

SKRIPSI

**“PENGARUH TINGGI CEROBONG KERUCUT PEMBAKARAN
SAMPAH TERHADAP KECEPATAN PEMBAKARAN”**

*Diajukan untuk memenuhi persyaratan dalam menyelesaikan Program Strata Satu (S1)
pada Program Studi Teknik Mesin Fakultas Teknik Universitas Muhammadiyah
Sumatera Barat*



Disusun Oleh :

INDRA ALBIADI HARAHAHAP
161000221201007

UNIVERSITAS MUHAMMADIYAH SUMATERA BARAT
PROGRAM STUDI TEKNIK MESIN
FAKULTAS TEKNIK
2021

HALAMAN PENGESAHAN

**PENGARUH TINGGI CEROBONG KERUCUT PEMBAKARAN
SAMPAH TERHADAP KECEPATAN PEMBAKARAN**

Oleh

INDRA ALBIADI HARAHAH
161000221201007

Dosen Pembimbing I



Muchlisinalahuddin, S.T., M.T.
NIDN.1009058002

Dosen Pembimbing II



Rudi Kurniawan Arief, S.T., M.T.
NIDN. 1023068103

**Dekan Fakultas Teknik
UM Sumatera Barat**



Masril, S.T., M.T.
NIDN. 1005057407

**Ketua Program Studi
Teknik Mesin**



Rudi Kurniawan Arief, S.T., M.T.
NIDN. 1023068103

LEMBARAN PERSETUJUAN TIM PENGUJI

Skripsi ini telah dipertahankan dan disempurnakan berdasarkan masukan dan koreksi Tim Penguji pada ujian tertutup tanggal 31 Agustus 2021 di Fakultas Teknik Universitas Muhammadiyah Sumatera Barat.

Bukittinggi, 10 September 2021
Mahasiswa,

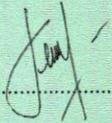
Indra Albiadi Harahap
161000221201007

Disetujui Tim Penguji Skripsi Tanggal 10 September 2021:

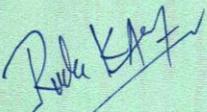
1. Riza Muharni, S.T., M.T.

1. 
.....

2. Dr. Femi Earnestly, M.Si.

2. 
.....

Mengetahui,
Ketua Program Studi
Teknik Mesin,


Rudi Kurniawan Arief, S.T., M.T.
NIDN. 1023068103

LEMBAR PERNYATAAN KEASLIAN

Saya yang bertanda tangan dibawah ini:

Nama Mahasiswa : Indra Albiadi Harahap

Tempat dan tanggal Lahir : Gumarupu Baru 29 Desember 1997

NIM : 161000221201007

Judul Skripsi : Pengaruh Tinggi Cerobong Kerucut Pembakaran Sampah Terhadap Kecepatan Pembakaran

Menyatakan dengan sebenarnya bahwa penulisan skripsi ini berdasarkan hasil penelitian, pemikiran dan pemaparan asli dari saya sendiri, baik untuk naskah laporan maupun kegiatan yang tercantum sebagai bagian dari skripsi ini. Jika terdapat karya orang lain, saya akan mencantumkan sumber yang jelas.

Demikian pernyataan ini saya buat dengan sesungguhnya dan apabila dikemudian hari terdapat penyimpangan dan ketidakbenaran dalam pernyataan ini, maka saya bersedia menerima sanksi akademik berupa pencabutan gelar yang telah diperoleh karena karya tulis ini dan sanksi lain sesuai dengan peraturan yang berlaku di UM Sumatera Barat.

Demikian pernyataan ini saya buat dalam keadaan sadar tanpa paksaan dari pihak manapun.

Bukittinggi, 10 September 2021

Yang membuat pernyataan

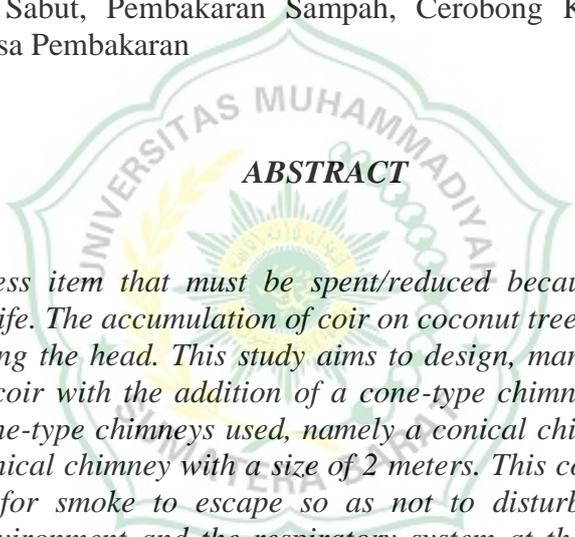


Indra Albiadi Harahap
161000221201007

ABSTRAK

Sabut merupakan barang tidak berguna yang harus dihabiskan/dikurangi karena mengganggu kehidupan lingkungan. Penumpukan sabut pada pohon kelapa sangat mengganggu pada saat pengambilan kepala. Penelitian ini bertujuan untuk merancang, membuat dan menguji pembakaran sabut dengan penambahan cerobong tipe kerucut pada corong alat pembakaran (*incinerator*). Cerobong tipe kerucut yang digunakan ada 2 buah, yaitu cerobong kerucut dengan ukuran 1 meter dan cerobong kerucut dengan ukuran 2 meter. Cerobong kerucut ini berfungsi sebagai jalur keluarnya asap agar tidak mengganggu kenyamanan lingkungan sekitar dan sistem pernapasan pada saat pengujian. Pengujian dilakukan sebanyak 5 kali dengan berat sabut yang berbeda-beda, untuk memperoleh lamanya waktu pembakaran dan sisa pembakaran. Penggunaan cerobong kerucut yang lebih tinggi menghasilkan laju pembakaran lebih lambat dibandingkan penggunaan cerobong kerucut lebih rendah.

Kata kunci : Sabut, Pembakaran Sampah, Cerobong Kerucut Waktu, Laju Pembakaran, Sisa Pembakaran



ABSTRACT

Coir is a useless item that must be spent/reduced because it interferes with environmental life. The accumulation of coir on coconut trees is very disturbing at the time of taking the head. This study aims to design, manufacture and test the combustion of coir with the addition of a cone-type chimney to the incinerator. There are 2 cone-type chimneys used, namely a conical chimney with a size of 1 meter and a conical chimney with a size of 2 meters. This conical chimney serves as a pathway for smoke to escape so as not to disturb the comfort of the surrounding environment and the respiratory system at the time of testing. The test was carried out 5 times with different weights of coir, to obtain the length of combustion time and residual combustion. The use of a higher cone chimney results in a slower combustion rate than the use of a lower conical chimney.

Key words : Coir, Garbage Burning, Time Cone Chimney, Combustion Rate, Burning Remaining

KATA PENGANTAR

Puji syukur penulis panjatkan kehadirat Allah Yang Maha Kuasa atas berkat dan karunia-Nya penulis dapat menyelesaikan penulisan Skripsi ini. Adapun judul dari Skripsi penulis adalah “Pengaruh Tinggi Cerobong Kerucut Pembakaran Sampah Terhadap Kecepatan Pembakaran”.

Skripsi ini merupakan salah satu kewajiban yang harus diselesaikan untuk memenuhi sebagian persyaratan akademik untuk memperoleh gelar Sarjana Teknik Mesin di Universitas Muhammadiyah Sumatera Barat.

Penulis menyadari bahwa tanpa bimbingan, bantuan, dan doa dari berbagai pihak, Skripsi ini tidak akan dapat diselesaikan tepat pada waktunya. Oleh karena itu, penulis mengucapkan terima kasih yang sebesar-besarnya kepada semua pihak yang telah membantu dalam proses pengerjaan skripsi ini.

1. Kedua orang tua yang telah memberikan dukungan penuh kepada penulis sehingga selesainya penulisan Skripsi ini.
2. Bapak Masril, ST. MT. selaku Dekan Fakultas Teknik, Universitas Muhammadiyah Sumatera Barat, Bukittinggi.
3. Bapak alm. Ir. Hariadi, M.Eng selaku Pembimbing I yang telah banyak memberikan bimbingan dan masukan kepada penulis.
4. Bapak Muchlisinalahuddin, ST. MT. selaku pengganti Pembimbing I yang telah banyak memberikan bimbingan dan masukan kepada penulis.
5. Bapak Rudi K Arief, ST. MT. selaku Ketua Program Studi Teknik Mesin, Fakultas Teknik, Universitas Muhammadiyah Sumatera Barat, Bukittinggi sekaligus Pembimbing II yang telah banyak memberikan bimbingan dan masukan kepada penulis.
6. Ibu Riza Muharni, ST. MT. selaku Penguji I yang telah banyak memberikan bimbingan dan masukan kepada penulis.
7. Ibu Dr. Femi Earnestly, M.Si. selaku Penguji II yang telah banyak memberikan bimbingan dan masukan kepada penulis.
8. Bapak maupun Ibu Dosen yang telah memberikan bekal ilmu pengetahuan selama penulis menempuh pendidikan di Fakultas Teknik, Universitas Muhammadiyah Sumatera Barat, Bukittinggi.

9. Semua pihak yang telah membantu dalam penulisan Skripsi ini.

Akhir kata, penulis menyadari bahwa mungkin masih terdapat banyak kekurangan dalam Skripsi ini. Oleh karena itu, saran dari pembaca akan sangat bermanfaat bagi penulis. Semoga Skripsi ini dapat bermanfaat bagi semua pihak yang membacanya, khususnya Mahasiswa Teknik Mesin.



Bukittinggi, 10 September 2021

Penulis,

Indra Albiadi Harahap

161000221201007

DAFTAR ISI

	Halaman
HALAMAN JUDUL	
HALAMAN PENGESAHAN	
LEMBARAN PERSETUJUAN TIM PENGUJI	
HALAMAN PERNYATAAN KEASLIAN SKRIPSI	
ABSTRAK	
ABSTRACT	
KATA PENGANTAR	i
DAFTAR ISI	iii
DAFTAR TABEL	vi
DAFTAR GAMBAR	vii
BAB I PENDAHULUAN	
1.1 Latar Belakang.....	1
1.2 Identifikasi Masalah.....	1
1.3 Rumusan Masalah.....	2
1.4 Batasan Masalah	2
1.5 Tujuan Penelitian.....	2
1.6 Manfaat Penelitian.....	2
1.7 Sistematika Penyusunan.....	3
BAB II TINJAUAN PUSTAKA	
2.1 Sabut Kelapa.....	4
2.2 Alat Pembakaran (<i>Incinerator</i>)	4
2.2.1 Sistem Alat Pembakaran.....	6
2.3 Proses Pembakaran	6
2.3.1 Proses Pembakaran Aktual	9
2.3.2 Gas Hasil Pembakaran	10
2.3.3 Reaksi Kimia Pembakaran.....	11
2.3.4 Laju Pembakaran	12

2.3.5	Rendaman Abu	12
2.4	Cerobong Asap	13
2.4.1	Cerobong Asap Kerucut	14
2.4.2	Volume Pipa Cerobong Asap Kerucut	15
2.5	Keranjang Pembakaran	15
2.5.1	Volume Keranjang Pembakaran	16
2.6	Timbangan	16
2.7	Minyak Tanah	17
2.8	Termometer Infra Merah	17

BAB III METODOLOGI PENELITIAN

3.1	Diagram Alir Pengujian Cerobong Kerucut (<i>Incinerator</i>)	18
3.2	Alat dan Bahan	19
3.2.1	Alat	19
3.2.2	Bahan	20
3.3	Pengujian Alat	23
3.3.1	Pembuatan Alat Uji	23
3.3.2	Pengambilan Data	26
3.4	Alat Pembakaran Sampah	27

BAB IV PEMBAHASAN DAN ANALISIS

4.1	Data Cerobong Kerucut	28
4.1.1	Cerobong Kerucut 1 meter	28
4.1.2	Cerobong Kerucut 2 meter	29
4.1.3	Tanpa Cerobong	30
4.2	Laju Pembakaran	31
4.2.1	Cerobong Kerucut 1 meter	31
4.2.2	Cerobong Kerucut 2 meter	32
4.2.3	Tanpa Cerobong	33
4.2.4	Hasil Laju Pembakaran	35
4.3	Rendaman Abu	36
4.3.1	Rendaman Abu Cerobong Kerucut	36
4.4	Volume Cerobong Asap Kerucut	36

4.4.1	Volume Cerobong Kerucut 1 meter	37
4.4.2	Volume Cerobong Kerucut 2 meter	37
4.5	Volume Keranjang Sampah	37
4.6	Temperatur	38
4.6.1	Cerobong Kerucut 1 meter.....	38
4.6.2	Cerobong Kerucut 2 meter.....	38
4.7	Sisa Pembakaran	38
4.8	Hasil Pengamatan Ketinggian Cerobong Kerucut	40

BAB V PENUTUP

5.1	Kesimpulan.....	41
5.2	Saran.....	42

DAFTAR PUSTAKA

LAMPIRAN



DAFTAR TABEL

Tabel 4. 1 Data Waktu dan Sisa Pembakaran Cerobong Kerucut 1 Meter	30
Tabel 4. 2 Data Waktu dan Sisa Pembakaran Cerobong Kerucut 2 Meter	31
Tabel 4. 3 Data Waktu dan Sisa Pembakaran Cerobong Kerucut Tanpa Cerobong	32
Tabel 4. 4 Data Waktu dan Hasil Laju Pembakaran	37



DAFTAR GAMBAR

Gambar 2.1.	Sabut Kelapa.....	4
Gambar 2.2.	Reaksi Kimia Pembakaran Methane	11
Gambar 2.3.	Cerobong Asap Kerucut	14
Gambar 2.4.	Keranjang Pembakaran.....	15
Gambar 2.5.	Timbangan Duduk.....	16
Gambar 2.6.	Minyak tanah.....	17
Gambar 2.7.	Termometer Inframerah.....	17
Gambar 3.1.	Diagram Alir Pengujian Cerobong Kerucut	18
Gambar 3.2.	Las Listrik.....	19
Gambar 3.3.	Gerinda	19
Gambar 3.4.	Roll Meter.....	20
Gambar 3.5.	Besi Siku.....	20
Gambar 3.6.	Besi Lembaran.....	21
Gambar 3.7.	Besi As.....	21
Gambar 3.8.	Hollow Structural Section	22
Gambar 3.9.	Pipa Baja.....	22
Gambar 3.10.	Desain Alat Pembakaran	23
Gambar 3.11.	Rangka Alat Pembakaran	25
Gambar 3.12.	Cerobong Kerucut 1 Meter dan 2 Meter.....	25
Gambar 3.13.	Alat Pembakaran Setelah Dirakit	26
Gambar 3.14.	Alat Pembakaran (<i>Incinerator</i>).....	27
Gambar 4.1.	Grafik Hubungan Waktu Dengan Sisa Pembakaran Cerobong Kerucut 1 Meter.....	28
Gambar 4.2.	Grafik Hubungan Waktu Dengan Sisa Pembakaran Cerobong Kerucut 2 Meter.....	29
Gambar 4.3.	Grafik Hubungan Waktu Dengan Sisa Pembakaran Tanpa Cerobong	30
Gambar 4.4.	Grafik Hubungan Waktu Dengan Laju Pembakaran.....	35
Gambar 4.5.	Sisa Pembakaran.....	39
Gambar 4.6.	Pengamatan Pada Tinggi Cerobong Kerucut	41

BAB I PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Sabut merupakan bagian *mesokarp* (selimut) yang berupa serat – serat kasar kelapa. Sabut biasanya disebut sebagai limbah yang hanya ditumpuk dibawah tegakan tanaman kelapa lalu dibiarkan membusuk atau mengering. Sabut kelapa yang kering kami manfaatkan untuk pengujian, dengan membakar sabut menggunakan alat pembakaran.

Alat pembakaran (*Incinerator*) merupakan sebuah alat yang menggunakan sistem insinerasi. Metode yang digunakan dalam sistem ini adalah menghancurkan limbah padat (*solid*) dengan cara membakar.

Beberapa penelitian tentang alat pembakaran (*incinerator*) yaitu antara lain Wahyu Hidayat membuat alat pembakaran tidak menggunakan cerobong. Tanpa penggunaan cerobong hasil yang diperoleh kurang maksimal, dikarenakan asap yang dihasilkan pada saat proses pembakaran berlangsung menyebar kemana-mana dan mengganggu kenyamanan masyarakat.

Sejalan dengan penelitian yang telah dilakukan oleh Wahyu Hidayat penulis berinisiatif menambahkan cerobong pada alat pembakaran (*incinerator*). Cerobong yang digunakan oleh penulis adalah cerobong kerucut dengan tinggi yang berbeda dan berfungsi untuk mengarahkan asap ke ketinggian agar tidak menyebar ke permukiman dan mengganggu sistem pernafasan.

Untuk solusi dari permasalahan menyangkut perbedaan tinggi cerobong kerucut pada saat proses pembakaran berlangsung, penulis sangat tertarik untuk membahas masalah ini lebih lanjut dalam skripsi penulis yang berjudul **“Pengaruh Tinggi Cerobong Kerucut Pembakaran Sampah Terhadap Kecepatan Pembakaran”**.

1.2 Identifikasi Masalah

Dari penjelasan pada latar belakang tentang sabut kelapa maka dapat diidentifikasi beberapa masalah yang ada antara lain :

1. Bagaimana membakar sabut kelapa yang baik.

2. Berapa perbandingan laju pembakaran menggunakan cerobong kerucut dengan tinggi yang berbeda.
3. Berapa kapasitas keranjang pembakaran.
4. Berapa waktu yang dibutuhkan pada saat proses pembakaran.
5. Berapa berat abu sisa pembakaran.

1.3 Rumusan Masalah

Untuk menjawab permasalahan, dilakukan proses pembakaran dengan memasukkan sabut kelapa kedalam keranjang, pada bagian sabut kelapa disirami minyak tanah agar bara api sempurna.

1.4 Batasan Masalah

Demi terarahnya penyusunan laporan tugas akhir ini penulis membatasi masalah terhadap proses pembakaran sabut kelapa. Dalam pengujian ini dibatasi hanya untuk mengetahui kapasitas pembakaran, lama waktu pembakaran dan berat sisa pembakaran, dengan mengabaikan kekutan alat dan perpindahan panas yang terjadi.

1.5 Tujuan

Tujuan penelitian adalah:

1. Mengetahui waktu pada saat proses pembakaran.
2. Mengetahui laju pembakaran dengan tinggi pipa cerobong kerucut yang berbeda.
3. Membuat prosedur pembakaran sabut kelapa yang efektif dan efisien.
4. Mendapatkan hasil berat sisa pembakaran.

1.6 Manfaat

Adapun manfaat yang diperoleh dari proses pengujian pembakaran sabut kelapa ini antara lain sebagai berikut :

1. Bagi Mahasiswa
 - a. Merupakan penerapan ilmu yang telah diperoleh selama perkuliahan, sebagai tolak ukur kompetensi mahasiswa untuk meraih gelar S1

Program Studi Teknik Mesin Fakultas Teknik Universitas Muhammadiyah Sumatera Barat.

- b. Meningkatkan kedisiplinan dan kerjasama tim guna menghadapi dunia kerja yang profesional.
 - c. Menambah pengetahuan serta pengalaman dalam proses pengujian pembakaran.
2. Bagi Masyarakat / Industri
- a. Alat ini dapat dimanfaatkan oleh masyarakat / Industri guna mengatasi masalah sampah disepanjang jalan.
 - b. Memacu masyarakat untuk memelihara kebersihan lingkungan.
3. Bagi Universitas
- a. Sebagai pelaksanaan Tri Dharma perguruan tinggi untuk kepedulian terhadap kehidupan masyarakat sekitar.
 - b. Pelaksanaan penelitian dan pengabdian pada masyarakat.



BAB II LANDASAN TEORI

2.1 Sabut Kelapa

Sabut kelapa merupakan bahan yang mengandung ligniseluosa yang dapat dimanfaatkan sebagai salah satu alternatif coco fiber, selama ini telah banyak penelitian dan percobaan yang dilakukan oleh para ahli untuk meningkatkan nilai ekonomis sabut kelapa untuk mendapatkan suatu produk yang memiliki kualitas tinggi namun dengan bahan yang mudah didapat (Jonathan dkk, 2013).

serabut kelapa diambil setelah pengangkatan daging kelapa dan digunakan untuk pengujian dengan membakar sabut kelapa dengan menggunakan alat pembakaran



Gambar 2.1 Sabut kelapa

2.2 Alat Pembakaran (*Incinerator*)

Alat pembakaran (*Incinerator*) ini menggunakan cerobong kerucut dengan tinggi yang berbeda untuk mengetahui perbandingan lama waktu pembakaran dan sisa pembakaran.

Sedangkan fungsi alat pembakaran adalah sebagai berikut.

1. Untuk membakar sabut kelapa kering.
2. Membakar bahan lain seperti sampah organik, selain plastik dan material logam.

Pada proses pembakaran dapat terjadi bila konsentrasi antara uap bahan bakar dan oksigen terpenuhi dan terdapat energi panas yang cukup. Proses terjadinya api (pembakaran) dikenal dengan nama segitiga api, yaitu unsur bahan bakar, unsur udara (oksigen) dan energi panas. Bila ketiga unsur ini bertemu dan

mencapai konsentrasi yang tepat, maka akan terjadi proses pembakaran, namun sebaliknya bila salah satu unsur dari tiga unsur tersebut ditiadakan maka proses pembakaran tidak akan terjadi.

Teori segitiga api akan terjadi bila ketiga unsur segitiga api bersatu dalam kondisi yang memungkinkan. Tanpa adanya bahan bakar, oksigen atau sumber panas proses pembakaran tidak akan terjadi, begitu pula jika ketiga-tiganya ada tapi bila ketiganya tidak bersatu dan keadaannya tidak memungkinkan, tidak akan terjadi api/kebakaran. Setelah api/kebakaran ini terjadi, proses akan berlanjut dan api ini akan menyebar ke segala penjuru dan mengeluarkan asap dari pipa cerobong yang dipasang.

Bakar Bahan bakar adalah semua bahan yang dapat terbakar pada kondisi tertentu, umumnya kebanyakan senyawa yang mengandung unsur *carbon*, *hydrogen*, *magnesium*, *titanium*, *sulfur*. Bahan bakar kadang-kadang dikategorikan atas 2 kelas, yaitu :

1. *Combustibles* yaitu zat-zat padat organik
2. *Flammables* yaitu bahan-bahan bakar cair & gas

Yang lebih populer adalah klasifikasi berdasarkan phasenya, yaitu : bahan bakar padat, cair dan gas. Bahan bakar padat misalnya, kayu, kertas, kain, kapas, arang batu/ batubara. Bahan bakar cair misalnya, *avigas*, *premium*, *kerosine*, *solar*, *MFO/MDO*. Bahan bakar gas misalnya, coke open gas (gas kota), *gas ecetyline*, *gas hydrogen*. Bahan bakar pada alat pembakaran penulis berupa sabut kelapa dan minyak tanah untuk proses pembakarannya.

Sumber Panas ada 5 macam katagori yaitu, sumber api terbuka (*open flame*) adalah panas atau nyala api/sumber api terbuka seperti korek api, kompor, *flare* dan api rokok. Sumber panas mekanis ditimbulkan oleh gesekan/benturan mekanis misalnya, gesekan antara 2 buah benda keras seperti logam besi satu dengan yang lain, pekerjaan menggerinda dan alat yang jatuh dari suatu ketinggian sehingga berbenturan. Sumber panas kimia ditimbulkan karena adanya reaksi kimia yang disebut pemanasan spontan dari zat pengoksida dengan bahan bakar misalnya, kalium permanganat dengan gliserine dan logam natrium yang terkena air. Sumber panas listrik dinamis ditimbulkan karena adanya hubungan singkat (*korsluiting*) atau panas lebih (*over heating*) pada aliran listrik. Sumber

panas listrik statis ternyata karena adanya loncatan listrik dari ion negatif dan ion positif misalnya pada petir (halilintar), juga pada aliran produk- produk minyak bumi tertentu yang bisa menimbulkan penumpukan listrik statis dan menghasilkan bunga api.

2.2.1 Sistem Alat Pembakaran

Sistem *Incinerator* pada dasarnya terdiri atas dua macam, sistem pembakaran berkesinambungan dan sistem pembakaran terputus.

1. Sistem Pembakaran Berkesinambungan

Sistem ini menggunakan gerakan mekanisasi dan otomatisasi dalam kesinambungan pembakaran sampah ke dalam ruang bakar (tungku) dan pembuangan sisa pembakaran. Sistem ini pada umumnya dilengkapi fasilitas pengendali pembersih sisa pembakaran untuk membersihkan abu dan gas. Sistem ini dapat digunakan untuk instalasi dengan kapasitas besar dan beroperasi selama 24 jam atau 16 jam per hari.

2. Sistem Pembakaran Terputus

Sistem ini umumnya sederhana dan mudah dioperasikan. Digunakan untuk kapasitas kecil, dan beroperasi kurang dari 8 jam per hari. Cara kerjanya terputus-putus dalam arti bila sampah yang sudah dibakar menjadi abu, maka untuk pembakaran berikutnya abu tersebut harus dikeluarkan lebih dahulu, dalam pembersihan ruang bakar *incinerator* juga perlu diperhatikan dinding ruang bakar pada *incinerator* dimana banyak dinding yang rapuh dan mudah terklupas yang terjadi pada saat dikapal taruna menggunakan sapu dan serokan sebagai media sampah setelah bersih, baru dapat dilakukan pembakaran sampah selanjutnya. Proses tersebut menunjukkan bahwa pengolahan sampah dengan *incinerator* dilakukan dengan memperhatikan aspek keamanan terhadap lingkungan.

2.3 Proses Pembakaran

Reaksi pembakaran secara umum terjadi melalui 2 cara, yaitu pembakaran sempurna dan pembakaran habis. Pembakaran sempurna adalah proses pembakaran yang terjadi jika semua karbon bereaksi dengan oksigen menghasilkan CO₂, sedangkan pembakaran habis adalah proses pembakaran yang terjadi jika

bahan bakar terbakar habis adalah proses pembakaran yang tidak semuanya menjadi CO₂ (Abdullah et, al., 1998 dalam Arif Budiman, 2001)

Menurut Culp (1991 dalam Arif Budiman, 2001) proses pembakaran actual dipengaruhi oleh 5 faktor, yaitu.

1. Pencampuran udara dan bahan dengan baik.
2. Kebutuhan udara untuk proses pembakaran.
3. Suhu Pembakaran.
4. Lamanya waktu pembakaran yang berhubungan dengan laju pembakaran.
5. Berat jenis bahan yang akan dibakar.

Pencampuran udara dan bahan bakar yang baik dalam pembakaran actual biasanya tidak dapat dicapai tetapi didekati melalui penambahan *excess* udara. Penambahan *excess* udara harus baik dengan nilai minimum karena apabila terlalu banyak dapat meningkatkan kehilangan energi dalam pembakaran dan meningkatnya emisi NO_x.

Proses pembakaran sabut kelapa berlangsung secara bertahap. Tahap awal terjadi penguapan kandungan air pada sabut kelapa yang belum terbakar menggunakan panas dari bahan terbakar yang berada di sekelilingnya atau menggunakan energi panas yang ditambahkan dari luar.

Pada saat pemanasan sabut kelapa terjadi pelepasan karbon atau bahan volatil yang terkonversi menjadi gas yang mudah terbakar, proses ini disebut gasifikasi. Gas ini selanjutnya bercampur dengan oksigen yang dapat mengalami reaksi oksidasi. Kondisi ini apabila menghasilkan temperatur cukup tinggi dan berlangsung lama dapat terkonversi secara sempurna (*complete combustion*) menghasilkan uap air dan CO₂ yang dilepaskan ke udara.

Kondisi sebaliknya dapat terjadi yaitu apabila temperatur pembakaran rendah dan waktu tinggal pada ruang bakar cepat terjadi pembakaran yang tidak sempurna (*incomplete combustion*) yang dapat menghasilkan asap (Lee & Lin, 2007 dalam Subagiyo dkk 2013). Dampak lain dari pembakaran tidak sempurna adalah terbentuknya polutan lain yang semula tidak terdapat dalam sampah karena terjadi reaksi sintesa yang disebut *denovo* menghasilkan dioksidan furan. Tingkat kesempurnaan pembakaran di pengaruhi oleh beberapa variable berikut.

1. Temperatur

Temperatur pembakaran merupakan fungsi nilai bakar (*heating value*) sampah dan bahan bakar tambahan dari luar, rancangan alat pembakar (*incenarator*), supply udara dan control pembakaran. Pembakaran sempurna memerlukan temperature tinggi, secara umum temperatur lebih tinggi dari 650°C dan waktu tinggal 1-2 detik dapat menghasilkan pembakaran sempurna pada makanan dan sampah rumah tangga. Temperatur lebih tinggi sekitar 1000°C diperlukan untuk membakar campuran sampah yang mengandung bahan berbahaya (*hazardous*) seperti sampah medis dengan waktu tinggal minimal 1 detik dapat menghasilkan polutan seperti dioksin, furan dan abu minimal.

2. Waktu Tinggal

Pembakaran sempurna membutuhkan waktu tinggal yang cukup yaitu waktu yang dibutuhkan untuk menjamin terjadinya pencampuran yang sempurna antara udara dan bahan bakar agar dapat bereaksi secara sempurna. Pembakaran pada temperatur rendah, sabut kelapa dengan nilai panas rendah dan turbulensi campuran gas yang rendah memerlukan waktu tinggal yang lebih lama untuk menghasilkan pembakaran yang sempurna.

3. Turbulensi

Turbulensi pencampuran gas yang terbakar dan udara diperlukan untuk menjamin terjadinya kontak yang cukup antara bahan bakar dan udara. Hal ini dapat menghasilkan temperatur yang tinggi sehingga menyebabkan pembakaran sempurna. Tingkat pencampuran tergantung dari rancangan ruang bakar *incinerator* dan sistem injeksi udara. Sistem pembakaran dengan sirkulasi udara alami pada sistem pembakaran terbuka tidak dapat menghasilkan pencampuran yang baik. Demikian juga tumpukan sabut kelapa yang terlalu tinggi dapat mengganggu turbulensi pencampuran udara dan gas yang mudah terbakar karena tersumbatnya rongga jalur aliran kedua bahan ini. Rancangan *incinerator* yang dapat menghasilkan pembakaran sempurna menggunakan sistem sirkulasi paksa (*forced circulation*) untuk memperoleh turbulensi pencampuran.

4. Komposisi Sabut

Komposisi kimia sabut kelapa terdiri atas selulosa, lignin, pyroligneous acid, gas, abu, tannin, dan potasium. Dilihat sifat fisisnya sabut kelapa terdiri dari.

- a. Seratnya terdiri dari serat kasar dan halus dan tidak kaku.

- b. Mutu serat ditentukan dari warna dan ketebalan.
- c. Mengandung unsur kayu seperti lignin, tannin, dan air.

Semakin tinggi temperatur, waktu tinggal dan derajat pencampuran gas dan udara semakin mendekati pembakaran sempurna dan semakin kecil pengaruh karakteristik sabut kelapa terhadap tingkat kesempurnaan pembakaran.

2.3.1 Proses Pembakaran Aktual

Proses pembakaran aktual dipengaruhi 3 faktor.

1. Volume udara yang dikompresikan
Makin banyak udara yang dikompresikan maka makin tinggi temperatur yang dihasilkan. Apabila jumlah udara yang dikompresikan mencukupi maka akan dihasilkan panas yang temperaturnya di atas temperatur penyalaan bahan bakar.
2. Lamanya waktu pembakaran yang berhubungan dengan laju pembakaran.
3. Berat jenis bahan yang akan dibakar
Agar terjadi proses optimal maka ada beberapa aspek yang harus diperhatikan dalam menjalankan suatu *incinerator*, antara lain.
 - a. Aspek keterbakaran menyangkut kadar air, dan kadar arang dari buangan padat, khususnya sabut kelapa.
 - b. Aspek keamanan menyangkut titik nyala, dan operasional *incinerator*.
 - c. Aspek pencegahan pencemaran udara menyangkut penanganan uap asap.Sebelum membahas teknologi *incinerator*, terlebih dulu mengetahui komposisi dalam sabut kelapa yang apabila ditinjau sebagai bahan yang dapat terbakar dan sebagai bahan bakar.

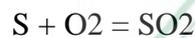
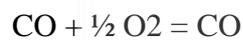
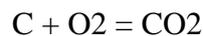
Adapun komponen tersebut, yaitu :

- a. Kandungan air (*moisture content*)
Kandungan air merupakan komponen yang selalu terbawa dalam sampah. Pengaruh dari kandungan air adalah terjadinya penurunan nilai kalor dari bahan bakar sampah yang mempengaruhi efisiensi *incinerator*.
- b. Komponen pembakaran (*combustion component*)
Pada proses pembakaran terdapat komponen atau unsur pembakaran

yang mengikuti proses pembakaran selain kandungan air dan arang sabut kelapa, komponen tersebut antara lain karbon (C), hidrogen (H), oksigen (O), nitrogen (N), sulfur (S), klorida (Cl) dan lain-lain.

c. Abu (*ash*)

Kandungan selalu ada pada setiap proses pembakaran yang merupakan sisa dari proses. Komponen sisa pembakaran yang berupa padatan di kelompokkan dalam abu (*ash*) termasuk abu terbang (*fly ash*). Pada proses pembakaran komponen karbon, hidrogen dan sulfur akan terbakar didalam ruang bakar *incenerator* dengan reaksi pembakaran sebagai berikut.



Persamaan diatas merupakan dasar teori untuk memprediksi jumlah gas pembakaran yang terjadi pada proses reaksi pembakaran.

2.3.2 Gas Hasil Pembakaran

Sebagaimana diketahui bahwa pembakaran adalah proses oksidasi dimana oksigen diberikan dengan mengikuti rasio udara berlebih terhadap massa bahan bakar agar diperoleh reaksi pembakaran yang komplit. Reaksi utama dari proses pembakaran antara karbon dengan oksigen akan membentuk karbonmonoksida (CO) dan karbondioksida (CO₂). Karbondioksida merupakan produk pembakaran yang memiliki temperatur rendah. Oksidasi karbon monoksida ke karbon dioksida hanya dapat terbentuk jika memiliki sejumlah oksigen yang seimbang. Kandungan goyang tinggi mengindikasikan proses pembakaran tidak komplit dan ini harus seminimal mungkin dihindari, karena:

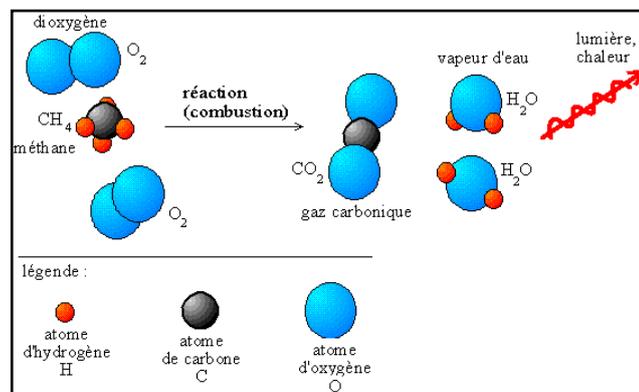
1. CO adalah gas yang dapat dibakar. Kandungan CO yang tinggi akan menghasilkan efisiensi pembakaran yang rendah.
2. Dapat menyebabkan gangguan bau.

Dalam suatu pembakaran, diharapkan terjadi pembakaran sempurna. Untuk

suatu bahan bakar hidrokarbon, produk yang akan dihasilkan adalah CO₂ dan H₂O. Jika bahan bakar telah ditentukan dan pembakaran terjadi secara sempurna, jumlah dari masing-masing produk dapat ditentukan dengan menerapkan prinsip konservasi massa pada persamaan kimia. Di dalam semua jenis alat pembakaran, derajat pencampuran antara bahan bakar dan udara merupakan suatu faktor penentu dalam reaksi yang terjadi setelah terjadi pencampuran bahan bakar dan udara. Bila konsentrasi gas CO sangat tinggi mempunyai resiko yang tinggi bagi makhluk hidup dan lingkungan sekitarnya. Pada pembakaran sempurna, reaktan akan terbakar dengan oksigen, menghasilkan sejumlah produk yang terbatas. Ketika hidrokarbon terbakar dengan oksigen, maka hanya akan dihasilkan gas karbon dioksida dan uap air. Namun terkadang akan dihasilkan senyawa nitrogen dioksida yang merupakan hasil teroksidasinya senyawa nitrogen didalam udara.

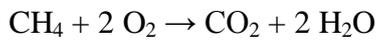
2.3.3 Reaksi Kimia Pembakaran

Pembakaran adalah suatu urutan reaksi kimia antara suatu bahan bakar dan suatu oksidan, disertai dengan produksi panas yang kadang disertai cahaya dalam bentuk pendar atau api. Dalam ilmu kimia, persamaan reaksi atau persamaan kimia merupakan representasi simbolis dari reaksi kimia. Rumus kimia pereaksi ditulis pada ruas kiri (di sebelah kiri) persamaan dan rumus kimia produk dituliskan pada ruas kanan. Koefisien yang ditulis di sebelah kiri rumus kimia sebuah zat adalah koefisien stoikiometri, yang menggambarkan jumlah zat tersebut yang terlibat dalam reaksi relatif terhadap zat yang lain. Persamaan reaksi yang pertama kali dibuat oleh ahli iatrokimia Jean Beguin pada 1615.



Gambar 2.2. Reaksi kimia pembakaran methane

Representasi grafis dari persamaan reaksi pembakaran metana. Dalam sebuah persamaan reaksi, pereaksi dan produk-reaksi dihubungkan melalui simbol yang berbeda-beda. Simbol \rightarrow digunakan untuk reaksi searah, \rightleftharpoons untuk reaksi dua arah, dan \rightleftharpoons untuk reaksi kesetimbangan. Misalnya, persamaan reaksi pembakaran metana (suatu gas pada gas alam) oleh oksigen dituliskan sebagai berikut.



Suatu persamaan reaksi disebut *setara* jika jumlah suatu unsur pada ruas kiri persamaan sama dengan jumlah unsur tersebut pada ruas kanan; dan dalam reaksi ionik, jumlah total muatan harus setara juga. Dalam suatu reaksi pembakaran lengkap, suatu senyawa bereaksi dengan zat pengoksidasi, dan produknya adalah senyawa dari tiap elemen dalam bahan bakar dengan zat pengoksidasi. Pada mayoritas penggunaan pembakaran sehari-hari, oksidan oksigen (O_2) diperoleh dari udara ambien dan gas resultan (gas cerobong, *flue gas*) dari pembakaran akan mengandung nitrogen. Pada kenyataannya, proses pembakaran tidak pernah sempurna.

2.3.4 Laju pembakaran

Laju pembakaran adalah proses pengujian dengan cara membakar sabut kelapa untuk mengetahui lama nyala suatu bahan bakar, kemudian menimbang massa sabut kelapa yang terbakar. Lamanya waktu penyalaan dihitung menggunakan *stopwatch* dan massa sabut kelapa ditimbang dengan timbangan duduk.

Persamaan yang digunakan untuk mengetahui laju pembakaran adalah.

$$\text{Laju Pembakaran} = \frac{m}{t} \quad (2.1)$$

m = massa sabut kelapa terbakar (Kg)

t = Waktu pembakaran (Jam)

2.3.5 Rendaman Abu

Rendaman abu digunakan untuk mengetahui kesempurnaan proses pembakaran. Parameter yang diukur untuk analisis rendemen abu adalah bobot abu hasil pembakaran dan bobot sampah. Nilai rendaman abu dihitung dengan

presentase perbandingan bobot abu dan bobot sampah.

$$\text{Rendaman Abu (\%)} = \frac{\text{Bobot abu}}{\text{Bobot sampah}} \times 100\% \quad (2.2)$$

Bobot abu = Sisa Pembakaran sabut kelapa (Kg)

Bobot sampah = Berat sabut yang ditimbang (Kg)

2.4 Cerobong Asap

Cerobong asap merupakan struktur yang berfungsi sebagai ventilasi pembuangan panas gas buang atau asap yang dihasilkan dari kompor, boiler, tungku, atau bahkan perapian keluar menuju atmosfer. Cerobong asap biasanya tersusun secara vertical atau mendekati vertikal, dalam arti sangat mendekati vertikal. Hal ini dimaksudkan untuk memastikan apakah aliran gas telah mengalir dengan lancar atau belum.

Pada umumnya cerobong asap dapat dijumpai pada lokomotif uap, bangunan – bangunan industri lain dan kapal – kapal di Amerika Serikat pun dilengkapi dengan cerobong asap, atau yang lebih dikenal dengan istilah *stack*.

Tingginya pembangunan cerobong asap dimaksudkan untuk menarik tinggi – tinggi udara yang ada dan selanjutnya melenyapkan polutan – polutan yang terkandung dalam gas buang menuju wilayah yang lebih luas sehingga dapat mengurangi konsentrasi polutan yang telah disesuaikan dengan batasan peraturan yang berlaku.

Pada zaman dahulu, bangsa Roma telah mempergunakan tabung dalam tembok yang difungsikan untuk menarik asap keluar dari took roti. Cerobong asap dalam wujud yang sesungguhnya muncul di wilayah Eropa Utara memasuki abad ke – 12, sedangkan cerobong asap untuk dunia industri baru mulai merebak pada akhir abad 18.

Sejak era tradisional, cerobong asap sudah dibangun dengan menggunakan bahan dasar batu bata, baik itu pada bangunan – bangunan berskala kecil ataupun bangunan – bangunan dalam taraf besar. Cerobong asap, pada awalnya hanya berupa konstruksi bata sederhana, selanjutnya cerobong asap dikembangkan dengan menempatkan batu bata pada sekitar *liners* ubin yang difungsikan untuk

mengontrol *down drafts* ventilasi pot cerobong dengan beragam desain yang sering kali ditempatkan pada bagian atas cerobong asap.

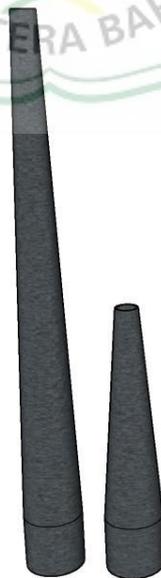
Adapun fungsi dari cerobong asap sendiri adalah untuk menarik keluar udara dari proses pembakaran serta menguraikan polutan yang terkandung dalam gas buang menuju wilayah yang lebih luas, dengan demikian dapat menurunkan kadar konsentrasi polutan yang ada.

2.4.1 Cerobong Asap Kerucut

Cerobong Kerucut berfungsi sebagai tempat keluarnya asap pada saat proses pembakaran berlangsung. Cerobong kerucut dirancang menggunakan pipa baja jenis *carbon steel* dengan tinggi 1 meter dan 2 meter dan diameter 57 mm. Alat pembakaran menggunakan cerobong kerucut dilakukan pengujian sebanyak 5 kali untuk mengetahui perbandingan waktu pada saat sabut kelapa dibakar.

Cerobong jenis ini jarang digunakan pada lokomotif uap dan bangunan – bangunan industri lain, dikarenakan penggunaan cerobong kerucut kurang efektif dibandingkan dengan cerobong jenis lain.

Asap yang keluar dari cerobong kerucut lebih kecil dibandingkan dengan cerobong jenis lain, ini disebabkan ukuran diameter pada cerobong diperkecil seperti cerobong jenis lainnya memiliki ukuran diameter lebih besar.



Gambar 2.3. Cerobong asap kerucut

2.4.2 Volume Pipa Cerobong Asap Kerucut

Tabung atau silinder memiliki cara hitung sendiri. Hal itu karena tabung merupakan bangunan tiga dimensi beraturan dengan bentuk seperti lingkaran yang memiliki tinggi tertentu. Sehingga untuk menghitung volume isi tabung dibutuhkan rumus volume tabung.

$$\text{Volume tabung} = \pi \times r \times r \times \text{tinggi} \quad (2.3)$$

R (radius) = Jari – jari tabung

π = Diameter Tabung

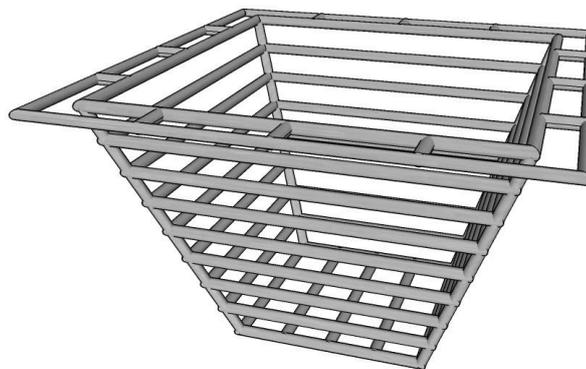
T = Tinggi tabung

2.5 Keranjang Pembakaran

Keranjang pembakaran merupakan tempat dari bahan pembakaran. Keranjang sampah sangat dibutuhkan pada proses pembakaran, dengan adanya keranjang sampah sabut kelapa yang akan dibakar tersusun rapi dan tidak tercecer (berserakan).

Keranjang pembakaran dirancang menggunakan besi As (besi beton) tipe BB 10 IBD SNI, diameter 10 mm dengan tinggi 35cm, lebar bagian atas 30cm dan lebar bagian bawah 15cm.

Keranjang sampah sendiri dirakit pada alat pembakar sampah dengan model trapesium dan posisi keranjang sampah menggantung pada bagian atas rangka, kemudian dibuat sedikit celah pada bagian bawah agar sisa pembakaran bisa diambil.



Gambar 2.4. Keranjang pembakaran

2.5.1 Volume Keranjang Pembakaran

Keranjang pembakaran dirancang berbentuk trapesium, maka langkah pertama yang harus dicari yaitu, luas alas trapesium. Adapun rumus luas trapesium sebagai berikut.

$$\text{Luas alas trapesium} = \frac{1}{2} \times (ab + cd) \times \text{tinggi} \quad (2.4)$$

a = Panjang sisi bagian atas

b = Panjang sisi bagian bawah

t = tinggi

Setelah mengetahui luas trapesium, langkah selanjutnya mencari volume dari trapesium. Adapun rumus volume trapesium sebagai berikut.

$$\text{Volume trapesium} = L \times \text{tinggi} \quad (2.5)$$

L = Luas alas trapesium

t = Tinggi

2.6 Timbangan

Timbangan atau *neraca* adalah alat yang dipakai dalam melakukan pengukuran massa suatu benda. Ketelitian pengukuran massa pada timbangan sangat beragam dan disesuaikan dengan kegunaannya masing – masing.

Timbangan yang dipakai untuk mengukur berat sabut kelapa, yaitu jenis timbangan duduk.



Gambar 2.5. Timbangan duduk

2.7 Minyak Tanah

Minyak tanah adalah cairan *hidrokarbon* yang tak berwarna dan mudah terbakar. Penggunaan minyak tanah pada proses pembakaran sangat diperlukan, sebagai bahan tambahan untuk memancing bara api pada sabut kelapa.



Gambar 2.6. Minyak tanah

2.8 Termometer Inframerah

Suhu juga dapat disebut sebagai Temperatur yang diukur dengan menggunakan alat yang dinamakan Termometer.



Gambar 2.7. Termometer inframerah

BAB III
METODE PENELITIAN

3.1 Diagram Alir Pengujian Cerobong Kerucut *Incinerator*



Gambar 3.1. Diagram alir pengujian cerobong kerucut

3.1.1 Alat dan Bahan

A. Alat

Alat yang digunakan untuk pembuatan alat pembakar sampah sebagai berikut.

1. Las Listrik

Pengelasan (*welding*) adalah salah satu teknik penyambungan logam dengan cara mencairkan sebagian logam induk dan logam pengisi dengan atau tanpa tekanan dan dengan atau tanpa logam penambah dan menghasilkan sambungan yang kontinyu.



Gambar 3.2. Las listrik

2. Gerinda

Mesin gerinda adalah mesin perkakas yang digunakan untuk mengasah, memotong serta menggerus benda kerja kasar maupun halus dengan tujuan dan kebutuhan tertentu.



Gambar 3.3. Gerinda

3. *Roll Meter* (Meteran)

Roll Meter adalah alat ukur panjang yang sangat penting dipergunakan dalam bangunan. Ketelitian pengukuran dengan *roll meter* sampai 0,5 mm. Alat ukur panjang ini sebenarnya sama seperti mistar namun lebih panjang dan bisa digulung.

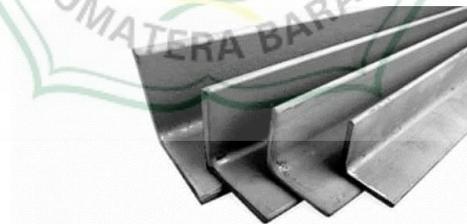


Gambar 3.4. *Roll meter*

3.2.2 Bahan

1. Besi Siku (*L- Bracket*)

Besi siku atau juga dikenal *L- Bracket* adalah batang besi berpenampang siku. Diproduksi dengan ukuran sudut 90 derajat membuat besi siku ini menjadi salah satu struktur penyangga ataupun elemen penguat atau penstabilan pada berbagai macam konstruksi.



Gambar 3.5. Besi siku (*L-bracket*)

Siku : 40 x 40 mm

Ketebalan : 3 mm

Panjang : 6 m

Berat : 11 Kg

2. Besi lembaran (plat besi)

Besi lembaran (plat besi) adalah bahan baku dalam pembuatan berbagai macam mesin dan kebutuhan industri lainnya.



Gambar 3.6. Besi lembaran

Tipe : JIS G3131

Ukuran : 122 x 244

Ketebalan : 2 mm

3. Besi As (Besi Beton)

Besi As adalah Besi beton berpenampang lingkaran dengan permukaan rata tidak bersirip.



Gambar 3.7. Besi as (besi beton)

Tipe : BB 10 IBD SNI

Diameter Nominal : 10 mm

Luas Penampang Nominal : $0,7854 \text{ cm}^2$

Berat Nominal Per Meter : $0,617 \text{ kg/mm}$

4. *Hollow Structural Section (HSS)*

Besi ini digambarkan berbentuk seperti pipa panjang berongga dengan penampang berbentuk segi empat sehingga sering juga disebut dengan “pipa kotak”. Jenis besi yang termasuk dalam keluarga besi HSS ini penampangnya dapat berbentuk lingkaran, elips, bujur sangkar, dan juga persegi panjang.



Gambar 3.8. *Hollow structural section (HSS)*

Tipe : Galvanis
Panjang : 6 mm
Ketebalan : 2 mm
Diameter Nominal : 20 x 20 mm

5. *Pipa Baja (cerobong asap)*

Pipa baja merupakan jenis pipa berbentuk silinder yang biasanya di buat oleh perusahaan-perusahaan ternama. Pipa berbahan dasar baja bisa digunakan untuk mengalirkan zat cair maupun zat gas.



Gambar 3.9. *Pipa baja*

Pipa : S45 C JIS
Diameter : 4 inch (10.16cm)
Tebal Dinding : 4,10 mm
Tinggi : 1 meter dan 2 meter
Jenis Pipa : *Carbon steel*

3.3 Pengujian Alat Pembakaran (Incinerator)

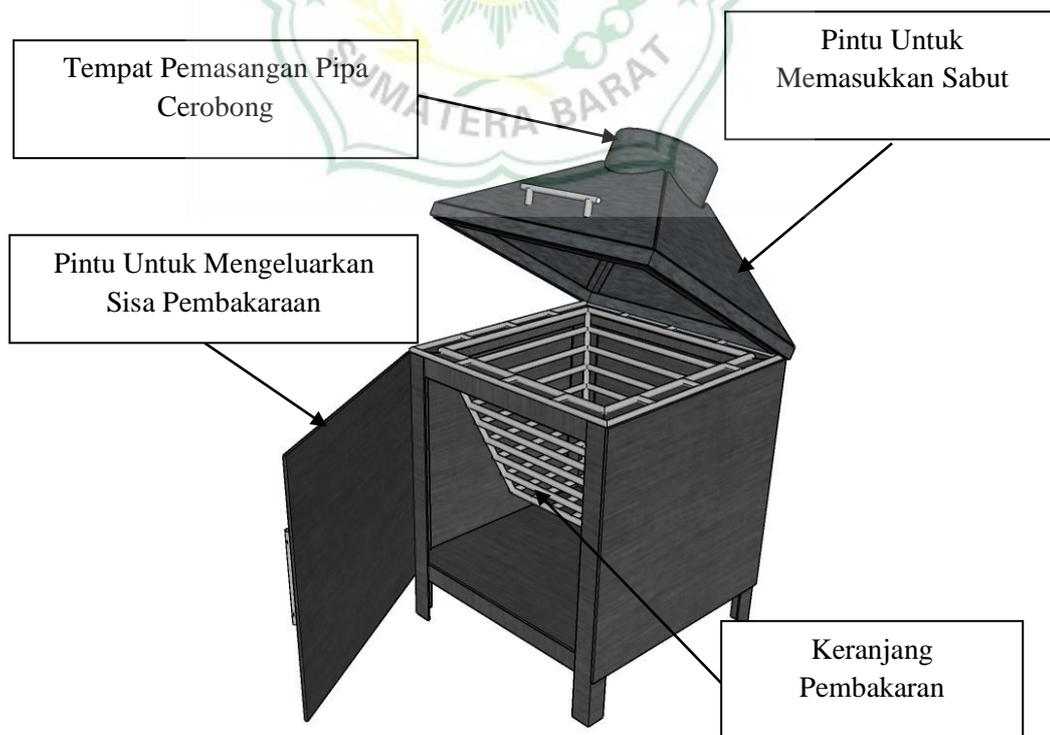
Pengujian alat dilakukan untuk mengetahui kinerja alat pembakaran menggunakan cerobong kerucut dengan tinggi yang berbeda. Untuk masing – masing cerobong dilakukan pengujian sebanyak 5 kali untuk mengetahui perbandingan waktu dan sisa pembakaran. Dalam pengujian ini penulis mengabaikan cuaca dan udara sekitar.

3.3.1 Pembuatan Alat Uji

Pembuatan alat pembakaran (*incinerator*) ini dibuat di Bengkel Volunteer Agam Teknik yang terletak di Sungai Puar. Langkah – langkah yang harus dikerjakan dalam pembuatan alat pembakaran ini sebagai berikut.

1. Desain Alat

Disini gambar berguna sebagai pedoman dalam langkah permulaan dari pembuatan suatu alat. Gambar dapat terdiri dari garis, simbol, dan tulisan tegak. Gambar ini bisa dibuat secara manual atau menggunakan alat. Gambar manual dibuat menggunakan tangan tanpa bantuan alat, sedangkan pembuatan gambar yang menggunakan alat yaitu gambar yang dibuat menggunakan salah satu *software* computer seperti AutoCAD.



Gambar 3.10. Desain alat pembakaran (incinerator)

2. Pengukuran dan Pemotongan

Pengukuran dan pemotongan ini dilakukan pada pembuatan kerangka alat pembakar sampah sesuai dengan ukuran yang telah ditetapkan. Alat yang digunakan untuk membuat alat pembakar sampah (*incinerator*) adalah mistar, meteran dan penggores.

3. Penitikan Pengelasan

Setelah bahan telah dipotong sesuai dengan ukuran, yang dilakukan selanjutnya adalah melakukan penitikan untuk menyambung bahan – bahan yang sudah disediakan. Penitikan pengelasan dilakukan sebelum melakukan pengelasan ikat (*tack weld*) untuk memudahkan pembongkaran apabila ada kesalahan pada penyambungan bahan.

4. Pengelasan Ikat

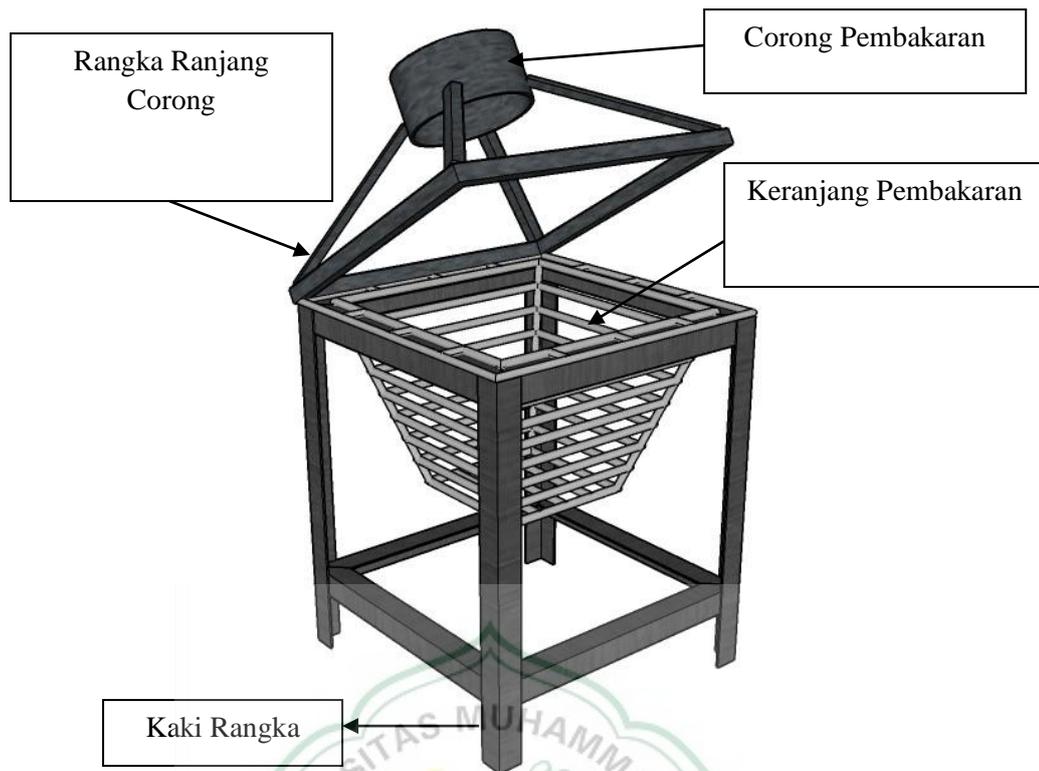
Pengelasan ikat dilakukan setelah melakukan penitikan pengelesan. Pengelasan ikat dilakukan berfungsi untuk memperkuat sambungan las sehingga sambungan tersebut tidak mudah lepas.

5. Pembuatan Rangka

Rangka alat pembakaran dilengkapi keranjang pembakaran dan rangka ranjang corong, rangka terbuat dari besi siku 40 x 40mm dengan ukuran diameter 3mm, panjang 50cm, lebar 50cm dan ukuran kaki 10cm.

Keranjang pembakaran ini berbentuk trapesium sama kaki yang berfungsi untuk menampung bahan yang akan dibakar. Keranjang pembakaran ini terbuat dari besi beton (besi as) dengan ukuran diameter 10mm, tinggi 35cm, lebar atas 30cm dan lebar bawah 15cm.

Rangka ranjang corong berfungsi sebagai pintu untuk memasukkan bahan yang akan dibakar. Rangka ranjang corong terbuat dari *hollow structural section* dengan ukuran diameter 20 x 20mm, tinggi 25cm dan lebar 50cm.



Gambar 3.11. Rangka alat pembakaran

6. Pembuatan Cerobong kerucut

Cerobong kerucut berfungsi sebagai jalur keluarnya asap, sehingga asap yang keluar tidak mengganggu lingkungan sekitar. Pembuatan cerobong ini dilakukan hanya dengan memotong pipa baja menggunakan gerinda, dengan ukuran 1 meter dan 2 meter.



Gambar 3.12 Cerobong asap 1 meter dan 2 meter

7. Perakitan

Perakitan ini dilakukan dengan memasang komponen – komponen alat pembakaran yang terdiri dari *casing* dan pintu ruang abu yang terbuat dari besi lembaran.



Gambar 3.13. Alat pembakaran setelah dirakit

3.3.2 Pengambilan Data

Metode yang digunakan untuk pengambilan data dalam penelitian ini adalah observasi eksperimen. Teknik pengumpulan data secara langsung dengan prosedur berencana yang melibatkan kegiatan melihat dan mencatat kegiatan tertentu. Observasi eksperimen yang dilakukan dalam penelitian ini adalah adanya perbedaan tinggi pada cerobong krucut. Penentuan waktu, temperatur maksimum dan berat sisa pembakaran dilakukan pembakaran pada sabut kelapa dengan berat yang berbeda pada alat pembakaran menggunakan cerobong kerucut.

3.4 Alat Pembakaran (*Incinerator*)



Gambar 3.14. Alat Pembakaran (*Incinerator*)

BAB IV ANALISIS DAN PEMBAHASAN

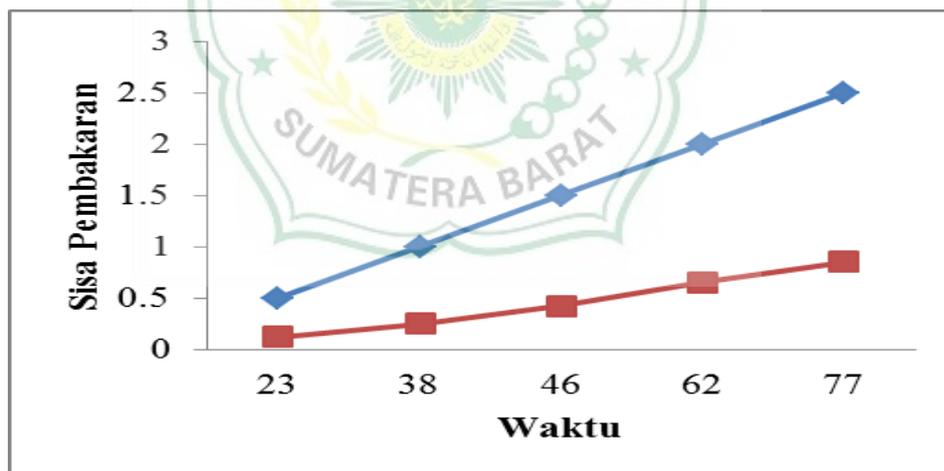
4.1 Data Cerobong Kerucut

4.1.1 Cerobong Kerucut 1 meter

Tabel 4.1 Data waktu dan sisa pembakaran cerobong kerucut 1 meter

No	Waktu (Menit)	Sabut Kelapa (Kg)	Sisa pembakaran (Kg)
1	23	0,5	0,12
2	38	1	0,25
3	46	1,5	0,42
4	62	2	0,65
5	77	2,5	0,85
Total		7	2,29

Adapun grafik dari data cerobong kerucut diatas sebagai berikut.



Gambar 4.1. Grafik hubungan waktu dengan sisa pembakaran cerobong kerucut 1 meter

Berdasarkan grafik 1, pengujian pembakaran menggunakan sabut kelapa dengan berat 0,5, 1, 1,5 , 2 dan 2,5 kg memerlukan waktu 23, 38, 46, 62 dan 77 menit sampai sabut kelapa terbakar habis dan berubah menjadi abu, kemudian abu tersebut ditimbang dan diperoleh berat sebesar 0,12, 0,25, 0,42, 0,65 dan 0,85. Artinya, semakin banyak sabut kelapa dimasukkan kedalam ruang pembakaran

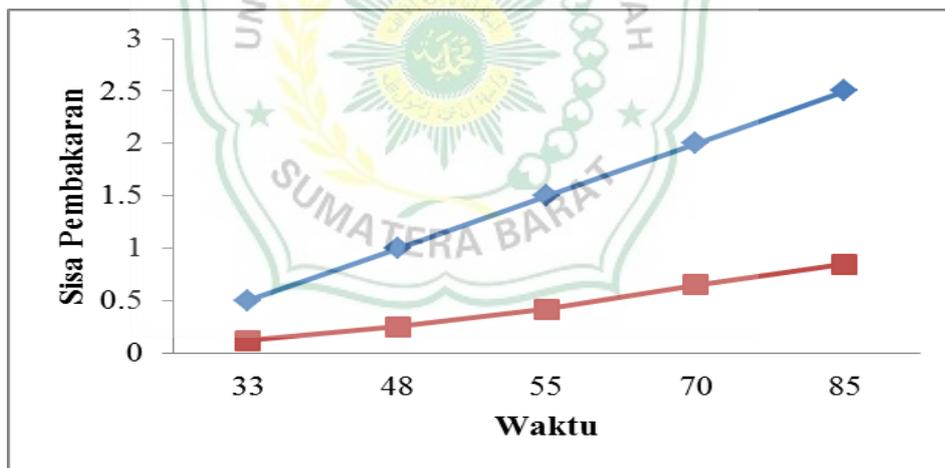
maka waktu yang dibutuhkan untuk pembakaran semakin lama dan berat sisa pembakaran yang dihasilkan semakin besar.

4.1.2 Cerobong Kerucut 2 meter

Tabel 4.2 Data waktu dan sisa pembakaran cerobong kerucut 2 meter

No	Waktu (Menit)	Sabut Kelapa (Kg)	Sisa Pembakaran (Kg)
1	33	0,5	0,12
2	48	1	0,25
3	55	1,5	0,42
4	70	2	0,65
5	85	2,5	0,85
Total		7	2,29

Adapun grafik dari data cerobong kerucut diatas sebagai berikut.



Gambar 4.2. Grafik Hubungan waktu dengan sisa pembakaran cerobong kerucut 2 Meter

Berdasarkan grafik 2, pengujian pembakaran menggunakan sabut kelapa dengan berat 0,5, 1, 1,5 , 2 dan 2,5 kg memerlukan waktu 33, 48, 55, 70 dan 85 menit sampai sabut kelapa terbakar habis dan berubah menjadi abu, kemudian abu tersebut ditimbang dan diperoleh berat sebesar 0,12, 0,25, 0,42, 0,65 dan 0,85. Artinya, semakin banyak sabut kelapa dimasukkan kedalam ruang pembakaran

maka waktu yang dibutuhkan untuk pembakaran semakin lama dan berat sisa pembakaran yang dihasilkan semakin besar.

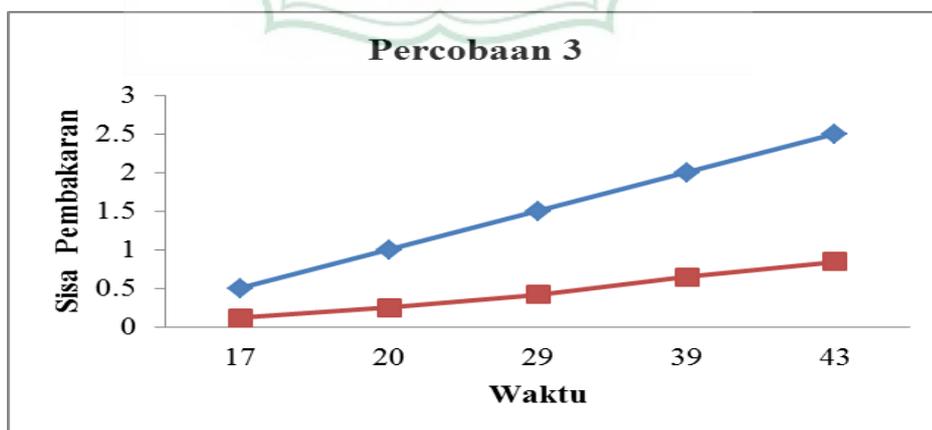
Pada pengujian kedua memiliki waktu lebih lama dibanding pengujian pertama. Hal ini disebabkan, asap yang keluar pada pengujian ini lebih lama sampai ke ketinggian dibandingkan pengujian pertama dan ketiga, sehingga proses pembakaran pada sabut kelapa menjadi lama.

4.1.3 Tanpa Cerobong

Tabel 4.3 Data waktu dan sisa pembakaran tanpa cerobong

No	Waktu (Menit)	Sabut Kelapa (Kg)	Sisa Pembakaran (Kg)
1	17	0,5	0,12
2	20	1	0,25
3	29	1,5	0,42
4	39	2	0,65
5	43	2,5	0,85
Total		7	2,29

Adapun grafik dari data cerobong kerucut diatas sebagai berikut.



Gambar 4.3 Grafik hubungan waktu dengan sisa pembakaran tanpa cerobong

Berdasarkan grafik 3, pengujian pembakaran menggunakan sabut kelapa dengan berat 0,5, 1, 1,5 , 2 dan 2,5 kg memerlukan waktu 17, 20, 29, 39 dan 43

menit sampai sabut kelapa terbakar habis dan berubah menjadi abu, kemudian abu tersebut ditimbang dan diperoleh berat sebesar 0,12, 0,25, 0,42, 0,65 dan 0,85. Artinya, semakin banyak sabut kelapa dimasukkan kedalam ruang pembakaran maka waktu yang dibutuhkan untuk pembakaran semakin lama dan berat sisa pembakaran yang dihasilkan semakin besar.

Pada pengujian ketiga memiliki waktu lebih cepat dibanding pengujian pertama dan kedua. Hal ini disebabkan, asap yang keluar pada pengujian ini lebih cepat sampai ke ketinggian dibandingkan pengujian pertama dan kedua. sehingga proses pembakaran pada sabut kelapa lebih cepat.

4.2 Laju Pembakaran

Laju pembakaran adalah proses pengujian dengan cara membakar sabut kelapa untuk mengetahui lama nyala suatu bahan bakar, kemudian menimbang massa sabut kelapa yang terbakar. Lamanya waktu penyalan dihitung menggunakan *stopwatch* dan massa sabut kelapa ditimbang dengan timbangan duduk.

$$\text{Laju Pembakaran} = \frac{m}{t}$$

Bobot abu = Sisa Pembakaran sabut kelapa (Kg)

Bobot sampah = Berat sabut yang ditimbang (Kg)

4.2.1 Cerobong Kerucut 1 Meter

1. Dik : $m = 0,5 \text{ Kg}$

$t = 23\text{m}$, diubah ke jam = $0,38 \text{ jam}$

Laju pembakaran = m / t

$$= 0,5 \text{ Kg} / 0,3 \text{ jam}$$

$$= 1,631 \text{ Kg} / \text{jam}$$

2. Dik : $m = 1 \text{ Kg}$
 $t = 38 \text{ menit, diubah ke jam} = 0,63 \text{ jam}$

$$\begin{aligned}\text{Laju pembakaran} &= m / t \\ &= 1 \text{ Kg} / 0,63 \text{ jam} \\ &= 1,58 \text{ Kg} / \text{jam}\end{aligned}$$

3. Dik : $m = 1.5 \text{ Kg}$
 $t = 46 \text{ menit, diubah ke jam} = 0,76 \text{ jam}$

$$\begin{aligned}\text{Laju pembakaran} &= m / t \\ &= 1,5 \text{ Kg} / 0,76 \text{ jam} \\ &= 1,97 \text{ Kg} / \text{jam}\end{aligned}$$

4. Dik : $m = 2. \text{Kg}$
 $t = 62 \text{ menit, diubah ke jam} = 1.03 \text{ jam}$

$$\begin{aligned}\text{Laju pembakaran} &= m / t \\ &= 2 \text{ Kg} / 1,03 \text{ jam} \\ &= 1,9 \text{ Kg} / \text{jam}\end{aligned}$$

5. Dik : $m = 2,5 \text{ Kg}$
 $t = 77 \text{ menit, diubah ke jam} = 1,28 \text{ jam}$

$$\begin{aligned}\text{Laju pembakaran} &= m / t \\ &= 2,5 \text{ Kg} / 1.28 \text{ jam} \\ &= 1,95 \text{ Kg} / \text{jam}\end{aligned}$$

4.2.2 Corobong Kerucut 2 meter

1. Dik : $m = 0,5 \text{ Kg}$
 $t = 33 \text{ menit, diubah ke jam} = 0,55 \text{ jam}$

$$\begin{aligned}\text{Laju pembakaran} &= m / t \\ &= 0,5 \text{ Kg} / 0,55 \text{ jam}\end{aligned}$$

$$= 09 \text{ Kg / jam}$$

2. Dik : $m = 1 \text{ Kg}$

$t = 48 \text{ menit, diubah ke jam} = 0,8 \text{ jam}$

Laju pembakaran = m / t

$$= 1 \text{ Kg / } 0,8 \text{ jam}$$

$$= 1,25 \text{ Kg / jam}$$

3. Dik : $m = 1,5 \text{ Kg}$

$t = 55 \text{ menit, diubah ke jam} = 0,91 \text{ jam}$

Laju pembakaran = m / t

$$= 1,5 \text{ Kg / } 0,91 \text{ jam}$$

$$= 1,64 \text{ Kg / jam}$$

4. Dik : $m = 2 \text{ Kg}$

$t = 70 \text{ menit, diubah ke jam} = 1,13 \text{ jam}$

Laju pembakaran = m / t

$$= 2 \text{ Kg / } 1,13 \text{ jam}$$

$$= 1,72 \text{ Kg/jam}$$

5. Dik : $m = 2,5 \text{ Kg}$

$t = 85 \text{ menit, diubah ke jam} = 1,41 \text{ jam}$

Laju pembakaran = m / t

$$= 2,5 \text{ Kg / } 1,41 \text{ jam}$$

$$= 1,77 \text{ Kg / jam}$$

4.2.3 Tanpa Cerobong

1. Dik : $m = 0,5 \text{ Kg}$

$t = 17 \text{ menit, diubah ke jam} = 0,28 \text{ jam}$

Laju pembakaran = m / t

$$= 0,5 \text{ Kg / } 0,28 \text{ jam}$$

$$= 1,78 \text{ Kg / jam}$$

2. Dik : $m = 1 \text{ Kg}$
 $t = 20 \text{ menit, diubah ke jam} = 0,33 \text{ jam}$

$$\begin{aligned}\text{Laju pembakaran} &= m / t \\ &= 1 \text{ Kg} / 0,33 \text{ jam} \\ &= 3,03 \text{ Kg} / \text{jam}\end{aligned}$$

3. Dik : $m = 1,5 \text{ Kg}$
 $t = 25 \text{ menit, diubah ke jam} = 0,41 \text{ jam}$

$$\begin{aligned}\text{Laju pembakaran} &= m / t \\ &= 1,5 \text{ Kg} / 0,41 \text{ jam} \\ &= 3,65 \text{ Kg} / \text{jam}\end{aligned}$$

4. Dik : $m = 2 \text{ Kg}$
 $t = 39 \text{ menit, diubah ke jam} = 0,65 \text{ jam}$

$$\begin{aligned}\text{Laju pembakaran} &= m / t \\ &= 2 \text{ Kg} / 0,65 \text{ jam} \\ &= 3,07 \text{ Kg} / \text{jam}\end{aligned}$$

5. Dik : $m = 2,5 \text{ Kg}$
 $t = 43 \text{ menit, diubah ke jam} = 0,71 \text{ jam}$

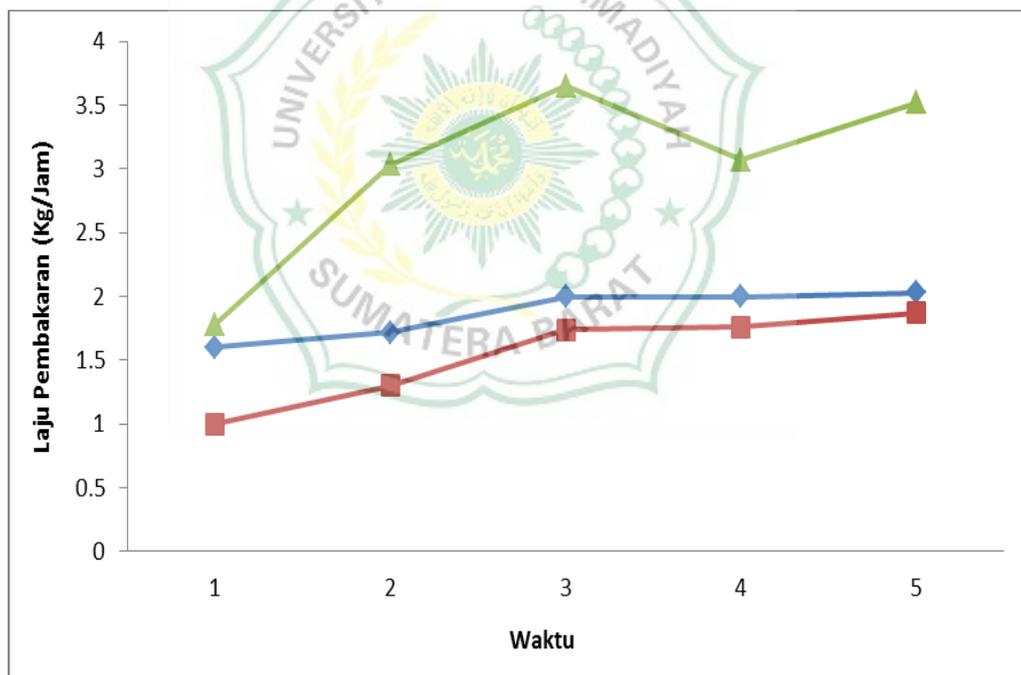
$$\begin{aligned}\text{Laju pembakaran} &= m / t \\ &= 2,5 \text{ Kg} / 0,71 \text{ jam} \\ &= 3,52 \text{ Kg} / \text{jam}\end{aligned}$$

4.2.4 Tabel Laju Pembakaran

Tabel 4.4 Data waktu dan hasil laju pembakaran

No	Waktu (menit)			Laju Pembakaran (Kg/jam)		
	Cerobong Kerucut 1 meter	Cerobong Kerucut 2 meter	Tanpa Cerobong	Cerobong Kerucut1 meter	Cerobong Kerucut 2 meter	Tanpa Cerobong
1	23	33	17	1,31	0,9	1,78
2	38	48	20	1,58	1,25	3,03
3	46	55	25	1,97	1,64	3,65
4	62	70	39	1,94	1,72	3,07
5	77	85	43	1,95	1,77	3,52

Adapun grafik dari data laju pembakaran diatas sebagai berikut.



Gambar 4.4. Grafik hubungan waktu dengan laju pembakaran

Berdasarkan grafik diatas hasil laju pembakaran berbanding terbalik dengan lamanya waktu pembakaran. Penggunaan cerobong kerucut 2 meter menghasilkan laju pembakaran lebih cepat dibandingkan cerobong kerucut 1 meter dan tanpa cerobong sedangkan tanpa menggunakan cerobong menghasilkan waktu lebih

lama, ini disebabkan akibat lamanya waktu yang diperoleh pada saat pengujian menggunakan cerobong kerucut 2 meter.

4.3 Rendaman Abu

$$\text{Rendaman Abu (\%)} = \frac{\text{Bobot Abu}}{\text{Bobot Sampah}} \times 100\%$$

4.3.1 Rendaman Abu Cerobong Kerucut

1. Rendaman Abu (%) = $\frac{0,12 \text{ Kg}}{0,5 \text{ Kg}} \times 100 \% = 24\%$
2. Rendaman Abu (%) = $\frac{0,25 \text{ Kg}}{1 \text{ Kg}} \times 100 \% = 25\%$
3. Rendaman Abu (%) = $\frac{0,42 \text{ Kg}}{1,5 \text{ Kg}} \times 100 \% = 28\%$
4. Rendaman Abu (%) = $\frac{0,65 \text{ Kg}}{2 \text{ Kg}} \times 100 \% = 32,5\%$
5. Rendaman Abu (%) = $\frac{0,85 \text{ Kg}}{2,5 \text{ Kg}} \times 100 \% = 34\%$

Dari perhitungan diatas persentase rendaman abu sangat efektif, dikarenakan bobot abu lebih kecil dari pada bobot sabut, begitu juga sebaliknya jika bobot abu lebih besar dari pada bobot sampah maka persentase rendaman abu kurang efektif dan proses pembakaran kurang sempurna

4.4 Volume Cerobong Asap Kerucut

Cerobong kerucut yang digunakan berbentuk tabung, untuk mencari volume cerobong penulis menggunakan rumus volume tabung.

$$\text{Volume tabung} = \pi \times r \times r \times \text{tinggi}$$

$$R \text{ (radius)} = \text{Jari - jari tabung}$$

$$\pi = 3,14$$

$$T = \text{Tinggi tabung}$$

4.4.1 Cerobong Kerucut 1 meter

a. Volume bagian bawah

$$\text{Dik : } \pi = 3,14$$

$$d = 10,16 \text{ cm}$$

$$T = 1 \text{ m} \longrightarrow 100 \text{ cm}$$

$$\text{Volume tabung} = \pi \times r \times r \times t$$

$$r = d : 2$$

$$= 10,16 : 2 = 5,08 \text{ cm}$$

$$\text{Volume tabung} = 3,14 \times 5,08 \text{ cm} \times 5,08 \text{ cm} \times 100 \text{ cm}$$

$$= 8.103,2 \text{ cm}^3$$

b. Volume bagian atas

$$\text{Dik : } \pi = 3,14$$

$$d = 5,08$$

$$r = 2,54$$

$$T = 1 \text{ m} \longrightarrow 100 \text{ cm}$$

$$\text{Volume tabung} = 3,14 \times 2,54 \times 2,54 \text{ cm} \times 100 \text{ cm}$$

$$= 2.025,8 \text{ cm}^3$$

4.4.2 Cerobong Kerucut 2 meter

a. Volume bagian bawah

$$\text{Dik : } \pi = 3,14$$

$$d = 10,16 \text{ cm}$$

$$T = 2 \text{ m} \longrightarrow 200 \text{ cm}$$

$$\text{Volume tabung} = \pi \times r \times r \times t$$

$$r = d : 2$$

$$= 10,16 : 2 = 5,08 \text{ cm}$$

$$\text{Volume tabung} = 3,14 \times 5,08 \text{ cm} \times 5,08 \text{ cm} \times 200 \text{ cm}$$

$$= 16.206,4 \text{ cm}^3$$

b. Volume bagian atas

$$\text{Dik : } \pi = 3.14$$

$$d = 5,08 \text{ cm}$$

$$r = d : 2$$

$$= 5.08 : 2 = 2,54$$

$$\text{Volume tabung} = 3.14 \times 2,54 \times 2,54 \text{ cm} \times 200 \text{ cm}$$

$$= 4.051,6 \text{ cm}$$

4.5 Volume Keranjang Sampah

Keranjang sampah yang dirancang berbentuk trapesium, maka langkah pertama yang harus dicari luas trapesium.

$$\text{Luas alas trapesium} = \frac{1}{2} \times (ab + cd) \times t$$

$$\text{Dik : } ab = 30 \text{ cm}$$

$$cd = 15 \text{ cm}$$

$$T = 35 \text{ cm}$$

$$\text{Luas alas trapesium} = \frac{1}{2} \times (ab + cd) \times t$$

$$= \frac{1}{2} \times (30 \text{ cm} + 15 \text{ cm}) \times 35 \text{ cm}$$

$$= 787,5 \text{ cm}^2$$

Langkah selanjutnya mencari volume trapesium.

$$\text{Volume trapesium} = L \times t$$

$$= 787,5 \text{ cm}^2 \times 35 \text{ cm}$$

$$= 27.562,5 \text{ cm}^3$$

4.6 Temperatur

Hasil pencatatan temperatur untuk masing – masing ketinggian cerobong diperoleh sebagai berikut.

1. Cerobong kerucut 1 meter

Waktu 5 menit diperoleh temperatur maksimum sebesar 280°C, kemudian temperatur diukur kembali pada waktu 9 menit dan dihasilkan temperatur maksimum sebesar 354 °C.

Perbedaan temperatur diatas disebabkan lamanya waktu pembakaran. Jika waktu pembakaran semakin lama maka temperatur akan meningkat.

2. Cerobong kerucut 2 meter

Waktu 5 menit diperoleh temperatur maksimum sebesar 287°C , kemudian temperatur diukur kembali pada waktu 9 menit dan dihasilkan temperatur maksimum sebesar 378°C .

Perbedaan temperatur diatas disebabkan lamanya waktu pembakaran. Jika waktu pembakaran semakin lama maka temperatur akan meningkat.

4.7 Hasil Dari Pembakaran

Setelah melakukan proses pembakaran didapatkan sisa pembakaran berupa abu yang sudah habis terbakar..

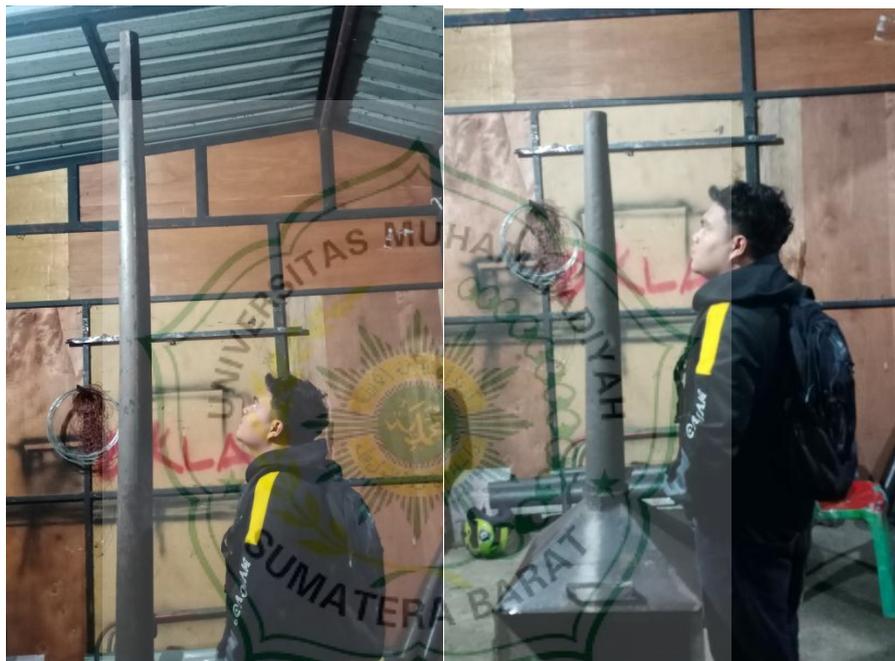


Gambar 4.5. Sisa pembakaran

4.8 Pengamatan Tinggi Cerobong Kerucut

Dalam pengamatan pada ketinggian cerobong kerucut , bahwa tinggi cerobong sangat mempengaruhi terhadap lingkungan sekitar dan sistem pernapasan pada saat pengujian.

Tinggi cerobong kerucut yang penulis gunakan diatas ukuran orang dewasa, jadi cerobong ini tidak mengganggu kenyamanan masyarakat dan sistem pernapasan pada saat pengujian berlangsung.



Gambar 4.6. Pengamatan pada cerobong kerucut

BAB V

KESIMPULAN DAN SARAN

5.1 Kesimpulan

1. Perbedaan tinggi cerobong kerucut sangat mempengaruhi lamanya waktu pembakaran.
2. Penggunaan cerobong kerucut 2 meter menghasilkan waktu lebih lama sedangkan tanpa menggunakan cerobong menghasilkan waktu lebih cepat.
3. Pembakaran menggunakan sabut kelapa memiliki asap lebih tebal dibandingkan sampah pada umumnya.
4. Tinggi cerobong sangat mempengaruhi kenyamanan masyarakat dan sistem pernapasan pada saat proses pembakaran berlangsung.
5. Pada grafik terlihat semakin besar berat timbangan sabut kelapa yang akan di uji maka waktu yang diperoleh semakin lama juga dan sisa pembakaran yang didapatkan semakin banyak.
6. Laju pembakaran pada cerobong kerucut 1 meter, 2 meter dan tanpa cerobong berbanding terbalik dengan waktu yang dihasilkan pada saat proses pembakaran terjadi.
7. Total abu sisa pembakaran yang dihasilkan sama, karena jenis bahan yang digunakan sama
8. Persentase rendaman abu sangat efektif.
9. Berdasarkan uji unjuk kerja terhadap alat yang dirancang diperoleh data bahwa lama waktu pembakaran yang diperoleh dipengaruhi oleh berat sampah dan tinggi cerobong yang digunakan.
10. Semakin lama proses pembakaran maka temperatur yang dihasilkan semakin besar.
11. Dalam pengujian kami mengabaikan tekanan udara sekitar dan kekuatan bahan yang digunakan.

5.2 Saran

Dari hasil pengujian dan untuk kerja alat disarankan beberapa hal sebagai berikut :

1. Disarankan waktu pengujian dilakukan pada malam hari, agar asap yang keluar dari pipa cerobong terlihat jelas.
2. Untuk pengujian alat pembakaran sampah usahakan di tempat terbuka, agar asap yang keluar tidak mengganggu kenyamanan dalam ruangan.
3. Dalam melakukan pengujian usahakan sisa pembakaran yang terkumpul cepat dibuang karna akan memperlambat pengujian selanjutnya.
4. Pilihlah sabut kelapa yang kering agar proses pembakarannya sempurna.



DAFTAR PUSTAKA

Jurnal Teknologi Bahan Alam Vol. 2 No.2, Oktober 2018

<http://repository.ipb.ac.id/handle/123456789/13725>. (2009)

Jurnal Hasil Kajian, inovasi, dan Aplikasi pendidikan Fisika. Volume 6, Nomor 2, November 2020

Abdullah, Mikrajuddin (2016). *Fisika I*. Bandung: Institut Teknologi Bandung.

Dwi Prasetyono, Ardi. *Pengujian Alat Incinerator Untuk Pengolahan Limbah Padat Rumah Sakit Tanpa Menggunakan Bahan Bakar Minyak dan Gas*, Disertasi Teknik Mesin, Universitas Muhammadiyah Yogyakarta

Budhi Martana¹, Sri Sulasminingsih², dan M. Arifudin Lukmana³ *Perencanaan dan Uji Performa Alat Pembakar Sampah Organik* Teknik Mesin, Fakultas Teknik UPN "Veteran" Jakarta¹, Teknik Industri, Fakultas Teknik UPN "Veteran" Jakarta² (2017)

Hidayat Wahyu, *Perancangan Alat Pembakaran Sampah* Teknik Mesin, Fakultas Teknik UMSB. Bukittinggi (2019).

Vol. 3 No.1. http://jurnal.umsb.ac.id/index.php/RANG_TEKNIKJOURNAL. Januari 2020.

Prayetno, Adi (2019-09-13). *Respon Pembicaraan Campuran POC Batang Pisang Dan Sabut Kelapa Serta Pupuk Hijau Paitan (Tithonia Diversifolia) Terhadap Pertumbuhan Dan Produksi Tanaman Kacang Tanah (Arachis Hypogaea L.)*. Universitas Medan Area.

<http://rumusbilangan.com/rumus-trapesium/>.

<http://repository.unimus.ac.id/>.

LAMPIRAN



1. **Pembuatan Rangka Alat Pembakaran (*Incinerator*)**





2. *Finishing*

