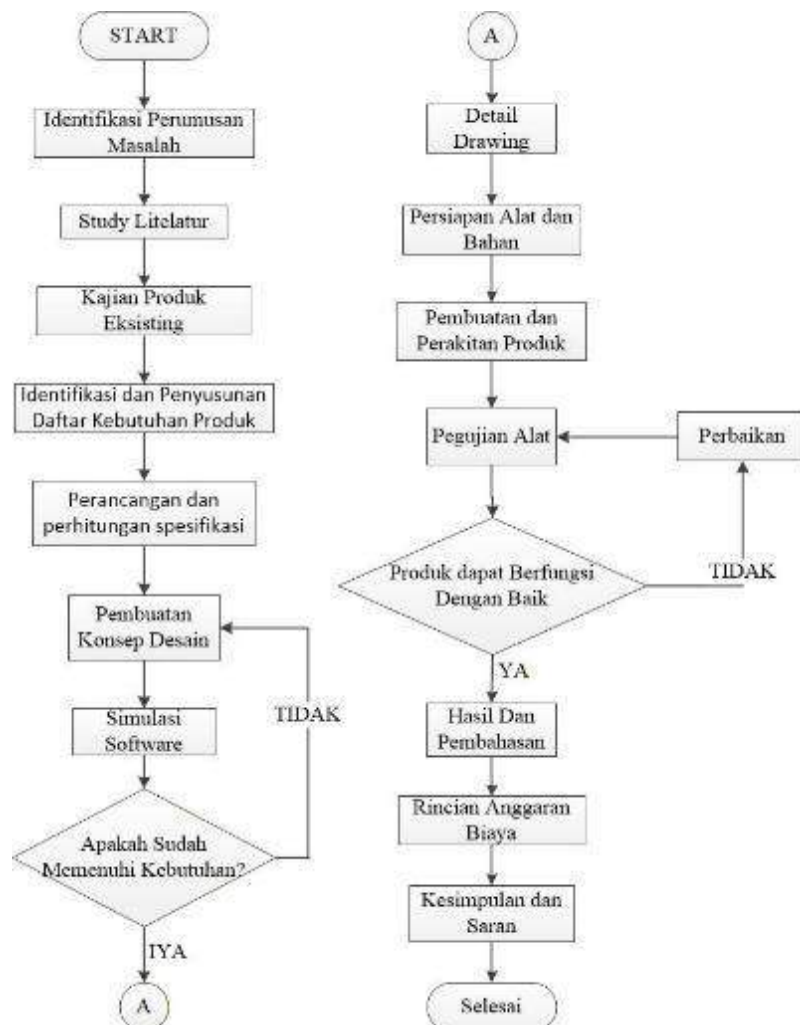
Tahap berikutnya adalah penyusunan *House of Quality* (HOQ), yaitu suatu matriks yang mengintegrasikan karakteristik teknis produk dengan kebutuhan serta keinginan konsumen pada atribut yang saling berkaitan. Penyusunan matriks HOQ bertujuan untuk mengidentifikasi secara sistematis kebutuhan konsumen dan menerjemahkannya ke dalam spesifikasi teknis, sehingga produk yang dirancang mampu memenuhi kebutuhan dan harapan pengguna secara optimal.

BAB 3

METODE PENELITIAN

3.1 Diagram Alir

Dalam pelaksanaan penelitian diperlukan suatu prosedur kerja agar penelitian dapat beroperasi secara sistematis sehingga target dari penelitian dapat tercapai, oleh karena itu dibutuhkan langkah-langkah operasional. Tahapan-tahapan dalam proses penelitian bisa dilihat pada Gambar 3.1 berikut ini



Gambar 3. 1 Flowchart Penelitian

3.2 Identifikasi Perumusan Masalah

Pada proses tahapan awal yakni melakukan identifikasi masalah. Proses ini dilakukan secara terjun langsung ke lapangan, Agar bisa melakukan pengambilan data terkait permasalahan yang ada. Untuk data yang diperlukan menggunakan cara wawancara kepada pihak terkait. Proses ini juga menentukan bagaimana cara penyelesaian masalah yang digunakan agar mudah saat melakukan proses proses berikutnya. Dalam proses ini juga kita bisa menentukan Batasan Batasan masalah tertentu agar kita bisa lebih focus kepada permasalahan yang ada.

3.3 Study Litelatur

Dalam tahapan ini, study litelatur dilakukan dengan cara mencari jurnal terkait, buku, penelitian terdahulu dan juga menelaah isi-isinya. Cara ini bertujuan untuk melakukan pendekatan metode metode yang telah digunakan dalam penelitian yang diambil. Dengan begitu, penelitian yang dilakukan sebelumnya sebagai acuan dalam perancangan dan perhitungan.

3.4 Kajian Produk Eksisting

Kajian produk eksisting dilakukan dengan cara mengidentifikasi produk yang sudah pernah ada sebelumnya. Dalam penenlitian ini dilakukan kajian produk yang mendalam agar pemanfaatan produk bisa berjalan sesuai keinginan. Pengambilan kajian berupa analisis fungsi, kinerja, kelebihan dan kekurangan produk tersebut. Tentunya yang diharapkan dengan kajian ini bisa memberikan nilai tambah terhadap produk yang sedang diteliti.

3.5 Identifikasi dan Penyusunan Daftar kebutuhan Produk

Dalam penelitian ini memerlukan identifikasi dan penyusunan daftar kebutuhan produk. Proses ini mempunyai tujuan untuk mencari kebutuhan produk lebih rinci. Hasil dari identifikasi ini meliputi fungsi, teknis, keselamatan, ukuran, biaya, minim gas buang, aman digunakan serta kemudahan dalam pengoperasian. Hal ini bertujuan alat yang sedang di rancang dapat digunakan sesuai dengan masalah yang dihadapi. Selain itu daftar yang sudah dibuat dapat menjadi pedoman dalam pembuatan konsep desain dari data yang relevan dan juga dari jurnal maupun buku. Adapun hasil pemilihan daftar kebutuhan bisa dilihat pada Tabel 3.1

Tabel 3. 1 Hasil Pemilihan Daftar Kebutuhan

Daftar kebutuhan Alat		Tingkat kepentingan	Pembobotan kepentingan
1	Mampu membakar sampah dengan baik		
2	Mampu membakar sampah < 0.85 kg dalam sekali bakar		
3	Mudah dalam pengoperasian		
4	Minim emisi		
5	Mudah dalam maintance		
6	Tahan korosi		
7	Tidak memakan banyak tempat		
8	Mudah dipindahkan		
9	estetika		
10	Harga minim		

3.6 Perancangan dan Perhitungan Spesifikasi

Perancangan ini bertujuan untuk melakukan pengembangan dari produk eksisting yang telah dikaji untuk dikembangkan lebih detail. Di dalam proses ini menentukan dimensi produk, bahan yang digunakan, dan juga termasuk komponen yang digunakan. Selain itu juga, melakukan perhitungan teknis yang berkaitan dengan kemampuan, kekuatan, kapasitas, kinerja alat tersebut. Dalam perancangan dan perhitungan spesifikasi ini diharapkan bahwa desain yang dibuat efisien, aman, dan sesuai dengan kebutuhan yang diperlukan.

3.7 Pembuatan Konsep Desain

Konsep desain ini disusun berdasarkan hasil perancangan awal serta penilaian terhadap spesifikasi teknis yang telah ditetapkan sebelumnya. Tahapan ini bertujuan untuk menerjemahkan kebutuhan fungsional dan teknis ke dalam bentuk rancangan yang lebih rinci. Pada konsep desain ini dilakukan penggambaran secara menyeluruh mengenai bentuk fisik alat, konfigurasi dan penyusunan setiap komponen utama maupun pendukung, serta prinsip kerja sistem secara umum. Penyajian konsep desain mencakup hubungan antar komponen, aliran energi dan material, serta mekanisme kerja yang mendasari fungsi alat.

Konsep desain yang dihasilkan berperan sebagai acuan utama dalam proses pengembangan lanjutan, khususnya untuk pelaksanaan simulasi menggunakan perangkat lunak perancangan. Melalui simulasi tersebut, kinerja alat dapat dianalisis secara virtual, meliputi aspek kekuatan struktur, distribusi beban, aliran fluida atau panas, serta potensi terjadinya kegagalan desain. Dengan demikian,

konsep desain ini menjadi dasar yang penting untuk memastikan bahwa rancangan yang dikembangkan memenuhi spesifikasi teknis, aman digunakan, dan layak untuk direalisasikan pada tahap pembuatan prototipe.

3.8 Simulasi Software

Pada tahap ini dilakukan simulasi perhitungan pada struktur rangka. Simulasi rangka bertujuan untuk menganalisis kekuatan struktur dengan melihat distribusi tegangan yang terjadi akibat beban kerja, sehingga dapat diketahui apakah tegangan yang timbul masih berada di bawah batas tegangan izin material yang digunakan. Hal ini juga bisa menjadi pemilihan jenis material yang dipakai untuk mengurangi biaya produksi agar lebih ekonomis.

3.9 Detail Drawing

Tahap ini diawali dengan pembuatan desain tiga dimensi (3D) alat secara keseluruhan untuk menggambarkan bentuk, ukuran, serta susunan komponen secara utuh. Desain 3D tersebut berfungsi sebagai representasi visual dari rancangan alat yang akan dikembangkan. Selanjutnya, berdasarkan model 3D keseluruhan, dilakukan proses pendetailan pada setiap komponen (*part*) secara terpisah. Pendetailan ini mencakup penentuan dimensi, toleransi, serta bentuk geometris masing-masing komponen. Proses pendetailan per komponen bertujuan untuk mempermudah tahapan manufaktur dan perakitan, serta memastikan setiap komponen dapat dibuat sesuai dengan spesifikasi yang telah direncanakan. Dengan adanya gambar detail yang lengkap, proses pembuatan produk menjadi lebih terarah, risiko kesalahan dimensi dapat diminimalkan, dan kesesuaian antar komponen pada saat perakitan dapat terjamin.

3.10 Persiapan Alat dan Bahan

Berdasarkan *detail drawing* yang telah dibuat, dilakukan tahap persiapan alat dan bahan yang diperlukan untuk proses manufaktur. Tahapan ini meliputi pengadaan material utama, komponen standar, serta peralatan produksi yang disesuaikan dengan spesifikasi desain yang telah ditetapkan. Pemilihan material dan komponen dilakukan dengan mempertimbangkan aspek kekuatan, ketersediaan, kemudahan proses pengerjaan, serta efisiensi biaya. Persiapan yang matang pada tahap ini bertujuan untuk memastikan proses manufaktur dapat

berjalan secara efektif dan efisien, meminimalkan kesalahan selama proses pembuatan, serta menjamin kesesuaian antara hasil produk dengan rancangan yang telah direncanakan. Dengan demikian, tahap persiapan alat dan bahan menjadi faktor penting dalam mendukung keberhasilan proses pembuatan dan perakitan alat.

3.11 Pembuatan dan Perakitan Produk

Tahap ini dilaksanakan berdasarkan hasil perhitungan teknis serta *Detail Engineering Design* (DED) yang telah disusun pada tahap sebelumnya. Pada tahap manufaktur ini dilakukan berbagai proses produksi yang meliputi proses *marking* untuk penandaan ukuran dan posisi pemotongan, proses *cutting* untuk pemotongan material sesuai dengan dimensi yang telah ditentukan, proses *welding* untuk penyambungan komponen, serta proses *painting* sebagai perlindungan permukaan dan peningkatan ketahanan terhadap korosi. Selain itu, dilakukan pula proses manufaktur pendukung lainnya sesuai dengan kebutuhan desain. Setelah seluruh komponen utama dan pendukung selesai diproduksi, tahap selanjutnya adalah proses perakitan (*assembly*), yaitu merangkai seluruh komponen menjadi satu kesatuan sistem hingga membentuk alat yang utuh dan fungsional. Proses perakitan dilakukan dengan mengacu pada gambar rakitan dan spesifikasi desain untuk memastikan kesesuaian posisi, kekuatan sambungan, serta fungsi setiap komponen sesuai dengan rancangan yang telah direncanakan.

3.12 Pengujian Alat

Pada tahap ini, alat yang telah selesai dibuat dan dirakit selanjutnya dilakukan proses pengujian untuk mengetahui performa dan kinerja alat secara keseluruhan. Pengujian dilakukan menggunakan beberapa jenis sampah, yaitu ranting kayu, plastik, daun kering, kertas, dan sampah campuran, dengan berat sampah yang sama pada setiap pengujian. Evaluasi kinerja alat dilakukan melalui pengamatan tingkat kepekatan asap menggunakan *Ringelmann Chart* serta perhitungan rendemen arang dan rendemen abu sebagai indikator efektivitas proses pembakaran. Pengamatan tingkat kepekatan asap dilakukan dengan bantuan kamera yang dipasang menggunakan pipa sebagai tabung pengarah (*viewing tube*). Pipa tersebut berfungsi untuk memfokuskan arah pengambilan gambar hanya pada asap

yang keluar dari cerobong, sekaligus mengurangi gangguan cahaya dan objek di sekitar sehingga proses pencocokan warna asap dengan skala pada Ringelmann Chart dapat dilakukan dengan lebih jelas dan konsisten. Selanjutnya, perhitungan rendemen arang dan rendemen abu dilakukan untuk mengetahui persentase residu padat yang dihasilkan setelah proses pembakaran selesai. Hasil pengujian tersebut kemudian dianalisis untuk mengevaluasi kemampuan alat dalam menghasilkan proses pembakaran yang efektif, menghasilkan emisi asap yang rendah, serta meminimalkan jumlah residu pembakaran. Apabila hasil pengujian belum memenuhi kriteria yang telah ditetapkan, maka dilakukan evaluasi terhadap rancangan dan proses manufaktur sebagai dasar perbaikan atau penyempurnaan alat sebelum alat dinyatakan layak untuk digunakan. Hasil dan Pembahasan

Pada tahap ini dilakukan pembahasan untuk menganalisis hasil pengujian alat dan menilai kesesuaiannya terhadap standar serta kriteria kinerja yang telah ditetapkan. Pembahasan mencakup analisis hasil pengujian, evaluasi mekanisme kerja alat, serta penilaian performa alat selama proses pengoperasian. Evaluasi dilakukan dengan membandingkan data hasil pengujian dengan spesifikasi desain dan tujuan perancangan yang diinginkan. Melalui tahap pembahasan ini dapat diketahui tingkat keberhasilan alat dalam memenuhi fungsi yang direncanakan, serta diidentifikasi kelebihan dan kekurangan yang masih terdapat pada alat. Hasil pembahasan tersebut menjadi dasar dalam menentukan apakah alat telah memenuhi standar yang diharapkan atau masih memerlukan penyempurnaan lebih lanjut.

3.13 Rincian Biaya Produksi

Pada tahap ini dilakukan analisis biaya produksi untuk memperoleh rincian biaya pembuatan alat secara menyeluruh, yang meliputi biaya material bahan baku, biaya komponen standar, serta biaya tenaga kerja langsung yang terlibat dalam proses manufaktur dan perakitan. Hasil analisis ini digunakan untuk mengetahui total biaya produksi serta sebagai dasar dalam mengevaluasi efisiensi desain dan proses pembuatan alat.

3.14 Kesimpulan dan Saran

Tahap ini merupakan tahap akhir dalam penelitian, di mana seluruh data hasil pengujian yang telah diperoleh dianalisis secara menyeluruh untuk kemudian

ditarik kesimpulan. Kesimpulan yang dihasilkan mencerminkan tingkat pencapaian tujuan penelitian dan kinerja alat yang dikembangkan. Selain itu, pada bagian ini juga disusun saran yang berisi evaluasi terhadap hasil penelitian serta keterbatasan yang ada, sehingga dapat dijadikan pedoman dan bahan pertimbangan untuk pengembangan dan penelitian selanjutnya.

“Halaman ini Sengaja Dikosongkan”

BAB 4

HASIL DAN PEMBAHASAN

4.1 Kajian Produk Eksisting

Produk eksisting yang dikaji dalam penelitian ini merupakan alat pembakar sampah dengan sistem penyaringan asap menggunakan air (*wet scrubber* sederhana). Alat ini terdiri dari dua bagian utama, yaitu ruang pembakaran dan ruang penyaring asap. Pada ruang pembakaran, sampah dimasukkan melalui pintu masuk kemudian dibakar hingga menghasilkan asap dan *residu* abu. Asap hasil pembakaran selanjutnya dialirkan melalui pipa menuju ruang penyaring, yang dilengkapi dengan sistem penyemprotan air menggunakan pompa. Di dalam ruang penyaring tersebut terdapat beberapa media filter seperti sabut kelapa, batu kapur, dan kapas yang berfungsi untuk menangkap partikel asap sebelum dilepaskan ke lingkungan. Prinsip kerja alat ini adalah mengalirkan asap hasil pembakaran ke dalam ruang pembilasan, kemudian asap disemprot air sehingga partikel-partikel berbahaya dapat terikat dan mengalami penurunan sebelum keluar ke udara bebas yang bisa dilihat pada Gambar 4.1.



Gambar 4. 1 Produk Eksisting

(Sumber: Dokumentasi Pribadi)

Berdasarkan hasil kajian, alat ini memiliki beberapa kelebihan, di antaranya mampu mengurangi asap secara signifikan dibandingkan pembakaran terbuka, serta menggunakan konsep yang relatif sederhana dengan memanfaatkan material yang mudah diperoleh dan berbiaya rendah. Selain itu, penggunaan sistem pembakaran tertutup juga menjadi nilai tambah karena dapat meningkatkan efisiensi

pembakaran dan mengurangi pencemaran udara. Namun demikian, alat ini masih memiliki beberapa kekurangan, seperti ukuran yang relatif besar sehingga kurang praktis untuk digunakan pada skala rumah tangga, serta sistem yang cukup kompleks karena melibatkan beberapa komponen seperti pompa air, pipa, dan media filter yang memerlukan perawatan berkala. Selain itu, penggunaan air sebagai media penyaring juga menghasilkan limbah cair yang perlu dikelola lebih lanjut agar tidak menimbulkan pencemaran baru.

Jika ditinjau dari aspek kebutuhan pengguna rumah tangga, alat ini masih belum sepenuhnya sesuai karena kurang praktis, membutuhkan biaya operasional tambahan, serta memerlukan tingkat pemahaman tertentu dalam pengoperasiannya. Hal ini menunjukkan bahwa meskipun alat tersebut sudah mampu mengurangi emisi asap, namun masih diperlukan pengembangan lebih lanjut agar dapat diterapkan secara efektif pada skala rumah tangga. Oleh karena itu, penelitian ini bertujuan untuk mengembangkan alat pembakar sampah yang lebih sederhana, berukuran lebih kecil, mudah dioperasikan, serta memiliki biaya pembuatan dan perawatan yang lebih terjangkau, tanpa mengurangi efektivitas dalam meminimalisir asap hasil pembakaran.

4.2 Identifikasi kebutuhan pelanggan

Pada tahap ini dilakukan proses pengumpulan serta pengolahan data kuesioner yang bertujuan untuk mengidentifikasi kebutuhan pengguna. Metode yang diterapkan dalam pengumpulan dan analisis data tersebut adalah *Quality Function Deployment (QFD)*, yang digunakan untuk menerjemahkan kebutuhan dan keinginan pelanggan ke dalam spesifikasi produk secara sistematis.

4.2.1 Identifikasi karakteristik responden

Pada tahapan pertama untuk pengolahan data menggunakan metode *Quality Function Deployment* adalah mengidentifikasi karakteristik responden yang akan diwawancarai.

1. Identifikasi Karakteristik Responden

Untuk mendukung proses penelitian pada tugas akhir mengenai perancangan produk, diperlukan responden yang mampu memberikan informasi secara akurat sesuai dengan kebutuhan penelitian. Responden dalam penelitian ini merupakan pihak rumah tangga yang menggunakan alat pembakar sampah untuk meminimalisir asap, sehingga dapat memberikan gambaran terkait kebutuhan dan harapan pengguna terhadap produk yang dirancang.

2. Penentuan Atribut Produk

Penentuan atribut produk ditentukan berdasarkan pengamatan peneliti dan diskusi dengan pengguna terhadap kebutuhan pengguna alat pembakar sampah untuk meminimalisir asap.

a. Analisis Cara Kerja Produk

Pada tahap ini diperlukan analisis cara kerja produk yang digunakan sebelum menyusun komponen yang diperlukan dengan cara observasi. Prinsip kerja alat yaitu sampah dimasukkan ke dalam ruang pembakaran. Pada tahap pembakaran menggunakan konsep *rocket stove* yaitu udara mengalir dari bawah untuk memenuhi kebutuhan udara pembakaran. Suhu yang diperlukan pada proses pembakaran agar dapat mengurangi asap yaitu 600-800 °C. Asap dialirkan melalui pipa penyalur yang tersambung pada tempat ruang penyiram asap yang menggunakan air. Air sisa pembilasan akan disaring menggunakan penyaring air. Air dialirkan menggunakan pompa air.

b. Analisis Komponen

Berdasarkan analisis cara kerja pada alat pembakar sampah untuk meminimalisir asap, maka dapat diketahui komponen-komponen yang dibutuhkan untuk alat tersebut.

1. *Hopper input*

2. Tempat pembakaran

3. Pipa penyalur

4. Ruang penyiram asap

5. Tempat air

6. Pompa air

7. Selang

8. Rangka

Setelah melakukan riset dari analisis tersebut, didapatkan atribut-atribut yang harus ada pada alat kemudian diolah menjadi 10 kriteria. Kriteria-kriteria tersebut dapat dilihat pada Tabel 4.1:

Tabel 4. 1 Kriteria Produk

Pernyataan atribut produk		Notasi
1	Mampu membakar sampah dengan baik	K1
2	Mampu membakar sampah 1 kg dalam sekali bakar	K2
3	Mudah dalam pengoperasian	K3
4	Minim emisi	K4
5	Mudah dalam <i>maintenance</i>	K5
6	Tahan korosi	K6
7	Tidak memakan banyak tempat	K7
8	Mudah dipindahkan	K8
9	estetika	K9
10	Harga minim	K10

Merupakan susunan kriteria yang akan digunakan untuk pertanyaan pada wawancara QFD.

3. Desain Pertanyaan Wawancara

Setelah penentuan atribut pada produk, yaitu berikutnya menyusun pertanyaan wawancara dengan mengembangkan atribut produk sebagai pertanyaannya. Berikut pertanyaan wawancara sebagai berikut:

1. Menurut Anda, seperti apa proses pembakaran sampah yang ideal di lingkungan rumah tangga?
2. Dalam sekali pengolahan, berapakah sampah rumah tangga yang anda hasilkan dalam satu hari ?
3. Seberapa penting bagi Anda alat yang mudah dioperasikan tanpa memerlukan keterampilan khusus?
4. Fitur seperti apa yang menurut Anda dapat mempermudah penggunaan alat tersebut?
5. Sejauh mana asap dari pembakaran sampah mempengaruhi kenyamanan Anda dan lingkungan sekitar?

6. Bagaimana pandangan Anda terhadap perawatan alat, seperti pembersihan atau pengecekan rutin?
7. Seberapa penting bagi Anda alat yang tahan lama dan tidak mudah rusak, misalnya terhadap karat atau panas?
8. Apakah ketersediaan ruang di rumah Anda mempengaruhi pemilihan alat pengolah sampah?
9. Seberapa penting alat tersebut dapat dipindahkan dengan mudah atau permanent sesuai kebutuhan?
10. Desain seperti apa yang menurut Anda sesuai untuk digunakan di rumah tangga?
11. Menurut Anda, berapa kisaran harga yang masih wajar untuk alat pembakar sampah rumah tangga dengan fitur yang lebih aman dan minim asap?
12. Apakah Anda bersedia mengeluarkan biaya lebih jika alat tersebut memberikan kenyamanan dan keamanan yang lebih baik?
13. Secara keseluruhan, apakah Anda merasa membutuhkan alat khusus untuk membantu proses pembakaran sampah rumah tangga?
14. Jika ya, fitur utama apa yang paling Anda harapkan dari alat tersebut?

4.2.2 Penyebaran Wawancara

Setelah dilakukan penyusunan pertanyaan wawancara, selanjutnya dilakukan wawancara kepada responden. Wawancara ini ditujukan kepada orang yang sudah berumah tangga dan sampel yang digunakan sebanyak 10 orang.

4.3 Matriks House of Quality (HOQ)

Tahap selanjutnya yaitu penyusunan matriks *House of Quality (HOQ)* dengan langkah-langkah sebagai berikut:

4.3.3 Mengidentifikasi Kebutuhan Pengguna

Mendefinisikan requirement list atau mendefinisikan kriteria merupakan proses perumusan fungsionalitas yang diharuskan ada dan tidak diharuskan ada pada alat yang dirancang. Kriteria yang ditentukan dapat berupa informasi mengenai fungsi, geometri, material, manufaktur, operasi, biaya dan faktor keamanan dalam desain. Kemudian untuk menentukan kriteria alat yang akan dirancang, setiap informasi dapat dibagi menjadi dua yaitu permintaan dan harapan. Permintaan adalah kriteria

yang harus dimiliki oleh alat yang akan dirancang agar fungsi alat yang diharapkan dapat tercapai, sedangkan harapan merupakan kriteria yang tidak mempengaruhi fungsi utama alat sehingga biasanya dapat memberikan nilai tambah pada alat yang akan dirancang.

Untuk matriks kebutuhan pengguna dengan 10 pernyataan yang diklasifikasikan pada masing-masing dimensi kualitas seperti pada Lampiran XII. Atribut pernyataan tersebut akan dijadikan pengolahan data selanjutnya seperti pada Tabel 4.2.

Tabel 4. 2 Atribut Produk

Daftar kebutuhan Alat		Tingkat kepentingan	Pembobotan kepentingan
1	Mampu membakar sampah dengan baik	Permintaan	10
2	Mampu membakar sampah 1 kg dalam sekali bakar	permintaan	10
3	Mudah dalam pengoperasian	permintaan	10
4	Minim emisi	permintaan	10
5	Mudah dalam maintance	permintaan	10
6	Tahan korosi	permintaan	10
7	Tidak memakan banyak tempat	harapan	3
8	Mudah dipindahkan	permintaan	7
9	estetika	harapan	5
10	Harga minim	harapan	5

4.3.4 Penentuan Karakteristik Teknik (*Technical Response*)

Karakteristik teknik adalah proses menerjemahkan kebutuhan dan keinginan pengguna menjadi tujuan atau tujuan teknis yang ingin dicapai oleh produsen. Adapun 10 technical response berikut ini.

1. Temperatur pembakaran
2. Desain ruang bakar
3. Material ruang bakar
4. Sistem aliran udara
5. Sistem filtrasi asap
6. Ketebalan material
7. Dimensi alat
8. Berat alat
9. Sistem modular (bongkar pasang)

10. Biaya produksi

4.3.5 Penentuan *Technical Correlations*

Technical correlation merupakan hubungan dan saling berkaitan antar technical responses. Ada beberapa jenis hubungan diantaranya adalah:

- a. Hubungan kuat positif (+)
Hubungan antar technical response yang searah (berdampak kuat).
- b. Hubungan negatif (-)
Hubungan antar technical response yang tidak searah (kurang kuat).
- c. Hubungan kuat negative (--)
Hubungan antar technical response yang tidak searah (berdampak kuat).

4.3.6 Penentuan *Relationship*

Relationship matriks menentukan hubungan antara *customer requirements* dan *technical response*, hal ini perlu dilakukan untuk mengetahui kebutuhan pengguna.

- a. Hubungan kuat (9)
Hubungan jenis ini diberi nilai 9 (berhubungan erat dan sangat memengaruhi).
- b. Hubungan sedang (3)
Hubungan jenis ini diberi nilai 3 (berhubungan erat dan memengaruhi).
- c. Hubungan lemah (1)
Hubungan jenis ini diberi nilai 1 (tidak begitu memengaruhi).
- d. Hubungan sangat lemah (0)
Hubungan jenis ini diberi nilai 0 (tidak memengaruhi).

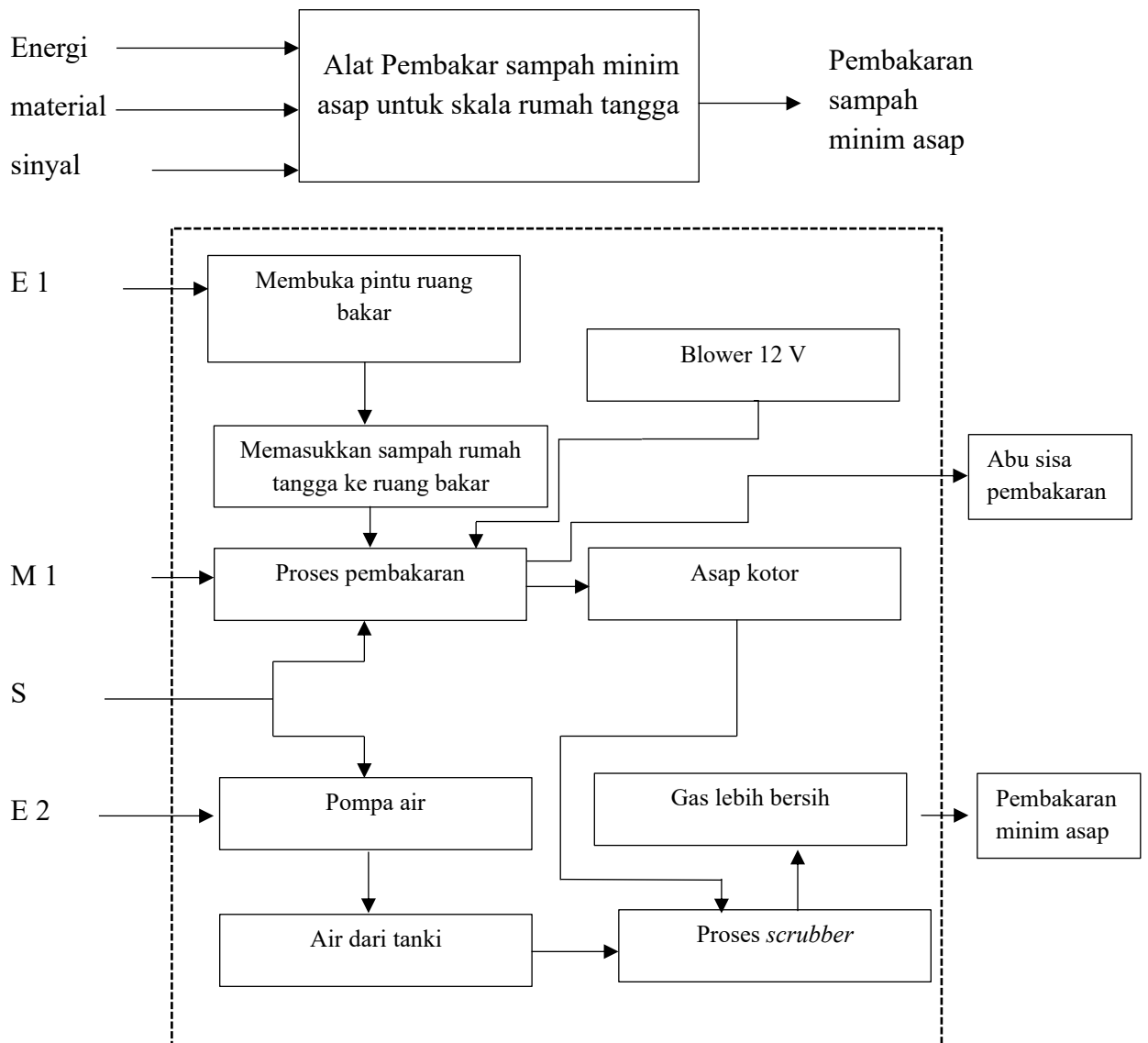
4.3.7 Membuat *House of Quality (HOQ)*

House of Quality (HOQ) merupakan salah satu metode menggunakan matriks yang mendukung *QFD (Quality Function Development)*, menggunakan matriks yang menghubungkan keinginan dengan langkah desain sehingga desainer dapat memfokuskan pada karakteristik yang berharga dan penting. Setelah menentukan *relationship matriks* selanjutnya menghitung matriks perencanaan. Yang bisa dilihat pada gambar 4.2

Gambar 4. 2 House of Quality

1. Desain ruang bakar
2. Dimensi alat
3. Sistem bongkar pasang
4. Biaya produksi
5. Sistem filtrasi asap

Pada perancangan konsep ini, langkah yang dilakukan pertama yaitu penentuan fungsi produk. Penentuan fungsi produk bertujuan untuk dapat dimasukkan ke dalam *morphological chart* agar dapat membuat variasi pada konsep Solusi. Dibawah ini merupakan prinsip kerja alat pembakar sampah minim asap, lalu keseluruhan diagram fungsi dan sub-fungsi yang bisa dilihat pada gambar 4.3.



Gambar 4. 3 Prinsi Kerja Alat

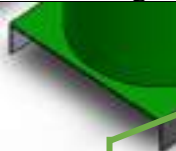
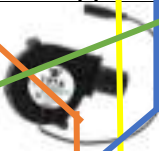
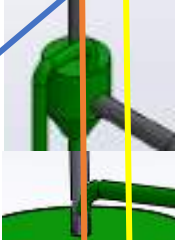
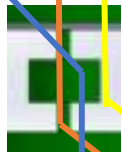
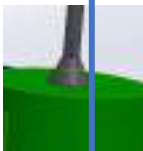
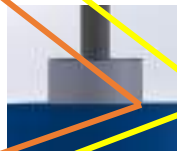
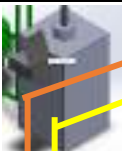
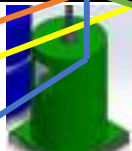
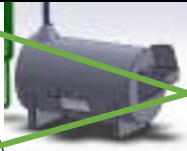
Diagram sub-fungsi menjelaskan menjelaskan keseluruhan dari alat yang dipecah menjadi subfungsi, seperti pada gambar diatas. Struktur fungsi alat pembakaran minim asap memiliki fungsi utama yaitu membakar sampah rumah tangga agar asap yang dihasilkan menjadi lebih sedikit secara manual. Dengan input berupa energi manusia digunakan untuk membuka dan menutup ruang bakar serta memasukkan sampah ke dalam ruang pembakaran. Material input berupa sampah kemudian masuk ke ruang bakar untuk mengalami proses pembakaran. Hasil pembakaran menghasilkan gas buang yang selanjutnya dialirkan menuju sistem

scrubber untuk mengurangi kandungan partikel dan polutan yang terbawa dalam asap. Pada sistem *scrubber*, energi listrik digunakan untuk mengoperasikan pompa air yang berfungsi mengalirkan air dari tangki penyimpanan menuju ruang *scrubber*. Air yang disemprotkan akan berinteraksi dengan gas buang sehingga partikel-partikel asap dapat terikat dan dipisahkan dari aliran gas. Setelah melalui proses penyaringan, gas yang telah mengalami penurunan kadar polutan dikeluarkan ke lingkungan sebagai material *output*, sedangkan abu hasil pembakaran dikumpulkan pada bagian penampung abu. Dengan adanya penguraian fungsi ini, setiap komponen alat dapat diidentifikasi peran dan keterkaitannya sehingga memudahkan proses pengembangan alternatif konsep pada tahap perancangan selanjutnya.

4.4.8 Pembuatan *Morphological Chart*

Morphology chart disusun untuk menghasilkan beberapa alternatif konsep rancangan alat pembakar sampah berdasarkan fungsi utama setiap komponen. Setiap fungsi, seperti rangka, ruang bakar, sistem suplai udara, sistem scrubber, cerobong, dan sistem pembuangan abu, diberikan beberapa alternatif solusi kemudian dikombinasikan menjadi beberapa konsep rancangan. Hasil penyusunan *morphology card* digunakan sebagai dasar dalam proses pemilihan konsep terbaik yang selanjutnya dikembangkan menjadi desain akhir alat pembakar sampah. Tabel *morphology card* bisa dilihat pada tabel 4.3.

Tabel 4. 3 Morphological Chart

No	Sub fungsi/solusi	1	2	3
1.	Tempat masuk sampah	 Bukaan engsel	 Hopper	 digeser
2.	Suplai udara	 Udara langsung	 Blower	-
3.	Model scrubber	 Scrubber 1x	 Scrubber 2x	-
4.	Filter air	 Disamping	 Dibawah scrubber	
5.	Ruang hampa	 Tanpa ruang hampa	 Model krucut	 Model bulat
6.	Ruang bakar	 kubus	 silinder	 Silinder tidur
7.	Pompa air	Pompa tanki		
8.	Pipa penyalur asap	besi		
9.	Ruang sgruber	Drum besi kecil		

Tabel 4. 4 Tabel Variasi Konsep

Jenis varian	keterangan
Varian 1 (1.1-2.2-3.2-4.2-5.3-6.1-7,1-8,1-9,1)	Bukaan engsel – menggunakan blower – scrubber 2x – ditaruh di bawah – bulat – kubus – pompa tanki – besi – drum besi kecil
Varian 2 (1.2-2.1-3.1-4.1-5.2-6.2-7,1-8,1-9,1)	Hupper – menggunakan blower – scrubber 1x – ditaruh di bawah – kerucut – silinder – pompa tanki – besi – drum besi kecil
Varian 3 (1.3-2.1-3.1-4.1-5.2-6.3-7,1-8,1-9,1)	Geser – udara langsung – scrubber 1x – ditaruh disamping – tanpa ruang hampa – silinder ditidurkan – pompa tanki – besi – drum besik kecil
Varian 4 (1.2-2.2-3.1-4.2-5.3-6.1-7,1-8,1-9,1)	Hupper – blower – scrubber 2x – ditaruh di bawah – bulat – kubus – pompa tanki – besi – drum besi kecil

 : varian 1

 : varian 2

 : varian 3

 : varian 4

Morphological chart untuk alat pembakar sampah minim asap menunjukan 4 varian Solusi yang telah dikembangkan seperti pada tabel diatas. Masing masing varian ditunjukkan dengan garis warna yang berbeda untuk membedakan pemilihan Solusi. Keempat varian Solusi memberikan karakteristik performa dan keunggulan tersendiri sesuai tuntunan daftar kebutuhan. Varian akan diseleksi menggunakan prinsip Solusi yang akan menentukan desain yang dipilih

4.4.9 Pembuatan Seleksi Prinsip Solusi

Setelah tahap penyusunan variasi konsep, dilakukan proses evaluasi dan pemilihan konsep menggunakan *Selection Chart*. Evaluasi dilakukan terhadap empat variasi konsep berdasarkan enam kriteria utama, yaitu dimensi alat, sistem bongkar pasang, biaya produksi, sistem filtrasi asap, material ruang bakar, dan tingkat pengetahuan pengguna. Setiap variasi dibandingkan dan diberikan penilaian sesuai tingkat kesesuaiannya terhadap kebutuhan yang telah ditetapkan. seperti pada tabel 4.5.

Tabel 4. 5 Selection Chart

Selection Chart											
Solusi Alternatif		Kriteria Pemilihan :					Keputusan :				
		(+) Ya					(+) Ya				
		(-) Tidak					(-) Tidak				
		(?) Kurang Informasi					(?) Kurang Informasi				
		(!) Periksa Requirement List					(!) Periksa Requirement List				
		Desain Ruang Bakar									Keputusan
		Dimensi Alat									
		Sistem bongkar pasang									
		Biaya produksi									
		Sistem filtrasi asap									
Material ruang bakar											
		Tingkat pengetahuan cukup									
variasi	No	A	B	C	D	E	F	G	Keterangan		
1	1	-	+	-	-	+	+	?	Sistem bongkar pasang rumit	-	
2	2	+	+	+	+	-	+	+	Varian yang dipilih	+	
3	3	-	-	+	+	-	+	+	Memakan banyak tempat	-	
4	4	-	+	-	-	+	+	?	Overcost	-	

Dari hasil seleksi pada tabel diatas berdasarkan hasil penilaian, variasi konsep nomor 2 memperoleh performa terbaik dengan jumlah nilai positif yang paling dominan serta tidak memiliki kelemahan yang signifikan dibandingkan alternatif lainnya. Oleh karena itu, variasi konsep nomor 2 dipilih sebagai konsep akhir yang akan dilanjutkan ke tahap perancangan detail karena dinilai paling sesuai untuk diaplikasikan pada alat pembakar sampah skala rumah tangga, Berikut desain yang terpilih dapat dilihat pada Gambar 4.4.



Gambar 4. 4 Desain Terpilih

4.5 Perhitungan Spesifikasi Alat

Setelah mendapat varian desain yang telah diinginkan tahap selanjutnya yaitu perhitungan spesifikasi alat pembakar sampah minim asap. Sampah yang Dibakar atau yang diolah pada alat ini yaitu seberat 1 kg. untuk menentukan ukuran ruang bakar sampah plastic digunakan menjadi patokan volume, karena sampah plastic memiliki bobot paling ringan dari pada sampah plasti lainnya. Setelah dilakukan observasi sampah plastic 1 kg memiliki diameter dan tinggi sebagai berikut:

Diameter = 36 cm

Tinggi = 27.5 cm

Dengan rumus volume silinder

$$v = \pi \times r^2 \times t$$

Maka ditemukan:

$V = 3.14 \times (18)^2 \times 27.5 = 27977.4 \text{ cm}^3$ atau $0,027977 \text{ m}^3$ (27,97 L) sampah plastik dalam berat 1 kg. Adapun perhitungan spesifikasinya sebagai berikut.

4.5.1 Perhitungan Volume Ruang Bakar

Dari data volume sampah diatas dapat digunakan untuk menentukan ukuran ruang bakar. Volume ruang bakar dihitung untuk mengetahui kapasitas geometris ruang pembakaran yang digunakan sebagai tempat pembakaran sampah. Ruang bakar dirancang berbentuk silinder dengan diameter 40 cm dan tinggi 30 cm. Bentuk silinder dipilih karena mudah dalam proses manufaktur serta mampu mendistribusikan panas secara lebih merata selama proses pembakaran berlangsung. Volume ruang bakar dihitung menggunakan persamaan 2.9.

$$v = \pi \times r^2 \times t$$

$$v = 3.14 \times 20^2 \times 30$$

$$v = 37680 \text{ cm}^3$$

Sehingga volume ruang bakar yang diperoleh sebesar 37680 cm^3 atau $0,037680 \text{ m}^3$ (37,68 L)

Rasio perbandingan volume sampah dan ruang bakar dengan Persamaan 2.10.

$$\text{Rasio} = \frac{\text{ruang bakar}}{\text{volume sampah}}$$

$$\text{Rasio} = \frac{0.03768}{0.02798} = 1.35$$

Maka diperoleh perbandingan rasio ruang bakar dan volume sampah sebesar 1.35 L. Untuk menentukan volume minimum ruang bakar menggunakan Persamaan 2.8.

$$V_{RB} = \frac{Kap}{K}$$

$$V_{RB} = \frac{1}{40} = 0.025$$

Untuk volume yang dirancang $0.037 \text{ m}^3 > 0.025 \text{ m}^3$ telah memenuhi volume minimum

4.5.2 Ruang Sisa Abu Pembakaran

Ruang sisa abu pembakaran dibuat untuk tempat abu yang jatuh pada proses pembakaran. Di ruangan ini juga, tempat lewatnya udara yang masuk untuk proses pembakaran berlangsung. Bentuk yang digunakan adalah silinder dengan diameter 40 cm dan tinggi 20 cm maka dapat dihitung dengan Persamaan 2.9.

$$v = \pi \times r^2 \times t$$

$$v = 3.14 \times 20^2 \times 20$$

$$v = 25120 \text{ cm}^3$$

Maka diperoleh volume pada ruang sisa abu pembakaran sebesar 25120 cm³ atau 0.025120 M³ (25,12 L)

4.5.3 Pipa Cerobong Asap

Cerobong merupakan salah satu komponen utama pada alat pembakar sampah yang berfungsi sebagai saluran pembuangan gas hasil pembakaran menuju atmosfer maupun menuju sistem pengendalian emisi, yaitu *wet scrubber*. Selain berfungsi sebagai saluran pembuangan gas, cerobong juga berperan dalam menjaga kelancaran aliran gas hasil pembakaran sehingga tidak terjadi akumulasi gas di dalam ruang bakar yang dapat mengganggu proses pembakaran.

Dalam perancangan cerobong, parameter yang harus ditentukan terlebih dahulu adalah kecepatan aliran gas (*hot-gas velocity*). Berdasarkan literatur mengenai perancangan cerobong industri (Babb, 1982), luas penampang cerobong ditentukan berdasarkan debit gas pada kondisi beban penuh dengan mengasumsikan kecepatan gas panas sekitar 8 m/s untuk sistem natural draft, sedangkan pada sistem yang menggunakan *forced draft* atau induced draft kecepatan gas dapat mencapai sekitar 18 m/s. Oleh karena itu, pada penelitian ini dipilih kecepatan aliran gas sebesar 8 m/s sebagai parameter perancangan cerobong. Pemilihan nilai tersebut didasarkan pada karakteristik alat yang masih memanfaatkan aliran udara alami melalui bukaan udara di bagian bawah ruang bakar, sedangkan blower 12 V hanya berfungsi sebagai suplai udara tambahan sehingga mekanisme aliran gas buang masih didominasi oleh natural draft.

Sebelum menghitung diameter cerobong, terlebih dahulu dihitung debit gas hasil pembakaran berdasarkan volume gas buang yang dihasilkan selama proses pembakaran. Berdasarkan penelitian (Thabit et al., 2022), pembakaran sampah padat menghasilkan volume gas buang teoritis sekitar 2,55 Nm³/kg sampah. Dengan kapasitas pembakaran sebesar 1 kg dan waktu pembakaran selama 15 menit (900 detik), maka debit gas buang dengan Persamaan 2.4.

$$Q = \frac{2.55}{900} = 0.00283 \text{ m}^3/\text{s}$$

Setelah debit gas diperoleh, selanjutnya dihitung luas penampang cerobong menggunakan Persamaan 2.5 .

$$Q = A \times V$$

Sehingga

$$A = \frac{Q}{V}$$

$$\begin{aligned} A &= 0.00283 / 8 \\ &= 0,00035375 \text{ m}^2 \end{aligned}$$

Karena penampang cerobong berbentuk lingkaran, maka diameter cerobong dihitung menggunakan Persamaan 2.6.

$$A = \frac{(\pi x D^2)}{4}$$

Sehingga dapat dirumuskan dengan Persamaan 2.7.

$$D = \sqrt{\frac{4x0.00035375}{\pi}}$$

$$D = \sqrt{0,000450}$$

$$D = 0.0212 \text{ m}$$

$$D = 21.2 \text{ mm}$$

Hasil perhitungan menunjukkan bahwa diameter teoritis cerobong yang dibutuhkan adalah 21,2 mm. Nilai tersebut merupakan diameter minimum berdasarkan hasil analisis debit gas buang. Namun, dalam proses manufaktur tidak tersedia pipa dengan diameter tersebut sebagai ukuran standar. Selain itu, penggunaan diameter yang terlalu kecil berpotensi meningkatkan kehilangan tekanan (*pressure drop*) serta mempermudah terjadinya penumpukan jelaga dan abu pada saluran gas buang.

Oleh karena itu, pada penelitian ini dipilih pipa cerobong berdiameter nominal 2 inci. Pemilihan ukuran tersebut didasarkan pada pertimbangan ketersediaan material di pasaran, kemudahan proses fabrikasi, serta kemampuan mengalirkan gas hasil pembakaran menuju *wet scrubber* dengan hambatan aliran yang lebih rendah dibandingkan diameter teoritis. Dengan demikian, ukuran pipa 2 inci dinilai lebih aman dan lebih sesuai untuk diterapkan pada alat pembakar sampah berkapasitas 1 kg yang dirancang dalam penelitian ini.

4.5.4 Perhitungan Volume *Wet scrubber*

Pada penilitan ini. Tanki *wet scrubber* menggunakan tong kecil. Hal ini menjadi pertimbangan karena keterbatasan pada biaya. Tong yang digunakan memiliki diameter 275 mm dan tinggi 380 mm. Untuk menghitung volume ruang, dapat menggunakan Persamaan 2.11.

$$v = \pi \times r^2 \times t$$

$$v = 3.14 \times 13.75^2 \times 38$$

$$v = 22570.37 \text{ cm}^3$$

Sehingga volume *wet scrubber* yang diperoleh sebesar 22570.37 cm³ atau 0,02257 m³ (22.57 L)

4.6 Analisis *Software* Kekuatan Rangka

Analisis kekuatan rangka ini dilakukan untuk mengevaluasi kekuatan rangka pada desain yang telah ditentukan. Proses ini menggunakan simulasi *software* Fusion .untuk mendapatkan hasil yang sesuai, perlu menentukan pendefinisian pembebanan, arah pembebanan, serta tumpuan atau pengikat pada rangka. Panjang rangka pada desain adalah 700 mm. Setiap pembebanan pada desain ditentukan berdasarkan berat komponen, seperti ruang bakar seberat 9 kg dan juga ruang pembilas asap (*scrubber*) sebesar 4 kg. perhitungan gaya pembebanan yang terjadi menggunakan persamaan 2.12.

$$F = M \times G$$

Dimana:

$$F = \text{gaya pembebanan (N)}$$

$$M = \text{massa yang ditopang (kg)}$$

$$G = \text{gaya gravitasi (m/s)}$$

Berdasarkan persamaan tersebut dan beban yang ada maka perhitungan pembebanan didapatkan hasil sebagai berikut:

1. Ruang bakar

$$F = M \times G$$

$$F = 9 \times 10$$

$$F = 90 \text{ N}$$

2. Ruang pembilas asap (*Scrubber*)

$$F = M \times G$$

$$F = 4 \times 10$$

$$F = 40 \text{ N}$$

Setelah menentukan beban pada setiap komponen alat, selanjutnya perhitungan beban yang akan diterima pada rangka pada saat alat dijalankan. Berat sampah yang dibakar sebesar 1kg pada ruang bakar dan juga berat air pada ruang tempat air dan scrubber yaitu *sebesar* 5 L air. Jika dikonveksikan pada kg 5 liter air adalah 5 kg. Maka dapat dihitung menggunakan rumus pembebanan sebagai berikut:

1. Sampah

$$F = M \times G$$

$$F = 1 \times 10$$

$$F = 10 \text{ N}$$

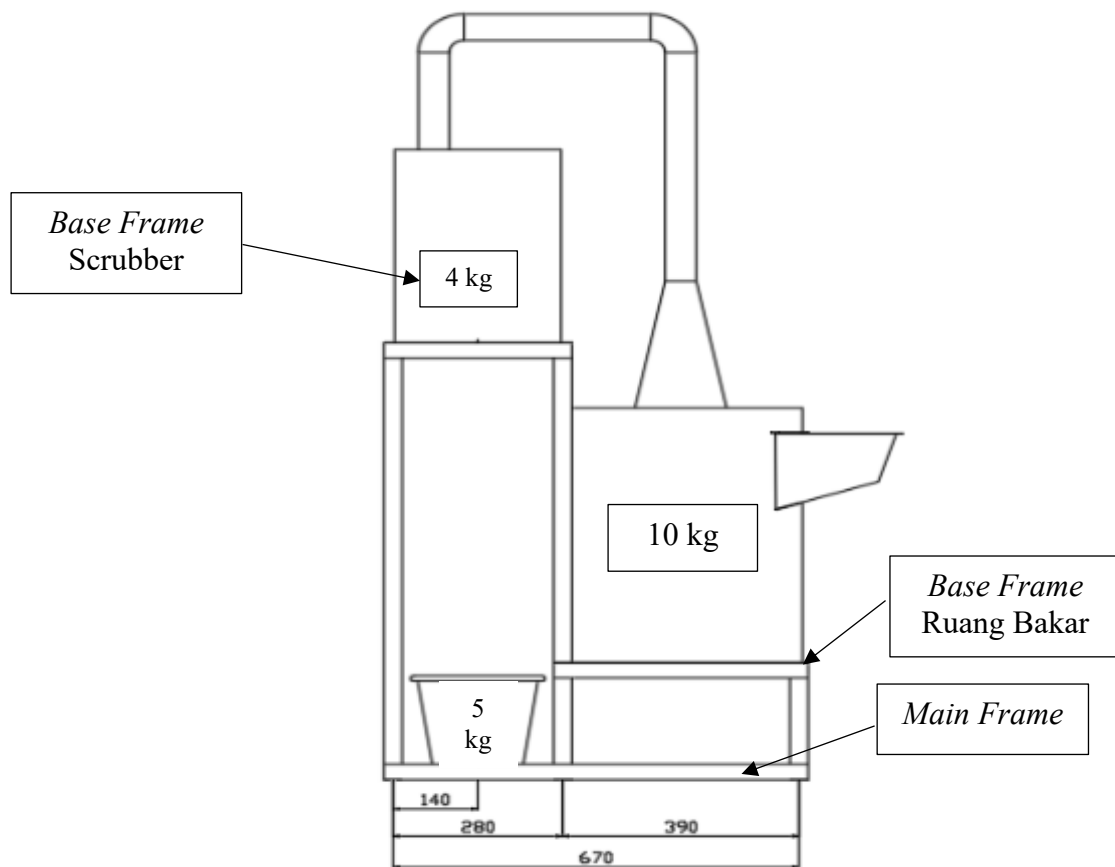
2. Air

$$F = M \times G$$

$$F = 5 \times 10$$

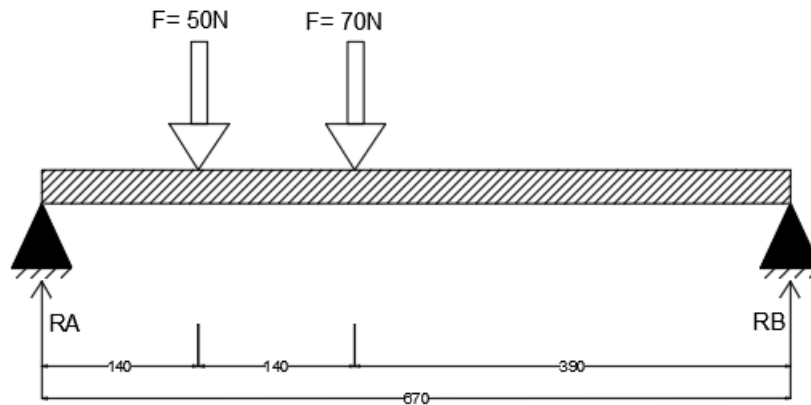
$$F = 50 \text{ N}$$

Berdasarkan perhitungan tersebut diperoleh beban sampah sebesar 10 N dan beban air 50 N. Setelah mengetahui beban yang diterima pada rangka, maka dilakukan penentuan dimensi profil rangka yang akan digunakan untuk membuat alat pembakar sampah minim asap. Untuk menentukan dimensi profil maka perlu dilakukan perhitungan untuk mencari modulus penampang profil yang dibutuhkan. Profil yang diukur adalah profil kerangka yang digunakan untuk menopang tempat pembakaran sampah dan juga ruang pembilas asap. Profil dari gaya F dapat dilihat pada Gambar 4.5:



Gambar 4. 5 Load Condition pada Profil Konsep Terpilih yang akan Dihitung

1. Menghitung *Main Frame*



Gambar 4. 6 Pemetaan Load Condition Main Frame

Pada pembebanan di titik B beban srcubber dan juga ruang bakar dibagi 2 yaitu $(100 \text{ N} + 40 \text{ N}) / 2 = 70 \text{ N}$, jadi pembebanan pada titik B sebesar 70 N

Menghitung momen pada tumpuan menggunakan Persamaan 2.14.

$$\sum F_y = 0$$

$$R_A + R_B - 50 - 70 = 0$$

$$R_A + R_B = 120$$

$$\sum M_A = 0$$

$$-P_1 \times 0,14 \text{ m} - P_2 \times 0,28 + R_{VB} \times 0,67 \text{ m} = 0$$

$$-50 \times 0,14 - 70 \times 0,28 + 0,67 R_{VB} = 0$$

$$-7 - 19,6 + 0,67 R_{VB}$$

$$0,67 R_{VB} - 26,6$$

$$R_{VB} = \frac{-26,6}{0,67}$$

$$R_{VB} = -39,7 \text{ N}$$

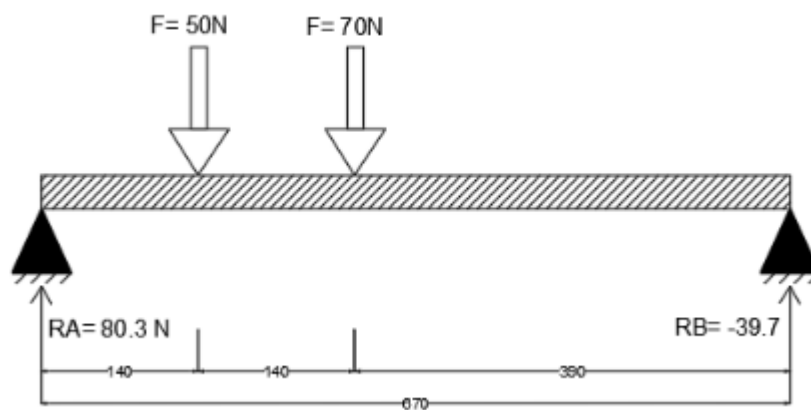
$$\sum M_B = 0$$

$$P_2 \times 0,39 \text{ m} + P_1 \times 0,53 \text{ m} - R_{VA} \times 0,67 \text{ m} = 0$$

$$\begin{aligned}
70 \times 0,39 + 50 \times 0,53 - R_{VA} \times 0,67 &= 0 \\
27,3 + 26,5 - 0,67 R_{VA} &= 0 \\
53,8 - 0,67 R_{VA} &= 0 \\
-0,67 R_{VA} &= -53,8 \\
R_{VA} &= \frac{-53,8}{-0,67} \\
R_{VA} &= 80,3 \text{ N}
\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
\text{Kontrol } \sum V &= 0 \\
R_{VA} + R_{VB} - P_1 - P_2 & \\
39,7 + 80,3 - 50 - 70 &= 0 \\
120 - 120 &= 0 \text{ (ok)}
\end{aligned}$$

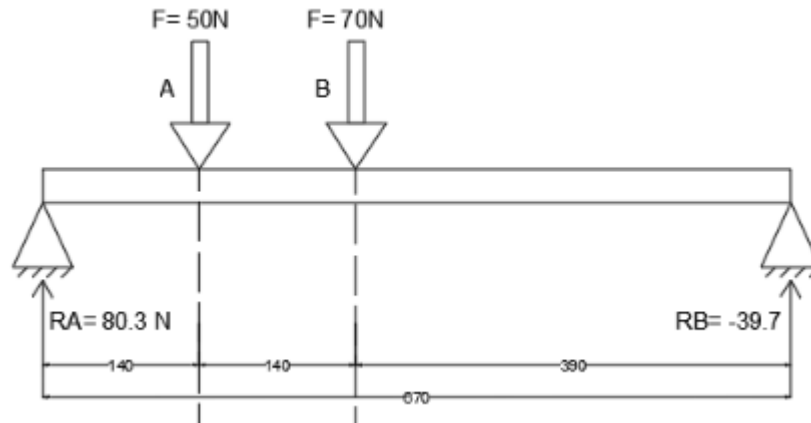
Dari perhitungan diatas dapat diketahui bahwa nilai RA dan RB seperti Gambar 4.7.



Gambar 4. 7 Nilai RA Dan RB Main Frame

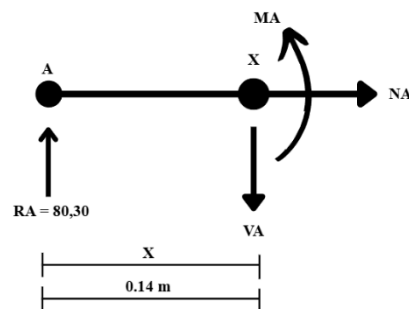
Tahap berikutnya yaitu mencari nilai momen maksimum menurut diagram gaya geser dan diagram momennya. Dalam menentukan diagram gaya geser dan diagram momen maka dilakukan perhitungan momen pada tiap tiap potongan

terlebih dulu. Sketsa potongan pada diagram pada konsep yang ditentukan dapat dilihat pada Gambar 4.8.



Gambar 4. 8 Sketsa Potongan Main Frame

Pada potongan a perhitungan momen untuk profil konsep yang ditentukan sesuai dengan penyebaran gaya seperti Persamaan 2.15 dan 2.13 pada Gambar 4.9.



Gambar 4. 9 Potongan a Main Frame

$$\sum F_X = 0$$

$$N_A = 0$$

$$\sum F_Y = 0$$

$$+ R_A - V_A = 0$$

$$V_A = R_A$$

$$V_A = 80,3 \text{ N}$$

$$\sum MX = 0$$

$$M_a - R_a = 0$$

$$M_a = R_a \times X$$

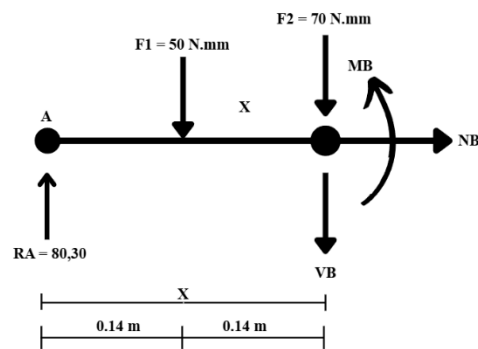
$$M_a = 80,3 \times X \text{ (N.m)}$$

$$\text{Pada } X = 0,14 \text{ m}$$

$$M_a = 80,3 \times (0,14)$$

$$M_a = 11,24 \text{ N.m}$$

Perhitungan pada potongan momen b pada profil konsep yang ditentukan dengan penyebaran gaya dengan Persamaan 2.15 dan 2.13 seperti pada Gambar 4.10.



Gambar 4. 10 Potongan b Main Frame

$$\sum FX = 0$$

$$N_b = 0$$

$$\sum FY = 0$$

$$+ R_a - V_b - F_2 = 0$$

$$V_b = R_a - F_2$$

$$V_b = 80,30 - 50$$

$$V_b = 30,30 \text{ N}$$

$$\sum MX = 0$$

$$M_b - R_a x + 90 (X - 0,14) = 0$$

$$M_b = 80,30x - 50 (x - 0,14)$$

Pada $X = 0,28 \text{ m}$

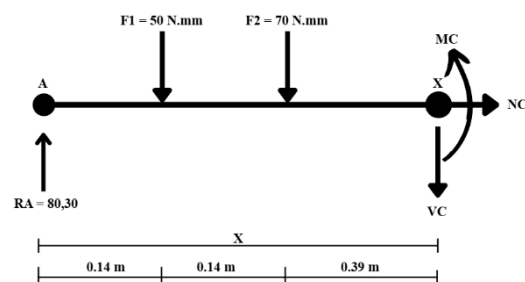
sehingga

$$M_b = 80,30 \times (0,28) - 50 \times (0,28 - 0,14)$$

$$M_b = 22,484 - 7$$

$$M_b = 15,484 \text{ N.m}$$

Perhitungan pada potongan momen c pada profil konsep yang ditentukan dengan penyebaran gaya dengan Persamaan 2.15 dan 2.13 seperti Gambar 4.11.



Gambar 4. 11 Potongan c Main Frame

$$\sum FX = 0$$

$$N_b = 0$$

$$\sum FY = 0$$

$$+ R_a - 50 - 70 - V_c = 0$$

$$V_c = R_a - 50 - 70$$

$$V_c = 80,30 - 50 - 70$$

$$V_c = -39,70 \text{ N}$$

$$\sum MX = 0$$

$$M_c - R_a \times X + 50 (X - 0,14) + 70 (X - 0,28) = 0$$

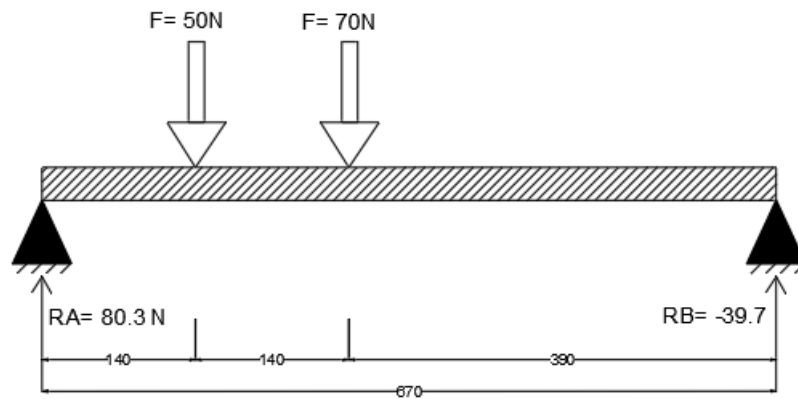
$$M_c = R_a \times X - 50 (X - 0,14) - 70 (X - 0,28)$$

$$M_c = 80,30X - 50 (X - 0,14) - 70 (X - 0,28) \text{ N.m}$$

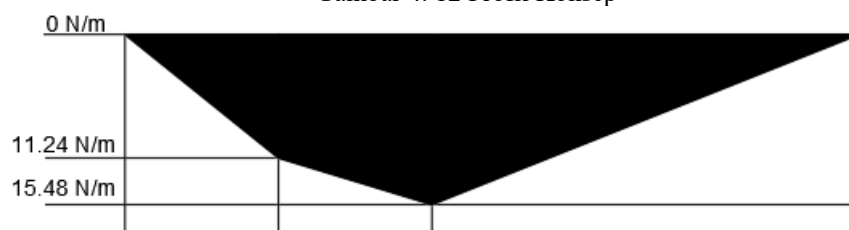
$$\text{Pada } X = 0,67 \text{ m (tumpuan B)}$$

$$M_c = 0$$

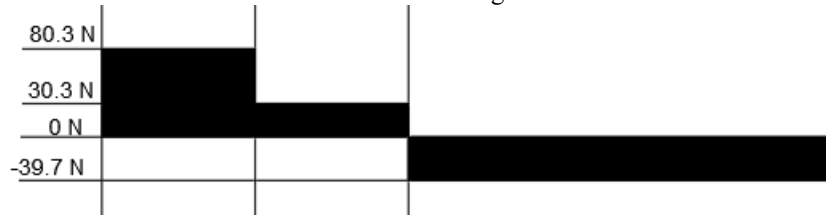
Berdasarkan perhitungan momen yang sudah dilakukan pada setiap potongan dari titik A maka didapatkan shear diagram pada Gambar 4.13 dan momen diagram pada Gambar 4.14 profil konsep yang ditentukan pada Gambar 4.12 .



Gambar 4. 12 Profil Konsep

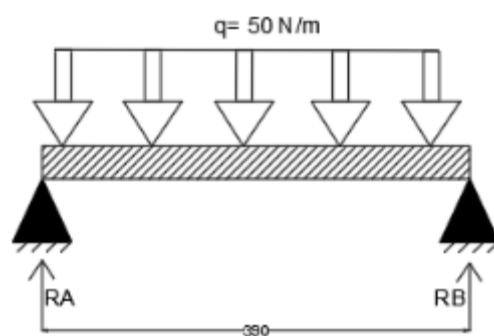


Gambar 4. 13 Moment Diagram Main Frame



Gambar 4. 14 Shear Diagram Main Frame

2. Menghitung *Base Frame Ruang Bakar*



Gambar 4. 15 Sketsa Potongan Base Frame Ruang Bakar

Menghitung beban total

$$W = 50 \times 0.39$$

$$W = 19.5\text{ N}$$

Resultan beban merata bekerja di tengah bentang menggunakan persamaan 2.18.

$$x = \frac{L}{2}$$

$$x = \frac{0,39}{2}$$

$$x = 0,195 \text{ m}$$

Reaksi Tumpuan

$$RA = RB$$

$$\Sigma Fy = 0$$

$$RA + RB - 19,5 = 0$$

$$2RA = 19,5$$

$$RA = \frac{19,5}{2}$$

$$RA = 9,75 \text{ N}$$

Sehingga:

$$RA = 9,75 \text{ N}$$

$$RB = -9,75 \text{ N}$$

Gaya Lintang Maksimum.

$$\text{Ditumpuan kiri} : VA = RA = 9,75 \text{ N}$$

$$\text{Ditumpuan Kanan} : VB = RB = -9,75 \text{ N}$$

$$\text{Jadi gaya lintang maksimum} : Vmax = 9,75 \text{ N}$$

Menghitung momen lentur maksimum menggunakan Persamaan 2.16.

$$Mmax = \frac{qL^2}{8}$$

$$Mmax = \frac{50(0,39)^2}{8}$$

$$Mmax = \frac{7,605}{8}$$

$$Mmax = 0,950625 \text{ Nm} / 950,625 \text{ N mm}$$

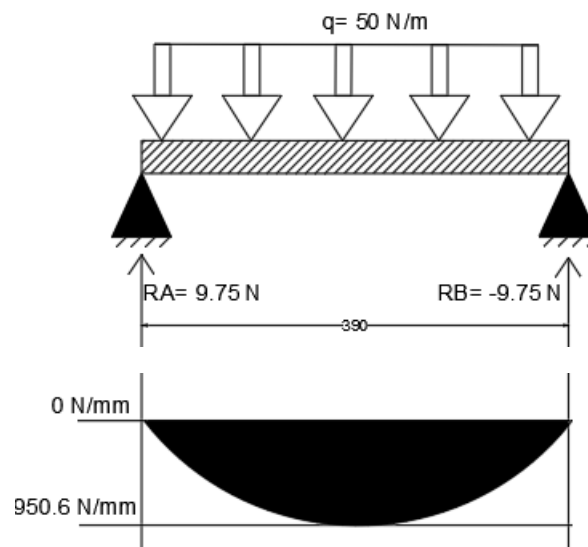
Letak momen maksimum

$$x = \frac{L}{2}$$

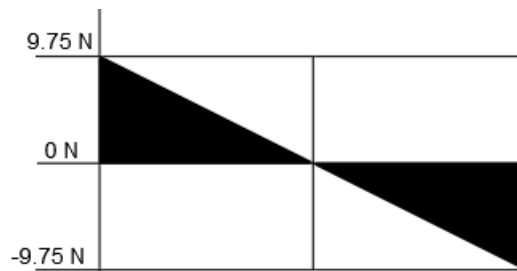
$$x = \frac{390}{2}$$

$x = 195 \text{ mm}$ dari tumpuan kiri

Berdasarkan perhitungan momen yang sudah dilakukan pada setiap potongan dari titik A maka didapatkan shear diagram pada Gambar 4.16 dan momen diagram pada Gambar 4.17 profil konsep yang ditentukan.

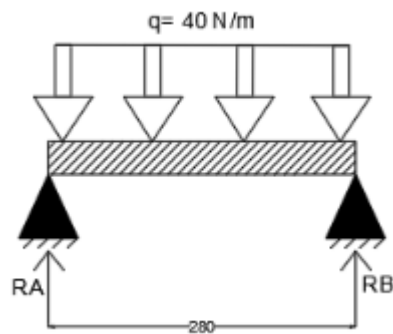


Gambar 4. 16 Momen Diagram Base Frame Ruang Bakar



Gambar 4. 17 Shear Diagram Base Frame Ruang Bakar

3. Menghitung Base Frame Ruang Scrubber



Gambar 4. 18 Pemetaan Load Condition Base Frame Ruang Scrubber

Menghitung beban total

$$W = 40 \times 0,28$$

$$W = 11,2 \text{ N}$$

Resultan beban merata bekerja di tengah bentang menggunakan Persamaan 2.18.

$$x = \frac{L}{2}$$

$$x = \frac{0,28}{2}$$

$$x = 0.14 \text{ m}$$

Reaksi Tumpuan

$$RA = RB$$

$$\Sigma Fy = 0$$

$$RA + RB - 11,2 = 0$$

$$2RA = 11,2$$

$$RA = \frac{11,2}{2}$$

$$RA = 5,6 \text{ N}$$

Sehingga:

$$RA = 5,6 \text{ N}$$

$$RB = -5,6 \text{ N}$$

Gaya Lintang Maksimum.

Ditumpuan kiri : $V_A = R_A = 5,6 \text{ N}$

Ditumpuan Kanan : $V_B = R_B = -5,6 \text{ N}$

Jadi gaya lintang maksimum : $V_{max} = 5,6 \text{ N}$

Menghitung momen lentur maksimum menggunakan Persamaan 2.16.

$$M_{max} = \frac{qL^2}{8}$$

$$M_{max} = \frac{40(0,28)^2}{8}$$

$$M_{max} = \frac{3,136}{8}$$

$$M_{max} = 0,392 \text{ Nm} / 392 \text{ N mm}$$

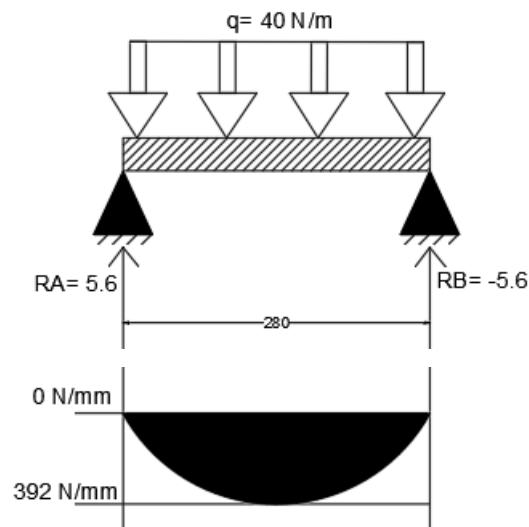
Letak momen maksimum

$$x = \frac{L}{2}$$

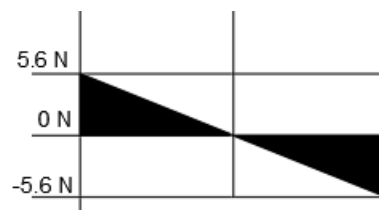
$$x = \frac{280}{2}$$

$$x = 140 \text{ mm dari tumpuan kiri}$$

Berdasarkan perhitungan momen yang sudah dilakukan pada setiap potongan dari titik A maka didapatkan shear diagram pada Gambar 4.19 dan momen diagram pada Gambar 4.20 profil konsep yang ditentukan.



Gambar 4. 19 Momen Diagram Base Frame Ruang Scrubber



Gambar 4. 20 Shear Diagram Base Frame Ruang Scrubber

Tahap berikutnya adalah menentukan tegangan ijin profil. Konsep desain yang dirancang menggunakan profil siku dengan material ASTM A36. Tabel di bawah ini menunjukan sifat fisik dari material ASTM A36.

Tabel 4. 6 Tabel Parameter Material

Parameter	Keterangan
Material	ASTM A36
<i>Density</i>	7,85 g/cm ³
<i>Yield strenght</i>	250 Mpa
<i>Ultimate Tensile Strenght</i>	400-550 Mpa
<i>Modulus of Elasticity</i>	200 Gpa
<i>Bulk Modulus</i>	140 Gpa
<i>Poisson 'n Ratio</i>	0.260
<i>Shear Modulus</i>	79,3 Gpa

(Sumber:Matweb.com)

Tegangan ijin material dapat dihitung dengan Persamaan 2.17.

$$\sigma_{ijin} = \frac{\sigma_y}{sf \times k}$$

Dimana:

σ_{ijin} = tegangan ijin maksimal (Mpa)

σ_y = tegangan luruh material (Mpa)

sf = factor keamanan

k = factor koreksi material = 1

Factor keamanan yang digunakan untuk beban statis adalah 2, maka besar tegangan maksimum /tegangan ijin yang terjadi pada rangka menggunakan Persamaan 2.17.

$$\sigma_{ijin} = \frac{250}{2 \times 1}$$

$$\sigma_{ijin} = 125 \text{ Mpa}$$

Setelah mengetahui nilai tegangan ijin dari material yang akan digunakan, maka dapat dilakukan perhitungan untuk menentukan besar penampang profil minimum yang akan digunakan untuk membangun mesin ini. Modulus penampang dapat dihitung dengan Persamaan 2.19.

$$Z = \frac{M}{\sigma_{ijin}}$$

Dimana:

σ_{ijin} = tegangan ijin maksimal (Mpa atau N/mm²)

M = Momen maksimum (N.mm)

sf = factor keamanan

$$Z = \frac{M}{\sigma_{ijin}}$$

$$Z = \frac{15484 N \cdot mm}{125 N/mm^2}$$

$$Z = 123,872 \text{ mm}^3 = 0,1238 \text{ cm}^3$$

Setelah mengetahui nilai modulus penampang minimum untuk kebutuhan profil yang akan digunakan selanjutnya memilih dimensi profil menggunakan katalog profil pada Gambar 4.21.

gle

Type 1

Type 1 angles have legs of equal length and of equal thickness.
The radii are all less than or equal to 8.83 mm.

Profile Number	Dimensions			Mass kg/m	Area mm²	Centroid		X-X Axis				Y-Y Axis				Principal Axis				Torsion Constant J	
	A mm	T mm	r mm			C _x mm	C _y mm	I _x x10⁸ mm⁴	I _y x10⁸ mm⁴	I _{xy} x10⁸ mm⁴	I _x mm⁴	I _y mm⁴	I _{xy} mm⁴	I _u mm⁴	I _v mm⁴	I _{uv} mm⁴	r _u mm	r _v mm	Angle deg		
L0025	25.00	2.50	0.00	0.345	60.3	8.7	8.7	3.0	391	7.9	-7.9	261	7.9	6.0	302	39.8	7.5	191	3.9	55.0	21
L0032	32.00	3.20	0.00	0.519	71.0	6.0	6.0	4.5	596	7.9	-4.0	394	7.0	7.7	440	6.9	7.0	191	5.0	65.0	31
L0038	38.00	3.80	0.00	0.610	77.4	4.8	4.8	4.7	811	7.9	-3.0	540	7.8	7.4	429	9.9	7.8	191	5.0	62.0	41
L0045	45.00	4.50	0.00	0.707	84.0	7.0	7.0	5.8	1111	7.8	-5.8	680	7.8	6.3	531	9.8	10.0	191	4.7	60.0	50
L0050	50.00	5.00	0.00	0.780	91.0	7.0	7.0	6.0	1300	7.8	-6.0	833	7.8	11.0	731	9.8	10.0	191	4.7	60.0	60
L0063	63.00	6.30	0.00	0.940	104.0	7.7	7.7	6.4	2097	7.0	-7.0	1344	7.7	14.2	1021	9.4	9.4	191	6.7	65.0	70
L0075	75.00	7.50	0.00	1.120	124.0	6.9	6.9	6.7	3017	8.8	-4.7	2017	8.0	7.8	1427	16.1	7.8	191	7.5	60.0	80
L0080	80.00	8.00	0.00	1.210	131.0	7.0	7.0	7.1	3400	7.0	-7.1	2400	7.7	14.8	1600	9.7	7.7	191	7.0	60.0	90
L0088	88.00	8.80	0.00	1.330	143.0	8.1	8.1	7.4	4190	7.8	-7.4	2790	7.8	19.0	1880	9.8	8.2	191	6.7	62.0	100
L0100	100.00	10.00	0.00	1.540	164.0	8.0	8.0	8.0	5400	7.8	-8.0	3400	7.8	16.0	2400	11.0	8.0	191	6.0	60.0	110
L0125	125.00	12.50	0.00	2.040	217.0	8.6	8.6	10.4	8811	9.2	-7.8	4807	9.7	22.7	3800	11.7	9.8	191	6.9	60.0	130
L0140	140.00	14.00	0.00	2.420	253.0	9.2	9.2	10.8	10800	9.7	-10.8	5800	9.7	29.4	4300	12.0	10.0	191	6.7	60.0	140
L0150	150.00	15.00	0.00	2.560	271.0	9.3	9.3	11.1	12500	9.8	-11.2	6500	10.0	32.9	4800	12.0	9.8	191	7.0	60.0	150
L0175	175.00	17.50	0.00	3.300	347.0	8.8	8.8	9.0	18000	10.0	-9.0	9300	10.0	38.0	7800	12.8	8.0	191	6.0	60.0	160
L0200	200.00	20.00	0.00	3.910	391.0	9.7	9.7	10.0	24000	9.8	-10.0	12000	9.8	49.0	10000	13.0	7.8	191	6.0	60.0	180

Gambar 4. 21 Katalog Profil Siku

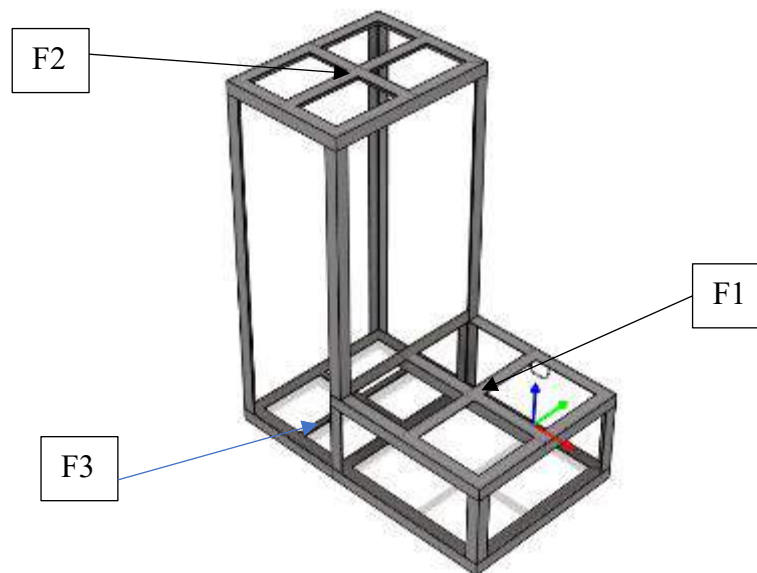
(Sumber: *Standard Profile Catalogue*, 2015)

Berdasarkan Katalog profil di atas maka dipilih profil siku dengan ukuran 30 x 30 dengan ketebalan 2 mm yang memenuhi kebutuhan modulus penampang yang diijinkan yaitu $0,46 \text{ cm}^3 > 0,1238 \text{ cm}^3$. Profil ini dipilih karena memberikan tingkat kekakuan dan faktor keamanan yang lebih tinggi. Selain itu, profil ini mampu mengurangi lendutan struktur, lebih tahan terhadap beban dinamis serta pengaruh korosi selama masa operasi. Pertimbangan lainnya adalah kemudahan proses fabrikasi dan ketersediaan material yang umum di pasaran. Oleh karena itu, profil L 30 × 30 × 2 mm dianggap sebagai ukuran yang paling sesuai untuk menjamin keamanan, keandalan, dan umur pakai alat yang dirancang.

Setelah dimensi dan jenis profil rangka yang digunakan pada konsep terpilih ditentukan, tahap selanjutnya adalah melakukan analisis tegangan statis (static

stress) dengan bantuan perangkat lunak Autodesk Fusion 360. Simulasi ini bertujuan untuk mengevaluasi kemampuan rangka dalam menahan beban kerja yang direncanakan serta mengetahui distribusi tegangan yang terjadi pada struktur.

Gambar 4.22 menunjukkan kondisi *structural constraint* dan structural load yang diterapkan pada model rangka. Besarnya pembebanan yang diberikan pada simulasi mengacu pada hasil perhitungan beban yang telah dilakukan pada tahap sebelumnya. Dengan masing masing Pembebanan diarea F1 bagian ruang bakar sebesar 10 kg, F2 pada bagian *wet scrubber* sebesar 4 kg, dan pada F3 pada bagian penampung air sebesar 5kg. Dengan adanya simulasi ini, dapat diketahui tingkat keamanan dan kekuatan rangka sebelum proses fabrikasi dilakukan.



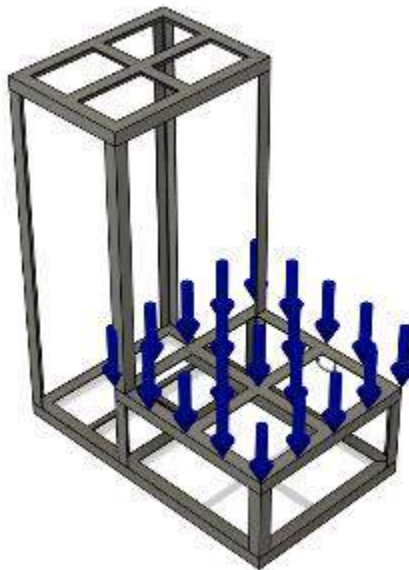
Gambar 4. 22 *Structural Load*

Tahap selanjutnya setelah penentuan beban pada rangka adalah menetapkan *structural constraint* sebagai kondisi batas simulasi. Dalam penelitian ini, kondisi batas tersebut diberikan pada bagian alas rangka mesin yang berfungsi sebagai tumpuan sehingga rangka tetap berada pada posisi tetap saat menerima pembebanan selama proses simulasi seperti ditunjukkan pada Gambar 4.23.



Gambar 4. 23 *Structural Constrain*

Setelah menentukan *Structural Constrain* selanjutnya meletakkan pembebanan pertama yang terletak pada area tempat ruang bakar sebesar 100 N seperti pada Gambar 4.24.



Gambar 4. 24 Pembebanan F1

Selanjutnya pembebanan kedua diletakkan pada tempat ruang *wet scrubber* sebesar 40 N seperti yang ditunjukkan pada gambar 4.25.



Gambar 4. 25 Pembebanan F2

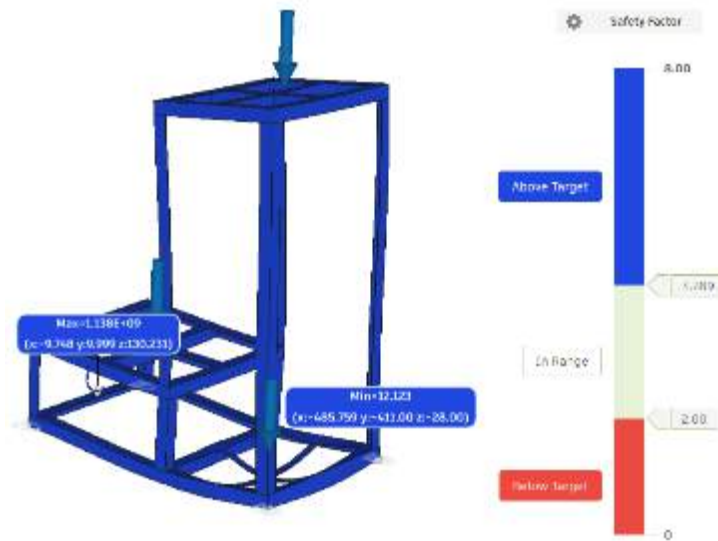
Selanjutnya pembebanan kedua diletakkan pada tempat penampungan air sebesar 50 N seperti yang ditunjukkan pada gambar 4.26.



Gambar 4. 26 Pembebanan F3

4.6.1 Hasil Simulasi Safety Faktor

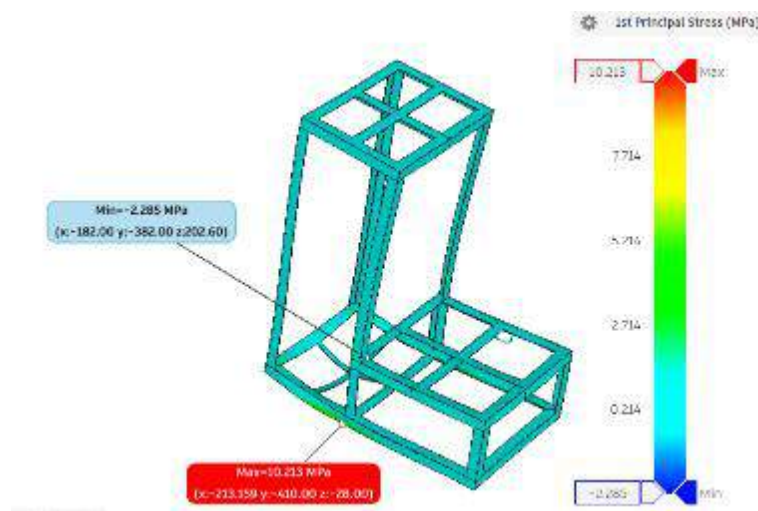
Dari hasil simulasi pada software menunjukkan bahwa *minimum* safety faktor sebesar 12.123. Dimana pada penentuan awal untuk minimum safety faktor sebesar 2. pada Gambar 4.27 menunjukkan hasil simulasi safety faktor menunjukkan warna biru pada seluruh bagian rangka. Jadi untuk safety faktor ini terpenuhi ($12.123 > 2$) dan dianggap aman.



Gambar 4. 27 Hasil Simulasi Safety Faktor

4.6.2 Hasil Simulasi *Stress Von Mises*

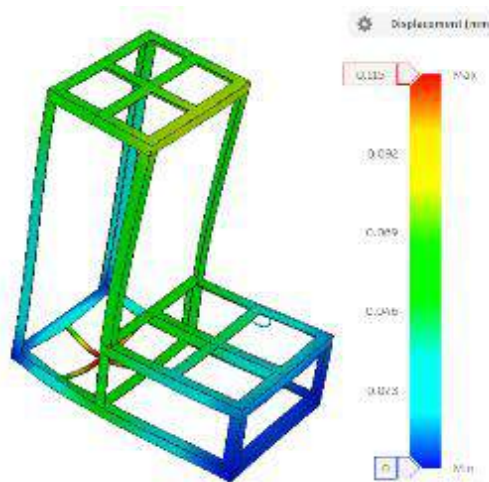
Hasil simulasi untuk *stress von mises* menunjukkan bahwa maksimum stress terletak pada bagian bawah rangka yang menopang antara tempat ruang bakar dan juga tempat *wet scrubber* yang ditunjukkan seperti pada Gambar 4.28. warna merah terletak pada profil bagian bawah yang paling besar mengalami stress sedangkan untuk *minimum stress* terjadi pada tempat ruang bakar yang menopang *wet scrubber* untuk *maksimum stress* sebesar 10.213 MPa dan untuk *minimum stress* -2.285 MPa.



Gambar 4. 28 Hasil Simulasi *Stress Von Mises*

4.6.3 Hasil Simulasi *Displacement*

Displacement pada simulasi ini menunjukkan nilai sebesar 0.115 yang ditunjukkan berwarna merah seperti pada Gambar 4.29. *Displacement* pada bagian tempat penampungan air merupakan yang paling besar. pada bagian itu profil yang digunakan adalah plat bar sehingga lebih besar dari pada profil L pada rangka lain. Alasan menggunakan plat bar pada bagian itu adalah untuk menghemat biaya manufaktur dan juga dari hasil analisis ini masih dinyatakan aman.



Gambar 4. 29 Hasil Simulasi *Displacement*

4.7 Pembuatan Detail Drawing

Detail drawing digunakan untuk memudahkan tim manufaktur dalam pembuatan dan perakitan komponen mesin pemotong kentang. Dalam detail drawing, tercantum dimensi dan bentuk yang sebenarnya dari setiap bagian. Proses pembuatan detail drawing juga mencakup penyempurnaan desain dari konsep yang terpilih, serta menentukan bentuk dan posisi komponen penunjang yang telah dipilih. Gambar detail drawing dapat dilihat pada Lampiran 11.

4.8 Proses Fabrikasi dan Perakitan

Proses fabrikasi dan perakitan merupakan serangkaian kegiatan manufaktur yang dilakukan untuk mengubah bahan baku maupun bahan setengah jadi menjadi suatu produk yang memiliki nilai guna dan nilai ekonomi lebih tinggi. Proses tersebut meliputi tahapan pemrosesan, pembentukan, penyambungan, serta perakitan komponen secara bertahap hingga menghasilkan produk akhir yang

sesuai dengan fungsi dan tujuan perancangannya sehingga layak digunakan maupun dipasarkan.

Pada tahap fabrikasi dan perakitan, terdapat beberapa proses utama yang dikerjakan dengan bantuan peralatan atau mesin manufaktur, yaitu *marking* (penandaan), *cutting* (pemotongan), *welding* (pengelasan), *sanding* (penghalusan permukaan), *painting* (pengecatan), *assembling* (perakitan), dan *finishing* (penyelesaian akhir). Setiap tahapan tersebut memiliki peran penting dalam menghasilkan produk yang berkualitas. Uraian mengenai proses-proses tersebut akan dijelaskan secara lebih rinci dan dilengkapi dengan gambar yang menunjukkan tahapan fabrikasi serta perakitan produk yang dilakukan.

4.8.1 Alat yang Digunakan

Pada tahapan awal sebelum melakukan proses fabrikasi tentunya perlu menyiapkan alat-alat yang akan digunakan untuk membuat alat pembakar sampah untuk meminimalisir asap skala rumah tangga, alat-alat yang digunakan sebagai berikut:

1. Alat ukur (penggaris, meteran)
2. Spidol marking
3. Mesin gerinda tangan
4. Mesin las
5. Mesin bor tangan

4.8.2 Pembuatan ruang bakar dan abu sisa pembakaran

Ruang bakar dan sisa abu pembakaran pada alat ini dibuat dari plat galvanis yang mempunyai tebal 1.2 mm. Langkah pertama yaitu memotong lembaran plat sesuai ukuran yang ditentukan. kemudian dilakukan proses rolling seperti Gambar 4.30.



Gambar 4. 30 Pengerollan

Setelah dilakukan proses rolling tahap selanjutnya yaitu penggabungan antara ujung hasil rolling dengan pengelasan menggunakan las SMAW dan melubangi bagian samping ruang bakar seperti pada Gambar 2.31 untuk masuknya sampah dan diberi hupper untuk memudahkan memasukkan sampah kedalam ruang bakar.



Gambar 4. 31 Pemasangan Hupper

4.8.3 Proses pembuatan ruang penyiraman asap.

Pada Gambar 4.32 pembuatan bagian alat ini dibuat dari drum 22L sehingga melubangi bagian atas untuk menancapkan pipa penyalur asap dan juga tempat sprayer air untuk menyiram asap nantinya dan melubangi bagian samping untuk keluarnya sisa asap dan bagian bawah untuk tempat keluarnya air yang nantinya ditampung di tempat penyimpanan air.



Gambar 4. 32 Pembuatan Ruang Scrubber

4.8.4 Pembuatan Pipa Penyalur Asap

Proses pertama yaitu memotong pipa sesuai ukuran yang ditentukan. Selanjutnya menyambungkan bagian bagian yang telah dipotong menggunakan las SMAW seperti pada Gambar 4.33.



Gambar 4. 33 Pembuatan Pipa Penyalur Asap

4.8.5 Pembuatan Rangka

Kerangka alat yang telah dirancang menggunakan profil siku yang mempunyai ukuran 30 x 30 x 2 mm. Langkah pertama yaitu melakukan marking pada profil sesuai ukuran yang telah direncanakan. Kemudian dilakukan proses penyatuan kerangka menjadi bentuk yang telah direncanakan seperti pada Gambar 4.34 dengan menggunakan las SMAW.



Gambar 4. 34 Pembuatan Rangka

Setelah kerangka dilas dan dihaluskan kemudian dilakukan finishing seperti pada Gambar 4.35 yaitu proses pengecatan agar terhindar dari karat dan juga untuk menambah estetika.



Gambar 4. 35 Pengecatan Rangka

4.8.6 Perakitan komponen listrik scrubber

Pada bagian ini komponen pompa air, sprayer dan tangka scrubber disatukan agar pada saat alat digunakan ruang scrubber bisa bekerja sesuai keinginan. termasuk pompa dan juga komponen pendukung lainnya seperti pada Gambar 4.36.



Gambar 4. 36 Perakitan Komponen Listrik

4.9 Hasil Pengujian Kelayakan dan Pembahasan

Pengujian tingkat kepekatan asap dilakukan untuk mengetahui efektivitas alat pembakar sampah dalam mengurangi emisi asap hasil pembakaran. Pengamatan dilakukan menggunakan metode Ringelmann Chart dengan cara membandingkan warna asap yang keluar dari cerobong dengan tingkat kehitaman pada Ringelmann Chart. Nilai Ringelmann berkisar antara 0 sampai 5, dimana semakin besar nilai Ringelmann menunjukkan tingkat kepekatan asap yang semakin tinggi.

4.9.1 Hasil Pengujian Dengan *Ringelmann Chart*

Pada pengujian alat, sampah dimasukkan secara bergantian sampai habis. Waktu yang diperoleh pada setiap proses pembakaran tidak sama setiap sampah. Oleh karena itu data yang diambil setiap menit agar pada saat perubahan densitas asap atau kepekatan asap bisa terlihat. Tahapan pertama yaitu menyiapkan sampah yang akan Dibakar seberat 1 kg pada masing masing sampah. berikut jenis sampah yang akan dibakar dapat dilihat pada tabel 4.7.

Tabel 4. 7 Proses Penimbangan Sampah

plastik	Daun kering	Ranting kayu	kertas
			

Pada sampah campuran karena berat yang diperlukan sebanyak 1 kg maka setiap sampah ditimbang $\frac{1}{4}$ kg atau 250 gram. Berikut proses penimbangan dapat dilihat pada tabel 4.8.

Tabel 4. 8 Proses Penimbangan Untuk Sampah Campuran

plastik	Daun kering	Ranting kayu	kertas
			
250g	250g	250g	250g

Setelah seluruh sampah yang akan diuji telah dikumpulkan, selanjutnya dilakukan proses pembakaran menggunakan alat yang telah dirancang. Selama proses pembakaran berlangsung, dilakukan pengamatan tingkat kepekatan asap menggunakan metode Ringelmann Chart untuk menentukan tingkat *opacity* asap yang keluar dari cerobong. Sebagai ilustrasi hasil pengamatan, ditampilkan contoh kondisi asap dengan tingkat kepekatan paling rendah dan paling tinggi yang diperoleh selama pengujian. Perbandingan visual kedua kondisi asap tersebut disajikan pada Tabel 4.9 sebagai acuan dalam proses penilaian menggunakan Ringelmann Chart.

Tabel 4. 9 Komparasi Tebal Asap

Gambar	Ringelmann chart	Keterangan
 Nilai 2		Putih abu abu sedikit pekat (Skala Ringelmann 2 / Opasitas 40%)
 Nilai 1		Putih abu abu tipis terang (Skala Ringelmann 1 / Opasitas 20%)

a. Sampah kayu

Pengujian pertama dilakukan menggunakan sampah berupa ranting kayu untuk mengetahui kinerja alat dalam membakar limbah biomassa. Waktu yang dibutuhkan hingga seluruh sampah kayu habis terbakar adalah 26 menit 13 detik. Lama proses pembakaran tidak dapat dijadikan sebagai acuan tetap karena dipengaruhi oleh ukuran ranting, kadar air, tingkat kekeringan kayu, serta susunan sampah di dalam ruang bakar. Hasil pengamatan visual menggunakan Ringelmann Chart disajikan pada lampiran 1

Berdasarkan hasil pengamatan selama 26 menit, diperoleh total nilai Ringelmann sebesar 34. Nilai rata-rata Ringelmann dapat dihitung menggunakan rata rata nilai ringelmann chart dan dibagi jumlah pengamatan seperti pada persamaan 2.1.

$$\frac{34}{26} = 1.3$$

Nilai rata-rata Ringelmann sebesar 1,3 menunjukkan bahwa asap hasil pembakaran memiliki tingkat opacity rata-rata sebesar 20%. Selama proses pembakaran juga dilakukan pengukuran suhu di dalam ruang bakar, suhu di luar ruang bakar, serta pengamatan terhadap kondisi air hasil proses *wet scrubber* yang disajikan pada lampiran 2.

Berdasarkan hasil tersebut dapat disimpulkan bahwa alat mampu membakar sampah kayu dengan tingkat kepekatan asap yang relatif rendah. Nilai opacity sebesar 20% menunjukkan bahwa sistem pembakaran dan *wet scrubber* telah bekerja dengan baik dalam mengurangi asap yang dihasilkan selama proses pembakaran sampah kayu.

b. Sampah plastik

Selanjutnya pengujian menggunakan sampah plastik. Pada pengujian ini waktu yang diperoleh untuk membakar sampah plastik adalah 31 menit 20 detik. Berikut hasil uji alat menggunakan Ringelmann chart dapat dilihat pada lampiran 3.

Dari hasil pengamatan pembakaran sampah plastik selama 31 menit mendapatkan total nilai 38 dapat dirumuskan dengan persamaan 2.1.

$$\frac{38}{31} = 1.2$$

Hasil perhitungan menunjukkan nilai rata-rata Ringelmann sebesar 1,2, sehingga tingkat opacity rata-rata sebesar 20%. Pengukuran suhu ruang bakar, suhu lingkungan, dan kondisi air hasil proses *wet scrubber* disajikan pada lampiran 4.

Berdasarkan hasil pengujian tersebut dapat disimpulkan bahwa alat mampu membakar sampah plastik dengan tingkat opacity yang masih berada pada kategori rendah. Hal ini menunjukkan bahwa sistem pembakaran dan proses penyaringan asap menggunakan *wet scrubber* mampu menekan kepekatan asap meskipun sampah plastik umumnya menghasilkan emisi yang lebih tinggi dibandingkan sampah organik.

c. Sampah Daun Kering

Pengujian selanjutnya dilakukan menggunakan sampah daun kering. Waktu yang diperlukan hingga proses pembakaran selesai adalah 5 menit 32 detik. Waktu pembakaran yang relatif singkat dipengaruhi oleh karakteristik daun kering yang mudah terbakar dan memiliki kadar air yang rendah. Hasil pengujian menggunakan Ringelmann Chart disajikan pada Lampiran 5.

Dari hasil pengamatan pembakaran sampah daun kering selama 5 menit mendapatkan total nilai 9 dapat dirumuskan dengan rata rata nilai ringelmann chart yaitu dibagi jumlah pengamatan seperti pada persamaan 2.1.

$$\frac{9}{5} = 1.8$$

Hasil perhitungan menunjukkan nilai rata-rata Ringelmann sebesar 1,8, sehingga diperoleh tingkat opacity rata-rata sebesar 40%. Pengukuran suhu di dalam ruang bakar, suhu di luar ruang bakar, serta pengamatan terhadap air hasil proses *wet scrubber* disajikan pada Lampiran 6.

Berdasarkan hasil tersebut dapat disimpulkan bahwa pembakaran daun kering menghasilkan tingkat opacity yang lebih tinggi dibandingkan jenis sampah lainnya. Kondisi tersebut disebabkan oleh laju pembakaran yang berlangsung sangat cepat sehingga menghasilkan asap dalam jumlah lebih besar pada awal proses pembakaran sebelum seluruh asap tersaring secara optimal oleh sistem *wet scrubber*.

d. Sampah kertas

Selanjutnya pengujian menggunakan sampah kertas. Pada pengujian ini waktu yang diperoleh untuk membakar sampah plastik adalah 20 menit 9 detik. Berikut hasil uji alat menggunakan Ringelmann chart dapat dilihat pada lampiran 7.

Dari hasil pengamatan pembakaran sampah kertas selama 20 menit diperoleh total nilai Ringelmann sebesar 23. Nilai rata-rata Ringelmann seperti pada persamaan 2.1.

$$\frac{23}{20} = 1.15$$

Maka diperoleh hasil rata rata dari pengujian pembakaran kertas sebesar 1.15 sehingga opacity rata rata 20 %. Pada saat pembakaran suhu diluar ruang dan didalam ruang bakar diukur menggunakan thermometer dan juga air bekas scrubber bisa dilihat pada lampiran 8.

Berdasarkan hasil pengujian dapat disimpulkan bahwa alat mampu membakar sampah kertas dengan baik serta menghasilkan tingkat kepekatan asap yang rendah. Nilai opacity sebesar **20%** menunjukkan bahwa proses pembakaran berlangsung cukup sempurna dan sistem penyaringan asap bekerja secara efektif.

e. Sampah campuran

Pengujian terakhir dilakukan menggunakan sampah campuran yang terdiri atas beberapa jenis sampah rumah tangga. Pengujian ini bertujuan untuk

mengetahui performa alat pada kondisi yang mendekati penggunaan sebenarnya. Waktu yang dibutuhkan untuk menyelesaikan proses pembakaran adalah 19 menit 27 detik. Hasil pengujian menggunakan *Ringelmann Chart* disajikan pada Lampiran 9.

Berdasarkan hasil pengamatan selama 19 menit, diperoleh total nilai Ringelmann sebesar **27**. Nilai rata-rata Ringelmann dihitung seperti pada Persamaan 2.1.

$$\frac{27}{19} = 1.42$$

Hasil perhitungan menunjukkan nilai rata-rata *Ringelmann* sebesar 1,42, sehingga diperoleh tingkat *opacity* rata-rata sebesar 20%. Pengukuran suhu di dalam ruang bakar, suhu di luar ruang bakar, serta pengamatan terhadap air hasil proses *wet scrubber* juga dilakukan selama pengujian berlangsung.

Berdasarkan hasil tersebut dapat disimpulkan bahwa alat mampu membakar sampah campuran dengan tingkat kepekatan asap yang tetap rendah meskipun karakteristik sampah yang dibakar bervariasi. Hal ini menunjukkan bahwa rancangan ruang bakar dan sistem *wet scrubber* mampu mempertahankan performa pembakaran pada kondisi operasi yang menyerupai penggunaan sehari-hari.

Dari lima uji alat pembakar tersebut. Ketentuan dalam PERATURAN MENTERI NEGARA LINGKUNGAN HIDUP (2009), bisa dilihat pada tabel 2.3 kadar opasitas maksimum untuk emisi pembakaran adalah 40%.

No	Kadar Maksimum (%)	Metode
1	40	SNI 19.7117.11 2005

Maka alat ini memenuhi standart ketentuan SNI 19.7117.11 2005 yang Dimana hasil semua uji coba dibawah 20 % Berdasarkan hasil pengujian menggunakan metode Ringelmann Chart terhadap lima jenis sampah, yaitu ranting kayu, plastik, daun kering, kertas, dan sampah campuran, dapat diketahui bahwa alat pembakar sampah yang dirancang mampu menghasilkan tingkat kepekatan asap yang relatif rendah. Nilai *opacity* rata-rata yang diperoleh pada pembakaran ranting kayu, plastik, kertas, dan sampah campuran masing-masing sebesar 20%, sedangkan pembakaran daun kering menghasilkan *opacity* rata-rata sebesar 40%. Tingginya

nilai *opacity* pada pembakaran daun kering dipengaruhi oleh karakteristik material yang mudah terbakar sehingga menghasilkan asap yang lebih pekat pada fase awal pembakaran.

Apabila dibandingkan dengan ketentuan dalam Peraturan Menteri Negara Lingkungan Hidup Nomor 7 Tahun 2009, yang mengacu pada metode pengujian SNI 19-7117.11-2005, batas maksimum kadar *opacity* emisi pembakaran adalah 40%. Berdasarkan ketentuan tersebut, seluruh hasil pengujian yang dilakukan masih memenuhi standar yang dipersyaratkan karena nilai *opacity* tertinggi yang diperoleh hanya mencapai 40%, sedangkan sebagian besar pengujian menunjukkan nilai 20%.

Dengan demikian, dapat disimpulkan bahwa alat pembakar sampah yang dirancang telah mampu melakukan proses pembakaran dengan tingkat emisi asap yang masih berada dalam batas yang diperbolehkan. Hal ini menunjukkan bahwa rancangan ruang bakar serta penerapan sistem *wet scrubber* mampu mengurangi kepekatan asap yang dihasilkan, sehingga alat memiliki kinerja yang baik dan layak digunakan sebagai alternatif pembakar sampah rumah tangga dengan emisi asap yang rendah.

4.9.2 Rendemen Arang dan abu

Setelah proses pembakaran dilakukan rendemen arang dan abu sisa proses pembakaran. Rendemen arang dan abu digunakan untuk mengetahui kesempurnaan proses pembakaran. Parameter yang diukur untuk analisis rendemen arang dan abu adalah parameter massa arang dan abu yang dihasilkan oleh proses pembakaran dan massa sampah yang dibakar. Langkah pertama yaitu memisahkan arang dan abu yang bisa dilihat pada gambar 4.37.



Gambar 4. 37 Proses Pengayakan Arang Dan Abu

Langkah berikutnya yaitu menimbang arang dan abu pada setiap proses pembakaran. Hasil timbangan arang dan abu bisa dilihat pada Tabel 4.10 dan 4.11.

Tabel 4. 10 Proses Penimbangan Arang

Kayu	Plastik	Daun kering	Kertas	Campuran
				
10 gram	117 gram	92 gram	41 gram	62 gram

Tabel 4. 11 Proses Penimbangan Abu

Kayu	Plastik	Daun kering	Kertas	Campuran
				
33 gram	65 gram	65 gram	127 gram	76 gram

Untuk menghitung nilai rendemen arang dan abu dapat dihitung dengan presentase perbandingan massa arang, massa abu, dan massa sampah. Seperti pada Persamaan 2.2 dan 2.3.

a. Rendemen arang dan abu kayu

Massa sampah yang dibakar = 1 kg

Massa arang = 10 gram = 0.01 kg

Massa abu = 33 gram = 0.033 kg

$$\begin{aligned}\text{Rendemen arang (\%)} &= \frac{\text{massa arang}}{\text{massa sampah}} \times 100\% \\ &= \frac{0.01}{1} \times 100\% = 1\%\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}\text{Rendemen abu (\%)} &= \frac{\text{massa abu}}{\text{massa sampah}} \times 100\% \\ &= \frac{0.033}{1} \times 100\% = 3.3\%\end{aligned}$$

b. Rendemen arang dan abu plastik

Massa sampah yang dibakar = 1 kg

Massa arang = 117 gram = 0.117 kg

Massa abu = 65 gram = 0.065 kg

$$\begin{aligned}\text{Rendemen arang (\%)} &= \frac{\text{massa arang}}{\text{massa sampah}} \times 100\% \\ &= \frac{0.117}{1} \times 100\% = 11.7\%\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}\text{Rendemen abu (\%)} &= \frac{\text{massa abu}}{\text{massa sampah}} \times 100\% \\ &= \frac{0.065}{1} \times 100\% = 6.5\%\end{aligned}$$

c. Rendemen arang dan abu daun kering

Massa sampah yang dibakar = 1 kg

Massa arang = 92 gram = 0.092 kg

Massa abu = 65 gram = 0.065 kg

$$\begin{aligned}\text{Rendemen arang (\%)} &= \frac{\text{massa arang}}{\text{massa sampah}} \times 100\% \\ &= \frac{0.092}{1} \times 100\% = 9.2\%\end{aligned}$$

$$\text{Rendemen abu (\%)} = \frac{\text{massa abu}}{\text{massa sampah}} \times 100\%$$

d. Rendemen arang dan abu kertas

Massa sampah yang dibakar = 1 kg

Massa arang = 41 gram = 0.041 kg

Massa abu = 127 gram = 0.127 kg

$$\begin{aligned}\text{Rendemen arang (\%)} &= \frac{\text{massa arang}}{\text{massa sampah}} \times 100\% \\ &= \frac{0.041}{1} \times 100\% = 4.1\%\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}\text{Rendemen abu (\%)} &= \frac{\text{massa abu}}{\text{massa sampah}} \times 100\% \\ &= \frac{0.127}{1} \times 100\% = 12.7\% \\ &= \frac{0.065}{1} \times 100\% = 6.5\%\end{aligned}$$

e. Rendemen arang dan abu campuran

Massa sampah yang dibakar = 1 kg

Massa arang = 62 gram = 0.062 kg

Massa abu = 76 gram = 0.076 kg

$$\begin{aligned}\text{Rendemen arang (\%)} &= \frac{\text{massa arang}}{\text{massa sampah}} \times 100\% \\ &= \frac{0.062}{1} \times 100\% = 6.2\%\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}\text{Rendemen abu (\%)} &= \frac{\text{massa abu}}{\text{massa sampah}} \times 100\% \\ &= \frac{0.076}{1} \times 100\% = 7.6\%\end{aligned}$$

Berdasarkan hasil perhitungan yang disajikan pada Tabel 4.12, diperoleh nilai rendemen arang dan rendemen abu yang berbeda pada setiap jenis sampah yang diuji. Perbedaan tersebut dipengaruhi oleh karakteristik masing-masing sampah, seperti kadar air, kandungan karbon, dan kandungan mineral yang memengaruhi proses pembakaran. Sampah plastik menghasilkan rendemen arang tertinggi, sedangkan sampah kertas menghasilkan rendemen abu tertinggi. Secara keseluruhan, hasil pengujian menunjukkan bahwa alat mampu membakar berbagai jenis sampah dengan baik, yang ditunjukkan oleh rendahnya jumlah residu arang dan abu yang dihasilkan setelah proses pembakaran. Hal ini mengindikasikan bahwa proses pembakaran pada alat telah berlangsung secara efektif pada berbagai jenis sampah rumah tangga.

Tabel 4. 12 Hasil Rendemen Arang Dan Abu

Kayu		Plastic		Daun kering		kertas		campuran	
Arang	Abu	Arang	Abu	Arang	Abu	Arang	Abu	Arang	Abu
1%	3.3%	11.7%	6.7%	9.2%	6.5%	4.1%	12.7%	6.2%	7.6%

4.10 Rincian Anggaran Biaya

Biaya pembuatan alat pembakar sampah untuk meminimalisir asap skala ruma tangga terdiri dari biaya bahan baku, biaya pembelian komponen, dan biaya fabrikasi. Rincian biaya pembuatan alat pembakar sampah untuk meminimalisir asap skala ruma tangga adalah sebagai berikut.

4.10.1 Biaya Pembelian Bahan Baku

Biaya bahan baku adalah biaya pembelian material yang akan dilakukan proses manufaktur untuk alat pembakar sampah untuk meminimalisir asap skala rumah tangga bisa dilihat pada tabel 4.13.

Tabel 4. 13 Laporan Biaya Pembuatan Alat Pembakar Sampah Minim Asap

No.	Komponen	jumlah	Harga (Rp)	Total (Rp)
1.	Plat besi galvanis 1.2 mm	1/2 lembar	Rp.275,000	Rp.275,000
2.	Besi betoneser 5 mm	1 lonjor	Rp.20,000	Rp.20,000
3.	Profil L 30 x 30 x 2 mm	2 lonjor	Rp.62,000	Rp.124,000
4.	Tong bekas 50 liter	1 buah	Rp.30,000	Rp.30,000
5.	Pipa 2"	½ lonjor	Rp.140,000	Rp.140,000
6.	Nozzle air	2 buah	Rp.20,000	Rp.40,000
7.	Pompa air	1 buah	Rp.100,000	Rp.100,000
8.	Selang air 1/5"	2 meter	Rp.10,000	Rp.20,000
9.	Clamp ¾"	6 buah	Rp.2,000	Rp.12,000
10.	Accu pompa	1 buah	Rp.150,000	Rp.150,000
11.	Scrub m3	14 buah	Rp.250	Rp.3,500
12.	T joint D 5mm	1 buah	Rp.10,000	Rp.10,000
13.	Blower	1 buah	Rp.68,000	Rp.68,000
14.	Pipa besi gas 1"	60 cm	Rp.8,000	Rp.8,000
15.	Plat bar 15 x 2 mm	1 lonjor	Rp.22,000	Rp.22,000
16.	Engsel pintu	2 pasang	Rp.4,000	Rp.8,000
17.	Roda troli bulat	4 pcs	Rp.10,000	Rp.40,000
18.	Pilox	3 kaleng	Rp.30,000	Rp.90,000
19.	Selang air 1"	30 cm	Rp.500	Rp.500
20.	Elbow 2"	4 buah	Rp.8,000	Rp.32,000
21.	Timba 5 liter	1 buah	Rp.8,000	Rp.8,000
22.	Kain penyaring	1 buah	Rp.2,000	Rp.2,000
23.	glasswool	1 buah	Rp.5,000	Rp.5,000
24.	kabel	2 meter	Rp 3000	Rp 6000
TOTAL				Rp1.214.000

Dari tabel diatas dalam pembuatan rangka, tempat pembakaran, dan tempat pembilasan asap dan juga komponen pendukung lainnya dibutuhkan biaya sebesar Rp.1.214.000,-

4.10.2 Biaya Tenaga Kerja

Biaya manufaktur merupakan biaya yang dikeluarkan untuk proses pembuatan alat pembakar sampah minim asap. Rincian dari biaya tersebut diuraikan pada tabel di bawah ini.

1. Biaya Pembuatan Kerangka

Pembuatan kerangka membutuhkan proses manufaktur seperti pemotongan profil L, dan pengelasan. Rincian biaya dapat dilihat pada tabel 4.14:

Tabel 4. 14 Biaya Pembuatan Rangka

No.	Proses Manufaktur	Harga (Rp)
1.	Pemotongan	25.000
2.	Pengelasan	125.000
TOTAL		150.000

2. Biaya Pembuatan Ruang Bakar

Pembuatan ruang bakar membutuhkan proses manufaktur seperti pemotongan plat galvanis, pengerollan, drilling dan pengelasan. Rincian biaya dapat dilihat pada tabel 4.15:

Tabel 4. 15 Biaya Pembuatan Ruang Bakar

No.	Proses Manufaktur	Harga (Rp)
1.	Pemotongan	50.000
2.	Pengelasan	150.000
3.	Pengerollan	15.000
4.	Drilling	5000
TOTAL		220.000

3. Biaya pembuatan ruang pembilas asap dan pipa penyalur asap

Pembuatan ruang pembilas asap dan pipa penyalur asap membutuhkan proses manufaktur seperti pemotongan pipa, drilling dan pengelasan. Rincian biaya dapat dilihat pada tabel 4.16:

Tabel 4. 16 Biaya Pembuatan Ruang Pembilas Asap Dan Pipa Penyalur Asap

No.	Proses Manufaktur	Harga (Rp)
1.	Pemotongan	20.000
2.	Pengelasan	50.000
3.	Drilling	5000
TOTAL		75.000

4. Biaya pembuatan dan perakitan toolbox serta tempat penyaring air

Pembuatan dan perakitan toolbox serta tempat penyaring air membutuhkan proses manufaktur seperti pemotongan pipa dan plat, drilling, bending, dan pengelasan. Rincian biaya dapat dilihat pada tabel 4.17:

Tabel 4. 17 Biaya Pembuatan Dan Perakitan Tollbox Serta Tempat Penyaring Air

No.	Proses Manufaktur	Harga (Rp)
1.	Pemotongan	20.000
2.	Pengelasan	35.000
3.	Drilling	5000
4.	Bending	10.000
TOTAL		70.000

5. Biaya perangkaian sistem kelistrikan

Pada proses penyusunan rangakaian Listrik diperlukan proses penyolderan. Rincian biaya dapat dilihat pada tabel 4.18:

Tabel 4. 18 Biaya Perangkaian Sistem Kelistrikan

No.	Proses Manufaktur	Harga (Rp)
1.	Penyolderan	10.000
TOTAL		10.000

Dari hasil perhitungan biaya total manufaktur diatas diperoleh biaya total sebesar Rp.525.000,-.

4.10.3 Perhitungan Biaya Total

Setelah didapatkan perhitungan biaya bahan baku, komponen, dan biaya manufaktur, selanjutnya menghitung total keseluruhan biaya tersebut.

$$\begin{aligned}\text{Biaya total} &= \text{pembelian biaya bahan baku} + \text{total biaya manufaktur} \\ &= 1.214.000 + 525.000 \\ &= \text{Rp.1.739.000,-.}\end{aligned}$$

4.11 Pembahasan

Pembahasan pada penelitian ini bertujuan untuk mengevaluasi hasil perancangan, pembuatan, dan pengujian alat pembakar sampah minim asap skala rumah tangga yang telah dikembangkan. Tahap pembuatan alat dilakukan berdasarkan desain terpilih hasil penerapan metode Pahl and Beitz serta *Quality Function Deployment* (QFD), sehingga diperoleh alat pembakar sampah berbentuk silinder yang dilengkapi dengan ruang bakar, cerobong, dan sistem *wet scrubber* sebagai penyaring asap. Setelah proses fabrikasi selesai, alat kemudian diuji untuk mengetahui kesesuaian antara desain yang dirancang dengan kinerja aktualnya.

Pengujian dilakukan menggunakan lima jenis sampah rumah tangga, yaitu ranting kayu, plastik, daun kering, kertas, dan sampah campuran. Parameter yang dianalisis meliputi waktu pembakaran, tingkat kepekatan asap menggunakan metode *Ringelmann Chart*, suhu selama proses pembakaran, serta rendemen arang dan abu yang dihasilkan. Hasil pembahasan ini digunakan untuk menilai keberhasilan alat dalam membakar sampah dan kemampuan sistem *wet scrubber* dalam menurunkan emisi asap, sehingga dapat diketahui apakah alat yang dirancang telah memenuhi tujuan penelitian sebagai alat pembakar sampah rumah tangga dengan emisi asap yang rendah.

4.11.4 Hasil Pembuatan Alat

Hasil perancangan yang telah dilakukan pada penelitian ini berhasil diwujudkan menjadi sebuah produk melalui proses manufaktur sesuai dengan desain yang telah ditetapkan. Alat pembakar sampah minim asap dibuat menggunakan pelat galvanis sebagai material utama ruang bakar dengan bentuk silinder yang disesuaikan dengan kapasitas pembakaran sebesar 1 kg sampah rumah tangga. Proses manufaktur meliputi pemotongan material, pembentukan komponen, pengelasan, perakitan, serta pemasangan seluruh bagian hingga menjadi satu kesatuan alat yang siap dioperasikan. Hasil pembuatan menunjukkan bahwa seluruh komponen dapat dirakit dengan baik dan berfungsi sesuai dengan rancangan yang telah dibuat seperti pada Gambar 4.38.



Gambar 4. 38 Hasil Pembuatan Alat

Sistem kerja alat terdiri atas ruang bakar sebagai tempat pembakaran sampah, blower untuk membantu memasukkan udara ke ruang bakar, saluran pengaliran asap menuju sistem *wet scrubber*, tangki penampung air berkapasitas 22 liter, pompa sirkulasi air, dan nosel penyemprot yang berfungsi menyemprotkan air ke aliran asap. Asap hasil pembakaran dialirkan melalui cerobong menuju ruang *wet scrubber*, kemudian disemprot dengan air sehingga sebagian partikel debu dan zat pencemar dapat terikat oleh air sebelum dilepaskan ke udara. Air yang telah digunakan selanjutnya kembali ke dalam tangki untuk disirkulasikan secara terus-menerus selama proses pembakaran berlangsung.

Setelah proses manufaktur selesai, alat berhasil dioperasikan sesuai dengan fungsi yang direncanakan dan siap untuk dilakukan pengujian kinerja. Pengujian dilakukan untuk mengevaluasi kemampuan alat dalam membakar berbagai jenis sampah rumah tangga, menurunkan tingkat kepekatan asap, serta mengetahui hasil pembakaran melalui pengukuran suhu, nilai *Ringelmann*, dan rendemen arang serta abu. Dengan demikian, proses perancangan dan manufaktur yang telah dilakukan berhasil menghasilkan alat pembakar sampah minim asap yang dapat berfungsi sesuai dengan tujuan penelitian.

4.11.5 Keberhasilan Alat

Berdasarkan hasil pengujian terhadap lima jenis sampah rumah tangga, yaitu ranting kayu, plastik, daun kering, kertas, dan sampah campuran, alat pembakar sampah yang dirancang telah menunjukkan kinerja yang baik. Seluruh jenis sampah dapat terbakar hingga selesai, dengan waktu pembakaran yang berbeda sesuai karakteristik masing-masing material. Hasil pengujian menggunakan *Ringelmann Chart* menunjukkan bahwa empat jenis sampah, yaitu ranting kayu, plastik, kertas, dan sampah campuran, menghasilkan nilai opacity rata-rata sebesar 20%, sedangkan pembakaran daun kering menghasilkan opacity sebesar 40%. Meskipun nilai opacity pada pembakaran daun kering lebih tinggi, hasil tersebut masih berada pada batas maksimum yang diizinkan berdasarkan Peraturan Menteri Negara Lingkungan Hidup Nomor 7 Tahun 2009 yang mengacu pada SNI 19-7117.11-2005, yaitu sebesar 40%.

Hasil perhitungan rendemen arang dan rendemen abu pada Tabel 4.12 juga menunjukkan bahwa alat mampu membakar berbagai jenis sampah dengan baik. Sampah kayu menghasilkan rendemen arang sebesar 1% dan abu 3,3%, plastik menghasilkan arang 11,7% dan abu 6,7%, daun kering menghasilkan arang 9,2% dan abu 6,5%, kertas menghasilkan arang 4,1% dan abu 12,7%, sedangkan sampah campuran menghasilkan arang 6,2% dan abu 7,6%. Perbedaan nilai rendemen tersebut dipengaruhi oleh karakteristik masing-masing jenis sampah, seperti kandungan karbon, kadar air, serta kandungan mineral. Plastik menghasilkan rendemen arang tertinggi karena memiliki kandungan karbon yang tinggi, sedangkan kertas menghasilkan rendemen abu tertinggi akibat kandungan bahan *anorganik* dan pengisi (filler) yang tersisa setelah proses pembakaran.

Keberhasilan alat ini didukung oleh rancangan ruang bakar yang mampu menghasilkan proses pembakaran secara efektif serta penerapan sistem *wet scrubber* yang berfungsi mengurangi kepekatan asap sebelum dilepaskan ke lingkungan. Selama pengujian juga terlihat perubahan warna air pada tangki *wet scrubber*, yang menunjukkan bahwa sebagian partikel hasil pembakaran berhasil ditangkap oleh media air. Secara keseluruhan, hasil pengujian emisi dan rendemen menunjukkan bahwa alat mampu membakar berbagai jenis sampah rumah tangga dengan baik, menghasilkan emisi asap yang masih memenuhi standar yang berlaku serta menyisakan residu pembakaran dalam jumlah yang relatif rendah. Dengan demikian, alat pembakar sampah yang dirancang layak digunakan sebagai alternatif pengelolaan sampah rumah tangga dengan emisi asap yang rendah dan proses pembakaran yang efektif.

“Halaman ini Sengaja Dikosongkan”

BAB 5

KESIMPULAN DAN SARAN

5.1 Kesimpulan

Berdasarkan hasil perancangan, perhitungan spesifikasi, penyusunan Rincian Anggaran Biaya (RAB), serta pengujian fungsional yang telah dilakukan terhadap Alat Pembakar Sampah Untuk Meminimalisir Asap Skala Rumah Tangga, maka dapat ditarik beberapa kesimpulan utama untuk menjawab rumusan masalah penelitian ini:

1. Proses perancangan berhasil diselesaikan dengan mengintegrasikan metode *Pahl & Beitz* untuk pengembangan konsep desain dan metode *Quality Function Deployment* (QFD) melalui penyusunan matriks *House of Quality* (HOQ) untuk memetakan kebutuhan pengguna rumah tangga. Desain akhir yang terpilih adalah variasi konsep nomor 2, yang memiliki dimensi minimalis dan ringkas sehingga cocok untuk keterbatasan ruang skala rumah tangga.
2. Total keseluruhan biaya yang dibutuhkan untuk merealisasikan pembuatan alat pembakar sampah minim asap skala rumah tangga ini adalah sebesar Rp1.739.000,-. Rincian alokasi biaya tersebut terdiri dari biaya pembelian komponen dan bahan baku utama (seperti pelat, profil L, pipa, pompa air, blower, dan kelistrikan) sebesar Rp1.214.000,- serta total biaya manufaktur (tenaga kerja proses fabrikasi dan perakitan rangka serta kelistrikan) sebesar Rp525.000,-. Nilai ekonomis ini dinilai cukup terjangkau untuk implementasi mandiri di tingkat rumah tangga atau komunitas kecil.
3. Pengujian performa alat yang dilakukan terhadap variasi jenis sampah kering dengan berat masing-masing 1 kg menunjukkan tingkat efektivitas penyerapan asap yang sangat signifikan melalui sistem *wet scrubber*. Penurunan kepekatan asap berdasarkan skala Ringelmann dan persentase Opasitas visual bisa dilihat pada tabel 5.1:

Tabel 5. 1 Hasil Alat

Kayu kering	plastik	Daun kering	kertas	campuran
1.3 (20%)	1.2 (20%)	1.8 (40%)	1.15 (20%)	1.42 (20%)

5.2 Saran

Mengacu pada kendala teknis yang ditemukan selama proses manufaktur dan pengujian, saran yang direkomendasikan untuk pengembangan dan penyempurnaan alat ini pada penelitian selanjutnya:

1. Pengujian Karakteristik Emisi Gas Buang secara Laboratoris disarankan bagi peneliti berikutnya untuk melakukan pengujian kandungan senyawa kimia gas buang menggunakan alat *Gas Analyzer*. Pengujian laboratorium ini penting untuk mendeteksi konsentrasi gas CO, CO₂, NO_x, SO_x, maupun potensi senyawa dioksin/furan guna memastikan emisi benar-benar memenuhi baku mutu lingkungan hidup nasional.
2. Pengembangan Sistem Filtrasi dan Sirkulasi Air Limbah Scrubber, Air sisa pembilasan asap mengalami perubahan warna dan mengikat partikel jelaga arang secara akumulatif. Oleh karena itu, perlu ditambahkan unit pengolahan air limbah domestik ringkas (*wastewater treatment mini filter*).
3. Bahan yang digunakan untuk ruang bakar sebaiknya menggunakan plat maupun bahan lain yang tebal. Jika menggunakan plat tipis suhu pada ruang bakar mudah mengalami penurunan. Dan mengakibatkan pembakaran menjadi kurang sempurna.
4. Area pada ruang bakar sebaiknya dibesarkan lagi meskipun menggunakan blower. Karena ruang udara yang dibutuhkan saat pembakaran masih kurang dan mengakibatkan pembakaran kurang sempurna sehingga asap menjadi lebih tebal dan dapat keluar melalui ruang bakar bukan dari cerobong asap pada awal proses pembaka

DAFTAR PUSTAKA`

- Afiatun, E., Yustiani, Y.M., Hidayat, H., Grahandikha, M.B., Nurpratama, Y.R., Wijaya, V.H., 2024. Enhancing Household Waste Management for Climate Change Mitigation: A Case Study of RW 06, Pasirluyu, Bandung, Indonesia. **Journal of Community Based Environmental Engineering and Management** **8**, 201–208. <https://doi.org/10.23969/jcbeem.v8i2.18449>
- Amitkumar, M., Salunkhe, B., Ranjit, M., Todkar, G., Kedar, M., Relekar, M., 2015. NOVATEUR PUBLICATIONS INTERNATIONAL **JOURNAL OF INNOVATIONS IN ENGINEERING RESEARCH AND TECHNOLOGY [IJIERT]** A REVIEW ON IMPROVEMENT OF EFFICIENCY OF CENTRIFUGAL PUMP THROUGH MODIFICATIONS IN SUCTION MANIFOLD.
- American Society of Heating, Refrigerating and Air-Conditioning Engineers (ASHRAE). (2000). *Duct Design*. ASHRAE, Atlanta, Georgia.
- Asmara, S., Jati, D.P., Kuncoro, S., Warji, W., 2024. Desain Insinerator Tipe TEP-1. **Jurnal Agricultural Biosystem Engineering** **3**, 373. <https://doi.org/10.23960/jabe.v3i3.9945>
- Babb, A.L., 1982. Plant safety: pollution and its prevention, in: *The Efficient Use of Energy*. **Elsevier**, pp. 484–502. <https://doi.org/10.1016/b978-0-408-01250-8.50028-3>
- Baczkowicz, M., Gwiazda, A., 2015. Optimizing parameters of a technical system using quality function deployment method, in: *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering*. **Institute of Physics Publishing**. <https://doi.org/10.1088/1757-899X/95/1/012119>
- Bhikuning, A., Setiawan, B., Setiawan, S.A., Potto, H.E., 2025. A review of combustion in waste incinerator and its emissions. **BIS Energy and Engineering** **2**, V225030. <https://doi.org/10.31603/biseeng.221>
- choirul, siahn, D, 2018. Rancang Bangun Alat Pengukur Tingkat Kepekatan Asap Berdasarkan Ringelmann Smoke Chart Pada Perangkat Bergerak. **Engineering Software Requirements**.
- Deshmukh, G., Birwal, P., Datir, R., Patel, S., 2017. Thermal Insulation Materials: **A Tool for Energy Conservation**. *J. Food Process. Technol.* **08**. <https://doi.org/10.4172/2157-7110.1000670>

- Dewi, A.P., Karimah, H.S., Rahmawati, L.A., Asharuddin, R., Dewinggi, T., 2024. Pengelolaan Sampah Berbasis Teknologi: Incinerator Sebagai Solusi Pengolahan Sampah Di RW 16 Desa Cigugurgirang.
- Pahl, G., Beitz, W., Feldhusen, J. dan Grote, K.H. (2007). *Engineering Design: A Systematic Approach*. 3rd ed. **Springer**, London.
- E. Damanhuri dan T. Padmi. (2010). *Pengelolaan Sampah*. **Diklat Kuliah TL-3104**, Program Studi Teknik Lingkungan, Institut Teknologi Bandung, Bandung.
- Ergashev, R., Glovatskii, O., Kalimbetov, B., Khimmataliev, D., Fayziev, R., Pardaev, M., Ergasheva, G., Saydullaev, S., 2026. Justification of Design Parameters for Efficient Operation of Submersible Pumps to Support Sustainable Development Goals (SDGs). **Indonesian Journal of Science & Technology** **11**, 411–424. <https://doi.org/10.17509/ijost.v11i3.90251>
- E. Dhaniswara, L. Talakua, E., H. Amrulloh dan Tamaji. (2025). Rancang Bangun Mesin Pembakaran Sampah Otomatis Berbasis Arduino dengan Filter Asap. **Jurnal Teknik Elektro dan Informatika**, Vol. 20, No. E – Link P-ISSN 1858-2109 E-ISSN 2656-5676, pp. 28–40.
- Faridawati, D., Sudarti, S., 2021. Analisis Pengetahuan Masyarakat Tentang Dampak Pembakaran Sampah Terhadap Pencemaran Lingkungan Desa Tegalwangi Kabupaten Jember. **Jurnal Sanitasi Lingkungan** **1**, 50–55. <https://doi.org/10.36086/salink.v1i2.1088>
- Fazha N, Andrean MD, Shaleh K, 2025. Implementasi Tungku Pembakaran Sampah Minim Asap Proker Mahasiswa Teknik Sipil UNA Sebagai Solusi Pengelolaan Sampah Ramah Lingkungan. *Globe: Publikasi Ilmu Teknik, Teknologi Kebumihan, Ilmu Perkapalan* **3**, 268–273. <https://doi.org/10.61132/globe.v3i3.1080>
- Fenny Muldiani, R., Supriyanti, Y., Gantina, T.M., Koesoemah, N.H. dan Pratama, D. (2024). *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)*. **Qardhul Hasan: Media Pengabdian kepada Masyarakat**, Vol. **10**, No. 2, pp. 117–124. Universitas Djuanda, Bogor. DOI: 10.30997/qh.v10i2.10805.
- Fitroh, Ilham NZ, 2025. 2400.+JURNAL+KKN+NAWA+KARSA+29+30557-30563. *urnal Pendidikan Tambusai* **9**, 30557–30563.

- Hafizh, Rosmawati, 2025. PEMBUATAN ALAT PEMBAKAR SAMPAH TANPA ASAP UNTUK MEMINIMALISIR POLUSI UDARA DI DESA CICINDE SELATAN. **Abdimajurnalpengabdianmahasiswa** 3.
- Hilman, Masnelyarti, 2005. Pendidikan Lingkungan Bagi Pendidik Usia Dini: **Pengelolaan Sampah. Kementerian Lingkungan Hidup**, Jakarta.
- International Polymer Solutions Inc., n.d. **POLYVINYL CHLORIDE (PVC) PROPERTIES**.
- Ionica, A.C., Leba, M., 2015. QFD Integrated in New Product Development - Biometric Identification System Case Study. **Procedia Economics and Finance** 23, 986–991. [https://doi.org/10.1016/s2212-5671\(15\)00454-2](https://doi.org/10.1016/s2212-5671(15)00454-2)
- Kemas Ridhuan, Asroni, Riyan Agung P, Zulfahmi Ahmad, 2024. Analisa Kinerja Alat Incenerator Pembakar Sampah Tanpa Asap Yang Ramah Lingkungan. Turbo : **Jurnal Program Studi Teknik Mesin** 13. <https://doi.org/10.24127/trb.v13i2.3547>
- Khairunnissa, I.N., Asthary, P.B., Saepulloh, S., Mulyani, R., 2018. Pemanfaatan Air Limbah *Wet scrubber* Flue Gas Desulphurization (FGD) Industri Kertas sebagai Medium Pertumbuhan *Spirulina platensis*. **JURNAL SELULOSA** 8, 95. <https://doi.org/10.25269/jsel.v8i02.239>
- Naris Dyah Prasetyawati dan Sigid Sudaryanto. (2023). Binoculars Modification for Measurement of Smoke Density at Fixed Sources: Modifikasi Teropong untuk Pengukuran Kepadatan Asap pada Sumber Tidak Bergerak. **Jurnal Teknologi Lingkungan**, Vol. 24, No. 1, pp. 036–040. BRIN Publishing, Jakarta. DOI: 10.55981/jtl.2023.244.
- NIDI. (2020). *High-Temperature Characteristics of Stainless Steels*. **NiDI**.
- Patrick, J. dan Brooks, P.E. (2003). *Duct System Design Guide*. **McGill AirFlow Corporation**, Groveport, Ohio.
- Peraturan Menteri Negara Lingkungan Hidup. (2014). *Peraturan Menteri Negara Lingkungan Hidup Nomor 5 Tahun 2014 tentang Baku Mutu Air Limbah*. **Kementerian Negara Lingkungan Hidup**, Jakarta.
- Permana, Iqbal, 2019. MESIN PENGOLAH SAMPAH PORTABEL MULTIGUNA DENGAN TEKNIK TERMOCONTROL DAN TERMOCOPLE. **SEBATIK**.
- Rafidah, R., Rahmayanti, R. dan Haderiah, H. (2025). Implementasi Prinsip 3R Dalam Pengelolaan Sampah Rumah Tangga di Desa Gattareng, Kabupaten Bulukumba. *Sulolipu: Media Komunikasi Sivitas Akademika dan*

Masyarakat, Vol. 25, No. 1, pp. 129–138. Jurusan Kesehatan Lingkungan, Poltekkes Kemenkes Makassar. DOI: 10.32382/sulo.v25i1.1322.

- Rahmat Setiadi, B. (2015). Metode Perancangan 3E (Eco-Efe-Efi) pada Proyek Akhir Mahasiswa: Suatu Pendekatan Sistematis. **Jurnal Taman Vokasi**, Vol. 3, No. 2, pp. 794–806. Universitas Sarjanawiyata Tamansiswa, Yogyakarta.
- Sangkham, S., Phairuang, W., Sherchan, S.P., Pansakun, N., Munkong, N., Sarndhong, K., Islam, M.A. dan Sakunkoo, P. (2024). An Update on Adverse Health Effects from Exposure to PM2.5. **Environmental Advances**, Vol. 18, pp. 100603. Elsevier Ltd. DOI: 10.1016/j.envadv.2024.100603.
- Saptaningrum, E., Eti Kurniawati, Mk., Jufri Sineke, Mk., Abdul Mutholib, Ms., Oksita Asri Widyayanti, M., Dewi, L., Syarifah Wahyuni Al Syarief, Ms., Rustianingsih, M., Yozua Toar Kawatu, Ms., Lidia Br Tarigan, M., Erni Yohani Mahtuti, Ms., Agus Rokot, Mk., Wa Rina, Mk., Nurmi Hasbi, M., Nurul Ni, Ms. dan Azis, Ma. (2024). **Bunga Rampai Pencemaran Lingkungan**. PT Media Pustaka Indo, Cilacap, Jawa Tengah.
- Setyaningrum, 2015. KARAKTERISTIK PENINGKATAN PENGELOLAAN SAMPAH OLEH MASYARAKAT MELALUI BANK SAMPAH, **Jurnal Teknik PWK**.
- Singh, A.N., Swain, S.K., Meena, A., Islam, M. dan Nam, K.W. (2024). Advances in Corrosion of High-Temperature Materials: Interfacial Migration and Alloy Design Strategies. **Ceramics**, Vol. 7, No. 4, pp. 1928–1963. MDPI, Basel, Switzerland. DOI: 10.3390/ceramics7040121.
- SNI 19-2454-2002. (2002). **Tata Cara Teknik Operasional Pengelolaan Sampah Perkotaan**. Badan Standardisasi Nasional, Jakarta.
- SNI 8423:2023. (2023). **Insinerator**. **Badan Standardisasi Nasional**, Jakarta.
- Suprptono, E., Wahid Kurniawan, G., Sutopo, Y., Khumaedi, M., Irfan, M., Sonhaji, Hidayattullah, A.L. dan Tukiman. (2025). Application of Smoke Washer Device in Waste Incineration Machine to Reduce Exhaust Gas Emissions at Jatibarang Landfill Semarang. **Jurnal Abdimas**, Vol. 29, No. 2, pp. 276–282. Universitas Negeri Semarang, Semarang. DOI: 10.15294/abdimas.v29i2.33762.
- Thabit, Q., Nassour, A., Nelles, M., 2022. Flue Gas Composition and Treatment Potential of a Waste Incineration Plant. **Applied Sciences (Switzerland)** 12. <https://doi.org/10.3390/app12105236>

UU RI No 18 Tahun, 2008. 2-Dengan Persetujuan Bersama **DEWAN PERWAKILAN RAKYAT REPUBLIK INDONESIA dan PRESIDEN REPUBLIK INDONESIA.**

Vigil, S.A., Theisen, H. dan Tchobanoglous, G. (1993). *Integrated Solid Waste Management: Engineering Principles and Management Issues*. **McGraw-Hill, Inc.**, New York.

Wahyuningsih, T. dan Saputra, M.S.E. (2020). Analisis Proses Pengelasan pada Material Pipa Galvanis dengan Type Pengelasan Shielded Metal Arc Welding (SMAW). *Journal of Metallurgical Engineering and Processing Technology*, Vol. 1, No. 1, pp. 56–60. Universitas Pembangunan Nasional “Veteran” Yogyakarta. DOI: 10.31315/jmept.v1i1.5034.

Wang, Q., Wang, X., Cheng, X., Cheng, Q. dan Yang, Y. (2025). High-Temperature Corrosion of Different Steels in Liquid Sn-Bi-Zn Heat Transfer Alloy. *Materials*, Vol. 18, No. 9, pp. 2149. **Multidisciplinary Digital Publishing Institute (MDPI)**, Basel, Switzerland. DOI: 10.3390/ma18092149.

WHO. (2024). *Compendium of WHO and Other UN Guidance in Health and Environment, 2024 Update*. **World Health Organization**, Geneva

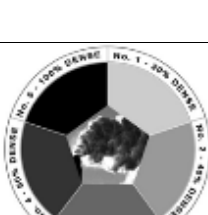
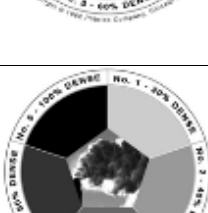
World Health Organization (WHO). (1998). *The World Health Report 1998: Life in the 21st Century: A Vision for All*. **World Health Organization**, Geneva.

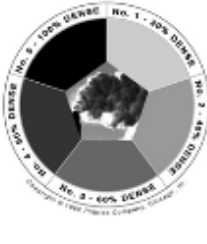
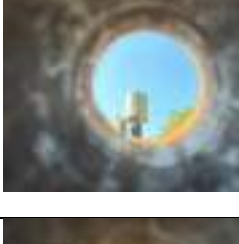
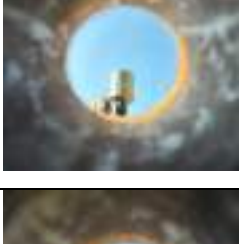
“Halaman ini Sengaja Dikosongkan”

Lampiran

Lampiran I Hasil Pembakaran Kayu

Waktu per menit	Hasil	Ringelmann chart	Nilai ringelmann
1			2
2			2
3			1
4			1
5			2
6			1

Waktu per menit	Hasil	Ringelmann chart	Nilai ringelmann
7			2
8			2
9			1
10			1
11			1
12			1

Waktu per menit	Hasil	Ringelmann chart	Nilai ringelmann
13			1
14			1
15			1
16			2
17			1
18			1

Waktu per menit	Hasil	Ringelmann chart	Nilai ringelmann
19			1
20			1
21			1
22			1
23			1
24			2
25			2



Waktu per menit	Hasil	Ringelmann chart	Nilai ringelmann
26			1

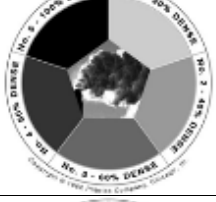
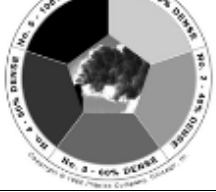
“Halaman ini Sengaja Dikosongkan”

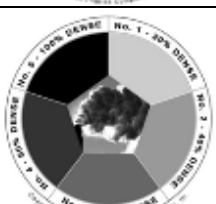
Lampiran II Suhu dan Air Bekas Scrubber kayu

Suhu di luar ruang bakar	Suhu di dalam ruang bakar	Air bekas scrubber
		

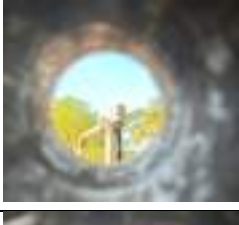
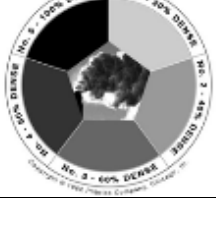
“Halaman ini Sengaja Dikosongkan”

Lampiran III hasil pengujian sampah plastik

Waktu per menit	Hasil	Ringelmann chart	Nilai ringelmann
1			2
2			2
3			1
4			1
5			1
6			1
7			1

Waktu per menit	Hasil	Ringelmann chart	Nilai ringelmann
8			1
9			1
10			1
11			1
12			1
13			1
14			1

Waktu per menit	Hasil	Ringelmann chart	Nilai ringelmann
15			1
16			1
17			1
18			1
19			1
20			1
21			1

Waktu per menit	Hasil	Ringelmann chart	Nilai ringelmann
22			1
23			1
24			1
25			1
26			2
27			1
28			2

Waktu per menit	Hasil	Ringelmann chart	Nilai ringelmann
29			2
30			2
31			2

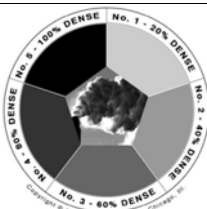
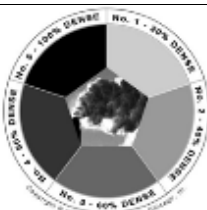
“Halaman ini Sengaja Dikosongkan”

Lampiran IV Suhu pembakaran Dan air sisa scrubber sampah plastik

Suhu di luar ruang bakar	Suhu di dalam ruang bakar	Air bekas scrubber
		

“Halaman ini Sengaja Dikosongkan”

Lampiran V Hasil Uji Sampah Daun Kering

Waktu per menit	Hasil	Ringelmann chart	Nilai Ringelmann
1			2
2			2
3			1
4			2
5			2

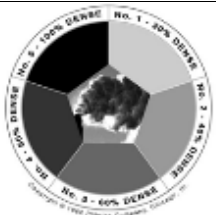
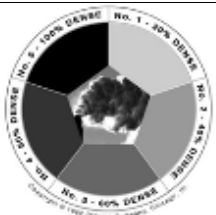
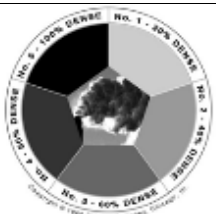
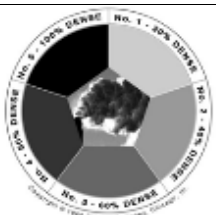
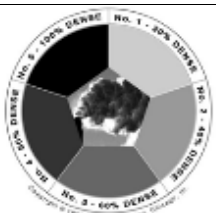
“Halaman ini Sengaja Dikosongkan”

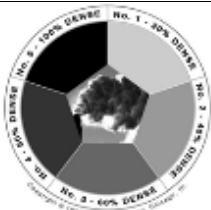
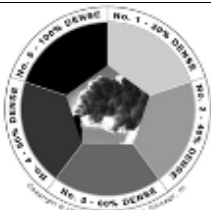
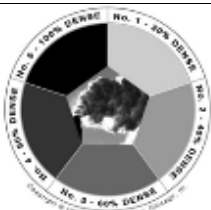
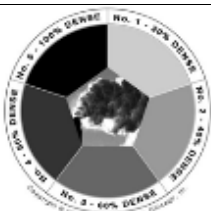
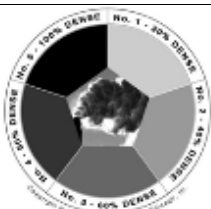
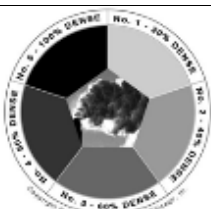
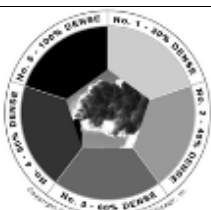
Lampiran VI Suhu pembakaran Dan air sisa scrubber sampah Daun Kering

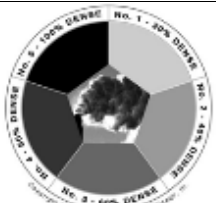
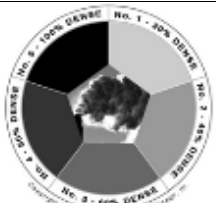
Suhu di luar ruang bakar	Suhu di dalam ruang bakar	Air bekas scrubber
		

“Halaman ini Sengaja Dikosongkan”

Lampiran VII hasil uji sampah Kertas

Waktu per menit	Hasil	Ringelmann chart	Nilai Ringelmann
1			2
2			1
3			2
4			2
5			2
6			1

Waktu per menit	Hasil	Ringelmann chart	Nilai Ringelmann
7			1
8			1
9			2
10			1
11			1
12			1
13			1

Waktu per menit	Hasil	Ringelmann chart	Nilai Ringelmann
14			1
15			1
16			1
17			1
18			1
19			2
20			2

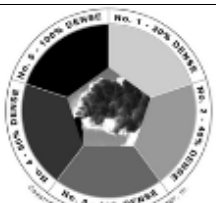
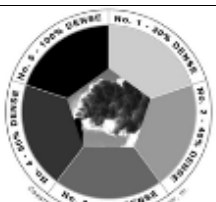
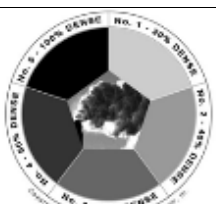
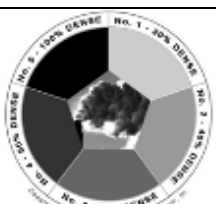
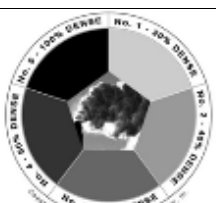
“Halaman ini Sengaja Dikosongkan”

Lampiran VIII Suhu Pembakaran Dan Air Sisa Scrubber Sampah Kertas

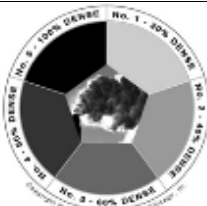
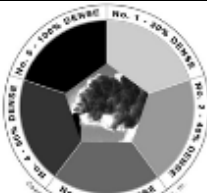
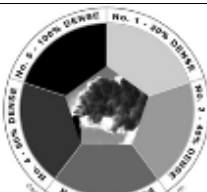
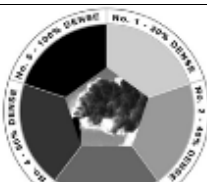
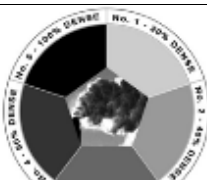
Suhu di luar ruang bakar	Suhu di dalam ruang bakar	Air bekas scrubber
		

“Halaman ini Sengaja Dikosongkan”

Lampiran IX Hasil Uji Sampah Campuran

Waktu per menit	Hasil	Ringelmann chart	Nilai Ringelmann
1			2
2			2
3			1
4			1
5			1
6			1

Waktu per menit	Hasil	Ringelmann chart	Nilai Ringelmann
7			2
8			1
9			1
10			1
11			1
12			1
13			1

Waktu per menit	Hasil	Ringelmann chart	Nilai Ringelmann
14			2
15			2
16			1
17			2
18			2
19			2

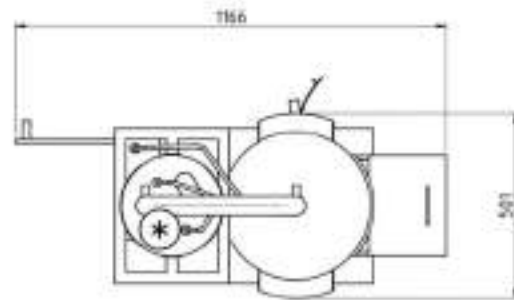
“Halaman ini Sengaja Dikosongkan”

Lampiran X Suhu Pembakaran Dan Air Sisa Scrubber Sampah Campuran

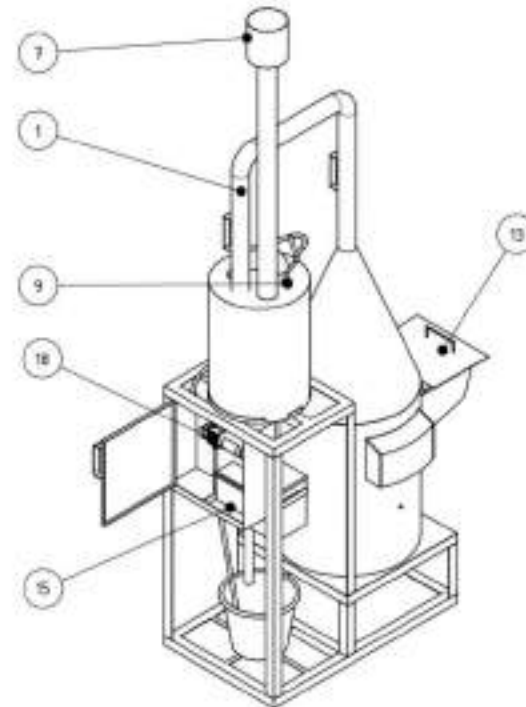
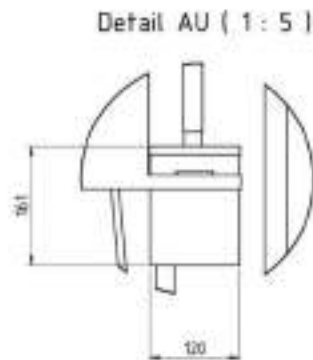
Suhu di luar ruang bakar	Suhu di dalam ruang bakar	Air bekas scrubber
		

“Halaman ini Sengaja Dikosongkan”

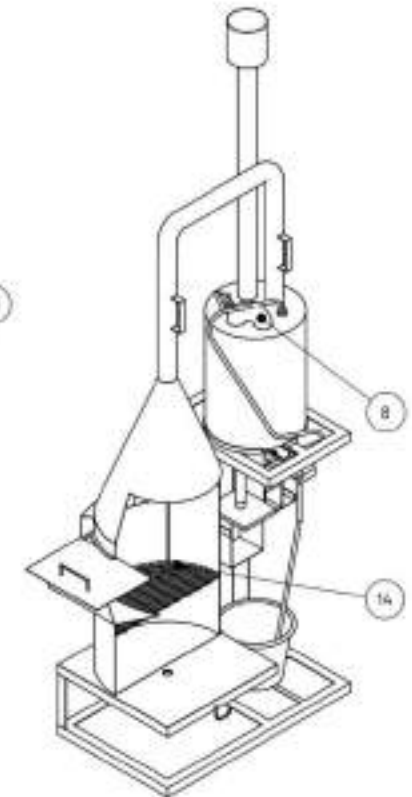
Lampiran XI DED



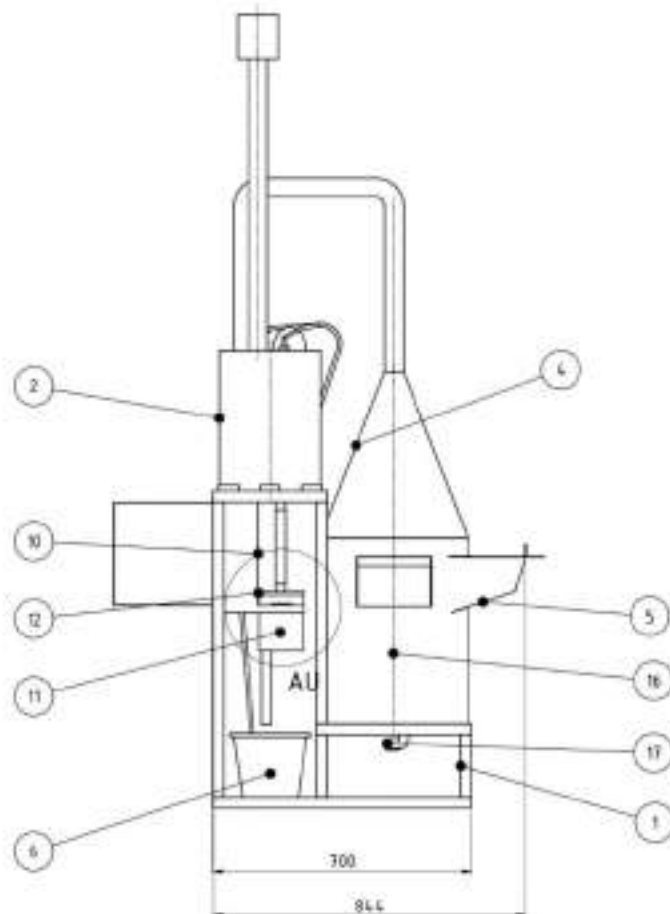
TOP VIEW
Scale 1:10



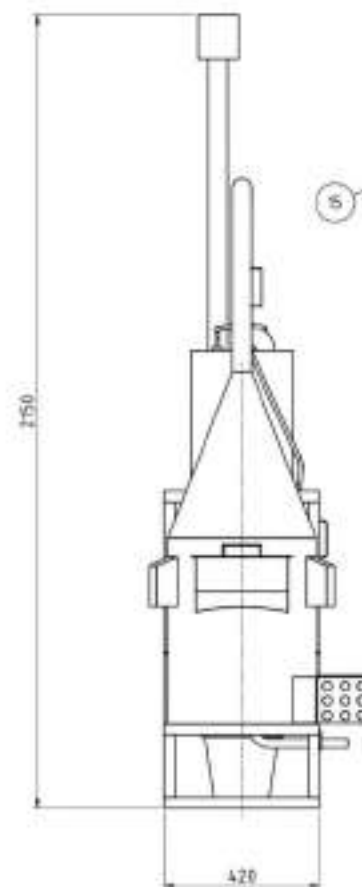
SIDE VIEW
Scale 1:10



Section AT-AT



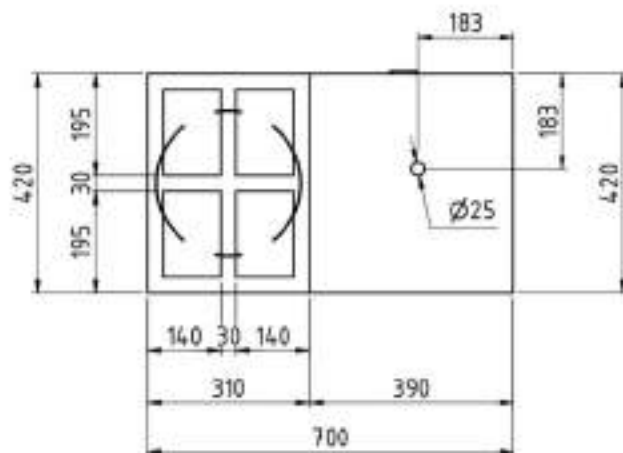
RIGHT VIEW
Scale 1:10



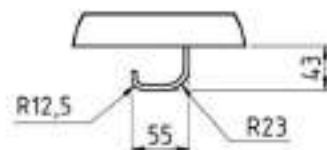
FRONT VIEW
Scale 1:10

18	1	Pompa 12 Volt	Generic
17	1	Pipa blower	Generic
16	1	PENGUNCI JARING ALAS	Generic
15	1	ACCU	Generic
14	1	arising elas	Generic
13	1	tutup hopper	Generic
12	1	tutup box filter	Generic
11	1	box filter	Generic
10	1	tolbox	Generic
9	2	spuyer	Generic
8	1	elbow penyalur scrubber	Generic
7	1	pipa cerobong	Generic
6	1	timba	Generic
5	1	hopper	Generic
4	1	TEMPAT PEMBAKARAN	Generic
1	1	rangka L 20x20x2 mm	Generic
2	1	RUANG BLAS	Generic
1	1	pipa	Generic

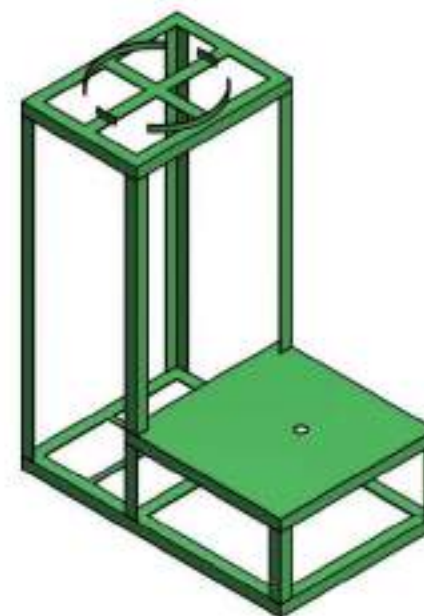
ITEM QTY	PART NUMBER	DESCRIPTION	MATERIAL
Ang Nuhara	Raja Bone SST, RT		
Ang Nuhara	3/1/2024	1/10	
Dika Adhira P. S.T.T, MT	As. Display		
ASSEMBLY DRAWING			
POLITEKNIK PERKAPALAN NEGERI SURABAYA			0622048004
PROGRAM STUDI TEKNIK IN - DESAIN DAN MANUFATUR			



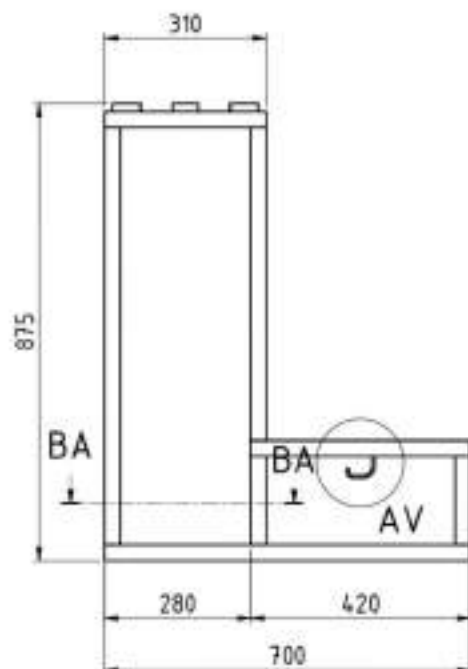
TOP VIEW
Scale 1:10



Detail AV (1 : 5)



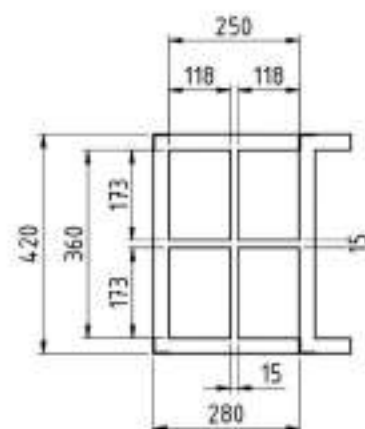
ISOMETRIC VIEW
Scale 1 : 10



FRONT VIEW
Scale 1:10

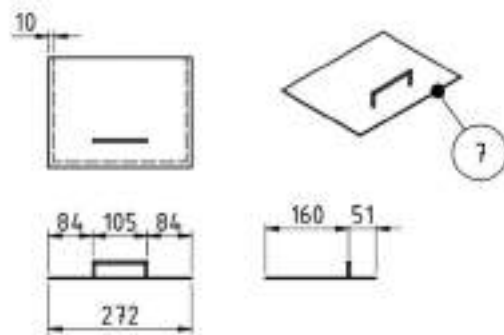


RIGHT VIEW
Scale 1:10

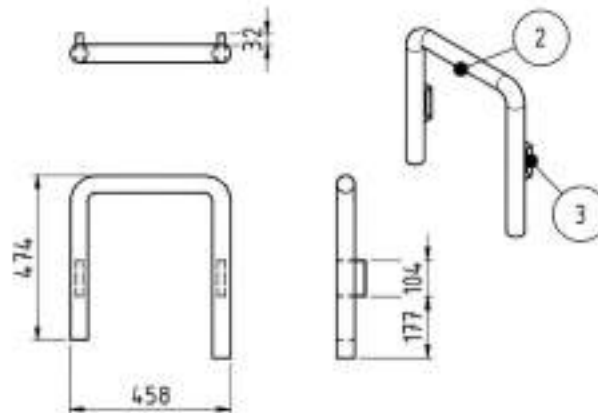


Section BA-BA

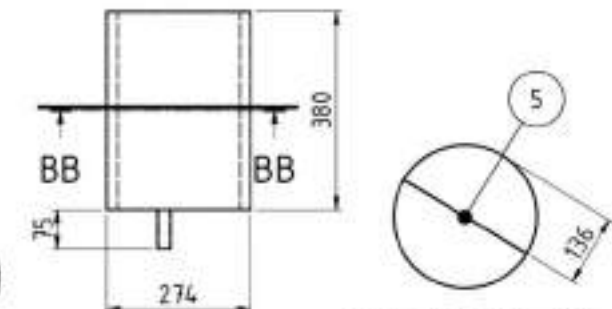
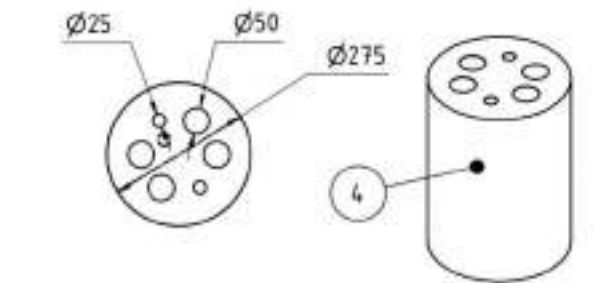
Drawn by	Approved by	Revision 1	Revision 2	Revision 3
Anqi Nuhana	Figka Usana SST, MT.	-	-	-
Drawn by	Date	Drawn by	Drawing title	
Anqi Nuhana	1/3/2026	3/10		
Checked by	Drawn	Project	DETAIL ASSEMBLY FRAME	
Dhika Aditya P, S.Tr.T., MT.	As Displayed			
POLITEKNIK PERKAPALAN NEGERI SURABAYA PROGRAM STUDI TEKNIK DA – DESAIN DAN MANUPAKTUR				0622040004



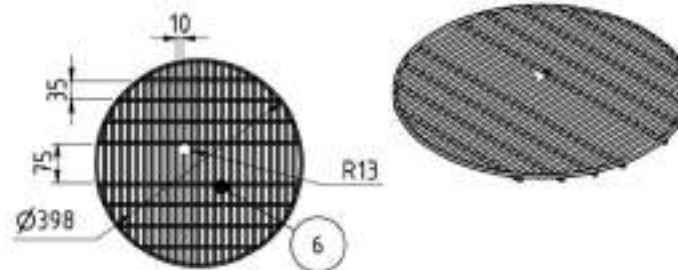
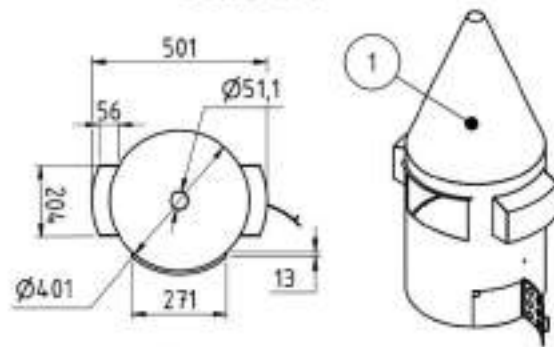
TUTUP HOPPER
Scale 1:10



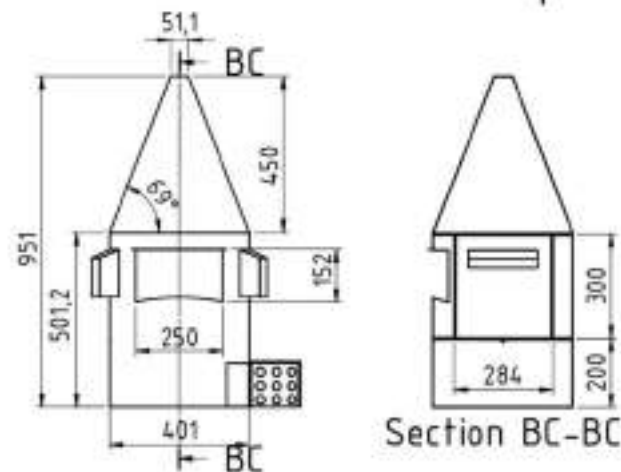
PIPA PENYALUR ASAP
Scale 1:15



Section BB-BB
SCRUBBER
Scale 1:10

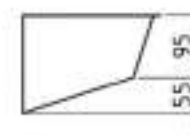
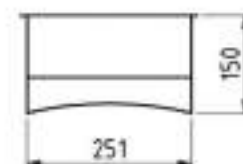
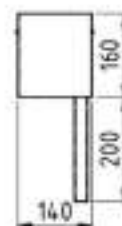
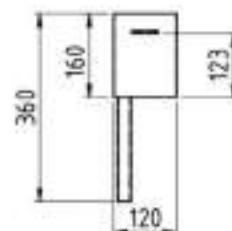
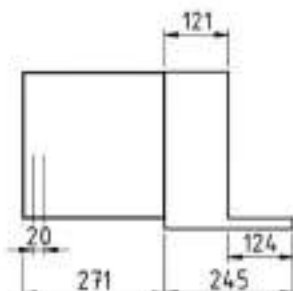
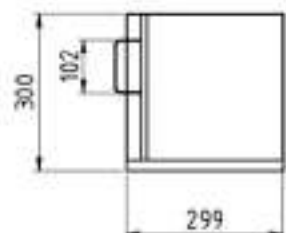
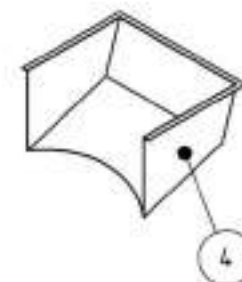
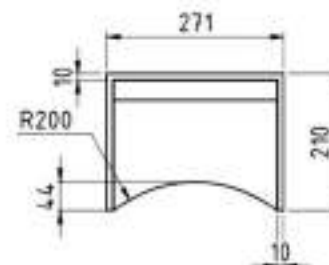
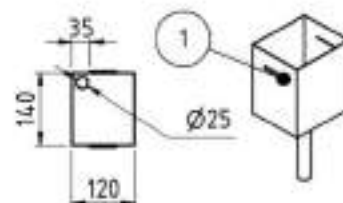
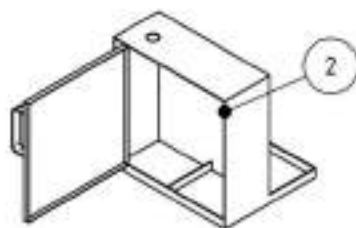
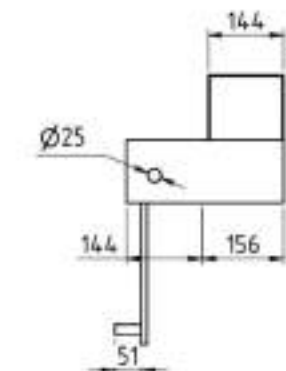


ALAS PEMBAKARAN
Scale 1:10



RUANG BAKAR
Scale 1:15

7	1	penutup hopper	plat 12	galvanis
6	1	ALAS SAMPAH	besi beton d5mm	steel
5	1	SEKAT RUANG SCRUBBER	plat	galvanis
4	1	RUANG SCRUBBER	plat	steel
3	1	PEGANGAN	plat bar 20 x 2 mm	ASTM A36
2	1	PIPA PENYALUR ASAP	pipe 2"	steel
1	1	TEMPAT PEMBAKARAN	Plat Galvalnis	Galvanis
ITEM	QTY	PART NUMBER	DESCRIPTION	MATERIAL
Design by	Approved by	Revision 1	Revision 2	Revision 3
Anqi Nuhana	Fika Esore S.T., M.T.	-	-	-
Drawn by	Date	Sheet Number	Drawing Date	
Anqi Nuhana	7/3/2026	4/10		
Checked by	Scale	Projection	PART	
Dhika Aditya P., S.Tr.T., M.T.	As Displayed			
POLITEKNIK PERKAPALAN NEGERI SURABAYA				0622040004
PROGRAM STUDI TEKNIK D4 - DESAIN DAN MANUFATUR				



BOX FILTER AIR

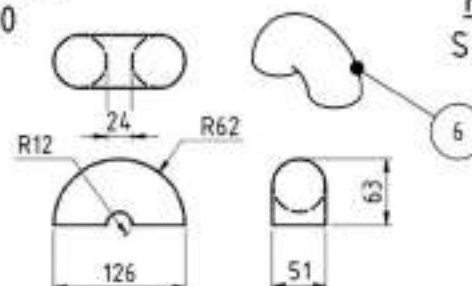
Scale 1:10

HOPPER

Scale 1:15

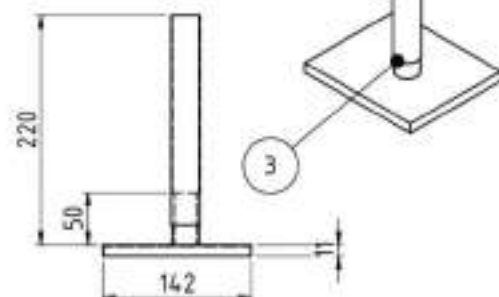
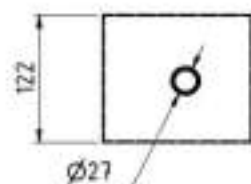
TOLLBOX KELISTRIKAN

Scale 1:15



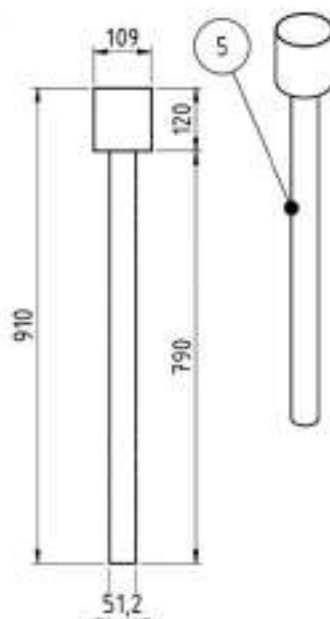
BOX FILTER AIR

Scale 1:10



TUTUP BOX FILTER AIR

Scale 1:15



PIPA CEROBONG

Scale 1:10

6	1	elbow scrubber	elbow 2"	steel
5	1	Pipa cerobong asap	pipe 2"	steel
4	1	hopper	plat galvanis 1.2	galvanis
3	1	tutup filter	plat galvanis 1.2	galvanis
2	1	tool box	plat galvanis 1.2	galvanis
1	1	box filter	plat galvanis 1.2	galvanis

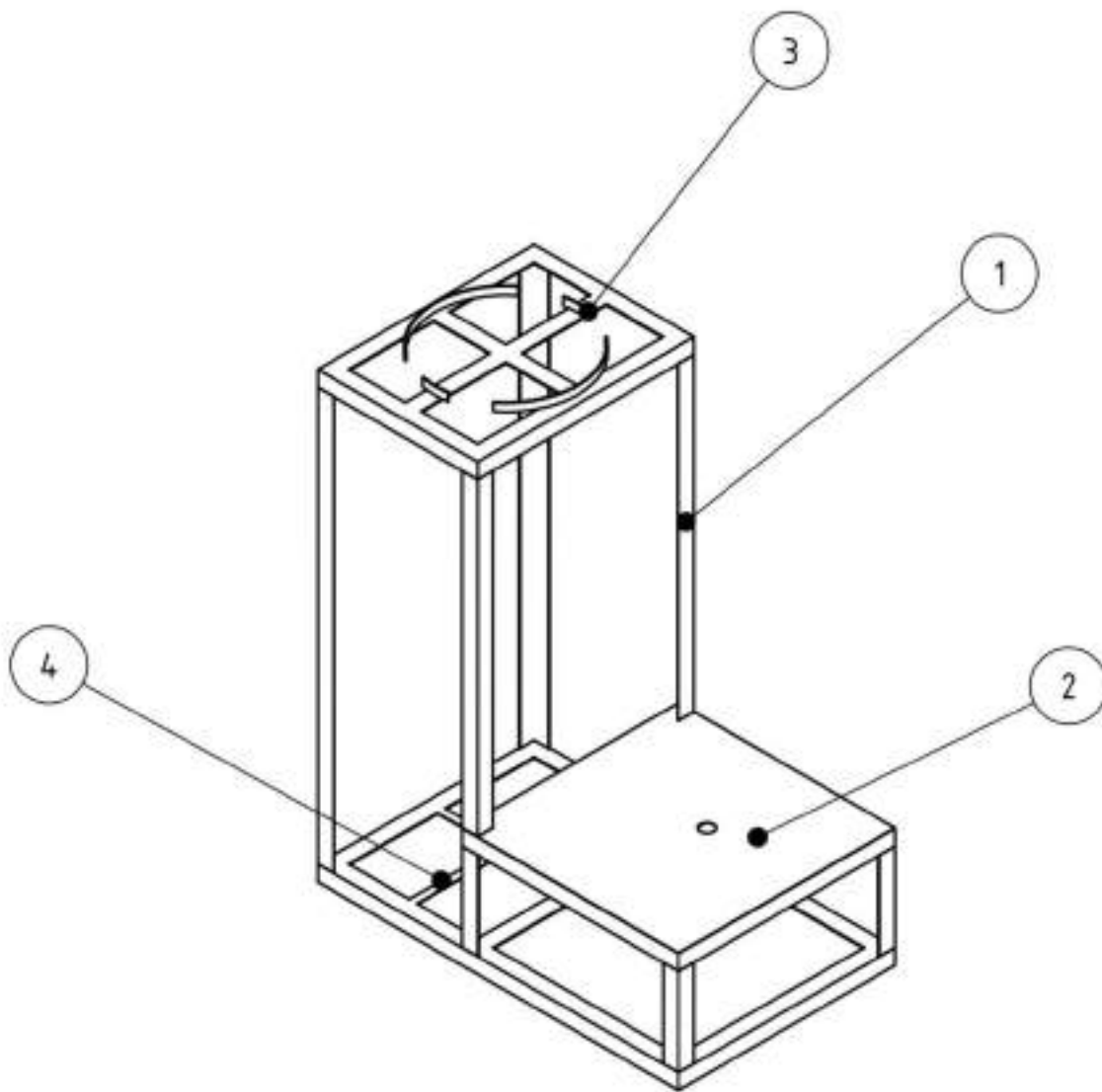
ITEM	QTY	PART NUMBER	DESCRIPTION	MATERIAL
Design by	Anqi Nuhana	Approved by	Figma Bismis SST, MT.	Revision 1
Drawn by	Anqi Nuhana	Date	7/3/2026	Revision 2
Checked by	Dhika Aditya P, S.Tr.T., M.T.	Scale	As Displayed	Revision 3

PART



POLITEKNIK PERKAPALAN NEGERI SURABAYA
PROGRAM STUDI TEKNIK D4 - DESAIN DAN MANUPAKTUR

0622040004



ASSEMBLY RANGKA
Scale 1:10

4	1	Tempat Timba Air	Plat bar 20 x 2 mm	ASTM A36
3	1	Pengunci Ruang Scrubber	Plat bar 20 x 2 mm	ASTM A36
2	1	Base Plate Tempat Pembakaran	Galvanis 420 x 420 x 1.2 mm	Galvanis
1	1	Rangka Utama	Profil L 20 x 20 x 2 mm	ASTM A36
ITEM	QTY	PART NUMBER	DESCRIPTION	MATERIAL

Design by: Anqi Nuhana	Approved by: Fipka Bisono S.ST., M.T.	Revision 1: -	Revision 2: -	Revision 3: -
Drawn by: Anqi Nuhana	Date: 7/5/2026	Sheet Number: 2/10	ASSEMBLY FRAME	
Checked by: Dhika Aditya P, S.Tr.T., M.T.	Scale: As Displayed	Projection: 		

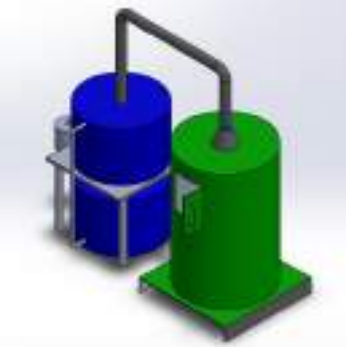


POLITEKNIK PERKAPALAN NEGERI SURABAYA
PROGRAM STUDI TEKNIK D4 - DESAIN DAN MANUFAKTUR

APP: 0622040004

Lampiran XII

SURVEI KEBUTUHAN ALAT PEMBAKAR SAMPAH SKALA RUMAH TANGGA

No.	PERTANYAAN	HASIL WAWANCARA
1.	Menurut Anda, seperti apa proses pembakaran sampah yang ideal di lingkungan rumah tangga?	Mampu membakar sampah sampai habis
2.	Dalam sekali pengolahan, berapakah sampah rumah tangga yang anda hasilkan dalam satu hari ?	>1=4 1=2 1.5=2 2=2
3.	Seberapa penting bagi Anda alat yang mudah dioperasikan tanpa memerlukan keterampilan khusus?	penting
4.	Fitur seperti apa yang menurut Anda dapat mempermudah penggunaan alat tersebut?	Pakai blower,diberi roda, minim asap,tanpa blower,minim tempat,lubang masuk yang besar
5.	Sejauh mana asap dari pembakaran sampah mempengaruhi kenyamanan Anda dan lingkungan sekitar?	Berpengaruh ts=6 Berpengaruh s=2 Tidak berpengaruh=2
6.	Bagaimana pandangan Anda terhadap perawatan alat, seperti pembersihan atau pengecekan rutin?	Bersedia membersihkan atau mudah dalam pembersihannya
7.	Seberapa penting bagi Anda alat yang tahan lama dan tidak mudah rusak, misalnya terhadap karat atau panas?	penting
8.	Apakah ketersediaan ruang di rumah Anda mempengaruhi pemilihan alat pengolah sampah?	Tidak=7 Iya=3
9.	Seberapa penting alat tersebut dapat dipindahkan dengan mudah atau permanent sesuai kebutuhan?	Dipindah=7 Permanent=3
10.	Desain seperti apa yang menurut Anda sesuai untuk digunakan di rumah tangga?	Minimallis,simple,aman digunakan,terbuat dari baja,ada roda pemindah,design tidak berpengaruh,tidak mudah rusak,ukuran menyesuaikan
11.	Dari ketiga desain ini mana yang menurut anda cocok jika digunakan untuk alat pembakar sampah,berikan alasannya!	1=4 2=3 3=3
		

		
		
12.	Menurut Anda, berapa kisaran harga yang masih wajar untuk alat pembakar sampah rumah tangga dengan fitur yang lebih aman dan minim asap?	500-1jt=3 1-1,5jt=5 1,5-5jt=2
13.	Apakah Anda bersedia mengeluarkan biaya lebih jika alat tersebut memberikan kenyamanan dan keamanan yang lebih baik?	Tidak=1 Bersedia ts=5 Bersedia ts=4
14.	Secara keseluruhan, apakah Anda merasa membutuhkan alat khusus untuk membantu proses pembakaran sampah rumah tangga?	Tidak perlu
15.	Jika ya, fitur utama apa yang paling Anda harapkan dari alat tersebut?	

Lampiran XIII Gambar Wawancara





BIODATA PENULIS



Nama : Anqi Nuhana
Tempat, Tanggal Lahir : Tulungagung, 13 Juni 2003
Alamat : Dsn. Salam, Ds. Notorejo, Kec. Gondang,
Kab. Tulungagung, Jawa Timur
Email : anqinuhana46@gmail.com

Riwayat Pendidikan

1. Politeknik Perkapalan Negeri Surabaya (2022-2026)
(D4-Teknik Desain dan Manufaktur)
2. SMKN 3 Boyolangu (2019-2022)
(Desain Pemodelan dan Informasi Bangunan)
3. MTsN 1 Tulungagung (2016-2019)
4. MI Bustanul Ulum (2009-2016)

Pengalaman Magang

1. PT. Meco Inoxprima (2025)
(Drafter Engineer)
2. CV. Tata Duta Asri (2020)
3. CV. Sumber E Teknik (2021)

Pengalaman Organisasi

1. Staff Ahli Hima Teknik Desain dan Manufaktur (2024-2025)
Divisi Kepemudaan Kreatif
2. Staff Ahli UKM WSC Divisi Engine dan (2022-2024)
Internal