

**KONTRIBUSI LIMBAH CANGKANG KAKAO SEBAGAI
SALAH SATU SUMBER ENERGI
PADA PT. MARS INDONESIA**

*Contribution of Cocoa Shell Waste as a Source of Energy
at PT. Mars Indonesia*

DAVID PIRADE



**PROGRAM PASCASARJANA
UNIVERSITAS HASANUDDIN
MAKASSAR
2022**

**KONTRIBUSI LIMBAH CANGKANG KAKAO SEBAGAI
SALAH SATU SUMBER ENERGI
PADA PT. MARS INDONESIA**

Tesis

Sebagai Salah Satu Syarat untuk mencapai Gelar Magister

Program Studi

Pengelolaan Lingkungan Hidup

Disusun dan diajukan oleh

David Pirade

Kepada

**PROGRAM PASCASARJANA
UNIVERSITAS HASANUDDIN
MAKASSAR
2022**

LEMBAR PENGESAHAN TESIS

**KONTRIBUSI LIMBAH CANGKANG KAKAO SEBAGAI SALAH SATU
SUMBER ENERGI PADA PT. MARS INDONESIA**

Disusun dan diajukan oleh

DAVID PIRADE

P032181008

Telah dipertahankan di hadapan Panitia Ujian yang dibentuk dalam rangka
Penyelesaian Studi Program Magister
Program Studi Pengelolaan Lingkungan Hidup
Sekolah Pasca Sarjana Universitas Hasanuddin
Pada tanggal 4 Agustus 2022
Dan dinyatakan telah memenuhi syarat kelulusan

Menyetujui

Pembimbing Utama

Pembimbing Pendamping

Prof. Dr. Ir. Eymal Bahsar Demmallino, M.Si
NIP : 1964 0815 199202 1 001

Ketua Program Studi
Pengelolaan Lingkungan Hidup

Dr. Ir. Muhammad Farid Samawi, M.Si
NIP. 1965 0810 199103 1 006

Prof. Dr. Ir. Hazairin Zubair, MS
NIP : 1954 0828 1983 03 1001

Dekan Sekolah Pasca Sarjana
Universitas Hasanuddin



Prof. Dr. Budu, Ph.D., Sp.M(K), M.MedEd
NIP. 1966 1231 1995 03 1009

PERNYATAAN KEASLIAN TESIS

Yang bertanda tangan di bawah ini

Nama : David Pirade
Nomor Mahasiswa : P032181008
Program Study : Pengelolahan Lingkungan Hidup

Menyatakanh dengan sebenarnya bahwa tesis yang saya tulis ini benar-benar merupakan hasil karya saya sendiri, bukan merupakan pengambilan tulisan atau pikiran orang lain. Apabila di kemudian hari terbukti atau dapat dibuktikan bahwa sebagian atau keseluruhan tesis ini hasil karya orang lain, saya bersedia menerima sanksi atas perbuatan tersebut.

Makassar, 4 Agustus 2022
Yang menyatakan



David Pirade

PRAKATA

Pujian dan syukur saya panjatkan kepada Tuhan Yang Maha Kuasa, karena Anugerah dan kasih setia-Nya yang tidak berkesudahan, tesis ini dapat saya selesaikan dengan baik. Pada kesempatan ini perkenankan saya menyampaikan penghargaan dan terima kasih kepada semua pihak yang telah memberikan motivasi dan dukungan baik secara langsung maupun tidak langsung sehingga tesis ini dapat selesai dengan baik.

Kesempatan ini juga saya ucapkan terima kasih kepada kedua orang tua, Ayah tercinta (Alm) Samuel Pidi Pirade dan Ibunda Christina serta Istri tercinta Emmy Ivone Sopacua dan anakku Gavriel Masokan Putra Pirade, serta segenap keluarga yang selalu memberikan semangat, dukungan dan doa untuk menyelesaikan tesis ini.

Penulis menyadari bahwa tesis ini dapat diselesaikan dengan baik tidak terlepas dari bantuan dan dukungan dari berbagai pihak. Oleh karena itu, melalui kesempatan ini, saya mengucapkan terima kasih yang sebesar-besarnya kepada: Prof. Dr. Ir. Eymal Bahsar Demmallino, M.Si selaku Ketua Penasihat an Bapak Prof. Dr. Ir. Hazairin Zubair, MS Selaku Sekretaris Penasihat Tesis Penulis. Kepada yang terhormat Dewan Penguji yaitu Prof Muhammad Arsyad, SP. M.Si, Ph.D., Dr. Sri Suryani, DEA. dan Dr Andi Santi, S.ST. Pi, M.Si. atas waktu dan perhatian, arahan, motivasi, serta masukan yang sangat berharga demi penyempurnaan Tesis ini di tengah kesibukan masing-masing. Penulis juga mengucapkan terimah kasih kepada :

1. Prof. Dr. Ir. Jamaluddin Jompa, M.Sc. selaku Rektor Universitas Hasanuddin, beserta jajarannya, atas kesempatan yang telah diberikan kepada penulis untuk menjadi bagian dari civitas akademika Universitas Hasanuddin..
2. Prof. dr. Budu, Ph.D.,Sp.M(K),M.MedEd. selaku Dekan Sekolah Pasca Sarjana Universitas Hasanuddin, beserta jajarannya, atas kesempatan yang telah diberikan kepada penulis untuk mengikuti perkuliahan dan menimba ilmu Sekolah Pasca Sarjana Universitas Hasanuddin
3. Dr. Ir. Muhammad Farid Samawi, M.Si Sebagai Ketua Program Studi Pengelolaan Lingkungan Hidup Sekolah Pasca Sarjana Universitas Hasanuddin Makassar.
4. Seluruh Dosen Sekolah Pasca Sarjana Universitas Hasanuddin Makassar yang telah memberikan pengetahuan, nasehat serta motivasi kepada Penulis selama menempuh pendidikan di Sekolah Pasca Sarjana Universitas Hasanuddin.
5. Seluruh Staf dan karyawan Sekolah Pasca Sarjana Universitas Hasanuddin dan Universitas Hasanuddin yang telah memberikan bantuan dan pelayanan selama menempuh perkuliahan di Program Studi Pengelolaan Lingkungan Hidup Sekolah Pasca Sarjana Universitas Hasanuddin.
6. PT. Mars Indonesia yang telah memberkan kesempatan untuk melakukan penelitian dalam rangka penulisan tesis ini.

7. Kepada sahabat serta teman seperjuangan mahasiswa Program Studi Pengelolaan Lingkungan Hidup Sekolah Pasca Sarjana Universitas Hasanuddin atas kebersamaan dan pelajaran hidup yang kita jalani.
8. Serta semua pihak yang telah membantu selama menempuh pendidikan di di Program Studi Pengelolaan Lingkungan Hidup Sekolah Pasca Sarjana Universitas Hasanuddin yang penulis tidak dapat saya sebutkan satu persatu.

Penulis menyadari bahwa tesis ini tidak terlepas dari kekurangan. Oleh karena itu, mohon maaf apabila terdapat kesalahan atau hal-hal yang kurang berkenan dalam tesis ini. Saran dan kritik yang membangun dari pembaca sangat diharapkan. Penulis berharap tesis ini dapat memberikan manfaat bagi semua pembacanya. Akhir kata, semoga Tuhan senantiasa membalas segala kebaikan yang telah diberikan dengan penuh rahmat dan hidayah-Nya.

Makassar, 4 Agustus 2022



David Pirade

ABSTRAK

DAVID PIRADE. Kontribusi Limbah Cangkang Kakao sebagai Salah Satu Sumber Energi pada PT Mars Indonesia (dibimbing oleh Prof. Dr. Ir. Eymal Bahsar Demmallino, M.Si dan Prof. Dr. Ir. Hazairin Zubair, MS).

Penggunaan energi fosil yang berlebihan menyebabkan terjadinya kerusakan lingkungan dan pencemaran udara sehingga diperlukan alternatif sumber energi lain. Cangkang kakao merupakan salah satu alternatif sumber energi baru dan terbarukan dari biomassa yang dapat digunakan karena hampir tidak memiliki dampak terhadap pencemaran lingkungan. Penelitian ini bertujuan menganalisa penggunaan cangkang kakao sebagai sumber energi pada PT Mars Indonesia.

Metode yang digunakan dalam penelitian ini adalah analisa deskriptif kuantitatif yaitu menganalisa energi dan emisi dengan menggunakan sampel dan data *record* kinerja boiler pembakaran cangkang kakao pada sistem boiler.

Hasil penelitian menunjukkan tingkat efisiensi, efektifitas serta nilai ekonomis penggunaan cangkang kakao cukup baik karena pembakaran cangkang kakao langsung dilakukan setelah adanya pemisahan dengan biji. Energi hasil pembakaran cangkang kakao 276,45 kg/jam sebesar 4.146.355,17 kJ/jam atau 1.151,765 kw/jam, sedangkan abu hasil pembakaran sebesar 6,93038% masih dibawah standar SNI 01-6235-2000 yaitu < 8%, emisi hasil pembakaran adalah Partikulat isokinetik 293,063 mg/m³, Sulful dioksia (SO₂) 535 mg/m³, Nitrogen oksida (NO₂) 505 mg/m³, Hidrogen klorida (HCl) 3,0295, Gas klorin (CL₂) 0,0220 mg/m³, Amoniak (NH₃) 0,1660 mg/m³, Hidrogen florida (HF) 0,0195 mg/m³, Opasitas 12%, Sulfur tereduksi (H,S) <0,03, Karbon monoksida (CO) 9622 mg/m³, Laju alir gas 2,64 m³/s.

Kata kunci : Limbah, cangkang kakao, penggunaan kembali

ABSTRACT

DAVID PIRADE. Contribution of Cocoa Shell Waste as a Source of Energy at PT Mars Indonesia (supervised by Prof. Dr. Ir. Eymal Bahsar Demmallino, M.Si and Prof. Dr. Ir. Hazairin Zubair, MS)

Excessive use of fossil energy causes environmental damage and air pollution so that other alternative energy sources are needed. Cocoa shell is an alternative source of new and renewable energy from biomass that can be used because it has almost no impact on environmental pollution. This study aims to analyze the use of cocoa shells as an energy source at PT Mars Indonesia.

The method used in this research is quantitative descriptive analysis, namely analyzing energy and emissions by using samples and data records of the performance of the cocoa shell burning boiler in the boiler system.

The results showed that the level of efficiency, effectiveness and economic value of the use of cocoa shells was quite good because the burning of cocoa shells was carried out immediately after separation from the beans. The energy from the burning of cocoa shells is 276.45 kg/hour of 4,146,355.17 kJ/hour or 1,151.765 kw/hour, while the ash from the combustion of 6.93038% is still below the standard of SNI 01-6235-2000, which is < 8%, emissions from boiler combustion are Particulate Isokinetic 293.063 mg/m³, Sulfur dioxide (SO₂) 535 mg/m³, Nitrogen oxide (NO₂) 505 mg/m³, Hydrogen chloride (HCl) 3.0295, Chlorine gas (CL₂) 0.0220 mg/m³, Ammonia (NH₃) 0.1660 mg/m³, Florida hydrogen (HF) 0.0195 mg/m³, Opacity 12%, Reduced sulfur (H₂S) <0.03, Carbon monoxide (CO) 9,622 mg/m³, Gas flow rate 2.64 m³/s.

Keywords: waste, cocoa shell, reuse

DAFTAR ISI

| | Halaman |
|---------------------------|---------|
| PRAKATA | iv |
| ABSTRAK | vii |
| ABSCTRACT | viii |
| DAFTAR ISI | ix |
| DAFTAR TABEL | xii |
| DAFTAR GAMBAR | xiii |
| DAFTAR LAMPIRAN | xiv |
| DAFTAR SINGKATAN | xv |
| BAB I PENDAHULUAN | 1 |
| A. Latar Belakang Masalah | 1 |
| B. Rumusan Masalah | 3 |
| C. Tujuan Penelitian | 4 |
| D. Kegunaan Penelitian | 4 |
| E. Ruang Lingkup | 4 |
| BAB II TINJAUAN PUSTAKA | 6 |
| A. Kakao | 6 |
| B. Biomassa | 8 |
| B. 1. Pengeringan | 8 |
| B. 2. Devolatilisasi | 9 |
| B. 3. Pembakaran Arang | 10 |
| C. Sistim Boiler | 12 |

| | |
|--|-----------|
| D. Operasi Boiler dan Emisi yang dihasilkan | x |
| D. 1. Operasi Boiler | 14 |
| D. 2. Emisi Hasil Pembakaran | 15 |
| a. Nitrogen Oxides | 15 |
| b. Carbon Monoksida | 15 |
| c. Sulfur Oksida | 15 |
| d. Karbon Dioksida | 16 |
| e. Partikulat | 16 |
| E. Inventori Emisi | 17 |
| E.1. Metode Pengukuran Langsung | 18 |
| E.1.1. Continuous Emission Monitoring (CEMS) | 18 |
| E.1.2. Strack Sampling | 18 |
| E.1.3. Predictive Emission Monitoring (PEM) | 19 |
| E.2. Metode Berbasis Perhitungan | 19 |
| F. Nilai Ekonomi Cocoa shell dan Biomassa Lainnya. | 19 |
| BAB III METODE PENELITIAN | 21 |
| A. Rancangan Penelitian | 21 |
| B. Lokasi dan Waktu Penelitian | 21 |
| C. Teknik Sampling | 22 |
| C.1. Boiler | 22 |
| C.2. Emisi Pembakaran | 24 |
| D. Alat dan Bahan | 25 |
| E. Metode Kerja | 25 |

| | |
|------------------------------------|-----------|
| F Analisa Nilai Ekonomi | 25 |
| G. Diagram Alir Penelitian | xi |
| BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN | 27 |
| A. Analisa Energi Boiler | 27 |
| B. Emisi Hasil Pembakaran | 29 |
| a. Abu Hasil Pembakaran | 29 |
| b. Emisi Cerobong Boiler | 30 |
| c. Analisa Biaya Energi | 32 |
| BAB V KESIMPULAN DAN SARAN | 34 |
| A. Kesimpulan | 34 |
| B. Saran | 35 |
| DAFTAR PUSTAKA | 36 |

DAFTAR TABEL

| Nomor | Halaman |
|---|---------|
| 1. Tebel 1 Analisa Kimia Cangkang kakao | 28 |
| 2. Tebel 2. Data Abu Hasil Pembakaran | 29 |
| 3. Tebel 3. Analisa Emisi Cerobong Boiler | 30 |
| 4. Tebel 4. Perbandingan emisi pembakaran Cangkang kakao dan Cangkang Kelapa Sawit | 31 |
| 5. Tabel 5. Data pengolahan biji, Cangkang kakao dan abu | 32 |

DAFTAR GAMBAR

| Nomor | Halaman |
|---|---------|
| 1. a. Pohon kakao | 7 |
| b. Buah kakao | 7 |
| c. Cangkang Kakao | 7 |
| 2. Siklus Kerja Boiler | 12 |
| 3. Skema Proses Pembakaran dalam Boiler | 13 |
| 4. PT Mars Indonesia Kawasan Kima Makssar | 21 |
| 5. Cara Pengambilan Sampel | 24 |

DAFTAR LAMPIRAN

| No | Halaman |
|---|---------|
| 1. Lampiran 1 Tebal Data Biji yang diprose | 39 |
| 2. Lampiran 2 : Tabel Data cangkang Kakao | 42 |
| 3. Lampiran 3 : Tabel Data Cangkang Kakao yang dibakar | 45 |
| 4. Lampiran 4 : Tabel Data Abu hasil pembakaran | 48 |
| 5. Lampiran 5 : Tabel Rata-rata penggunaan Cangkang Kakao | 51 |
| 6. Lampiran 6 : Tabel Engineering Calculator | 52 |
| 7. Lampiran 7 : Perhitungan Nilai kalori | 57 |

DAFTAR ARTI LAMBANG DAN SINGKATAN

| Lambang/singkatan | Arti dan keterangan |
|-------------------|--|
| CE | koefisien efisiensi emisi dari peralatan yang bersangkutan |
| $E(s)$ | tingkat emisi per tahun dari komponen s, misal emisi CO ₂ per tahun |
| EF(s) | faktor emisi komponen (referensi) |
| E | energi aktivasi, |
| hg | enthalpy uap keluar boiler (kcal/jam), |
| hf | enthalpy air masuk boiler (kcal/jam), |
| hs | Entalpi uap panas lanjut (kJ/kg) |
| hw | Entalpi air umpan boiler (kJ/kg) |
| HHV | Higher Heating Value, J/kg |
| LHV | Low Heating Value bahan bakar (kJ/kg) |
| mv | massa volatile matter, |
| mp | massa partikel bahan bakar, |
| mc | massa char, dan |
| ma | massa abu. |
| ms | kapasitas boiler atau laju aliran steam (kg/jam) |
| mf | Jumlah bahan bakar boiler (kg/jam) |
| Q _{in} | Jumlah kalor hasil pembakaran (kJ/jam) |
| Q _b | Jumlah kalor yang dibutuhkan boiler (kJ/jam) |

| | |
|----------|--|
| Q | Debit kebutuhan bahan bakar (kg/jam), jumlah bahan bakar (kg/jam) |
| R | konstanta gas universal, |
| Sp | Kapasitas produksi Uap (kg/jam) |
| Tp | temperatur partikel briket, |
| η_b | Efisiensi boiler |

BAB I

PENDAHULUAN

A. Latar Belakang Masalah.

Peningkatan populasi manusia akan berdampak pada peningkatan konsumsi dalam kehidupan manusia, yang menyebabkan tingginya kebutuhan yang diperlukan baik yang langsung diperoleh dari alam sekitar tanpa melalui suatu proses pengolahan atau melalui proses pengolahan. Peningkatan konsumsi kebutuhan manusia menyebabkan terjadinya penurunan kuantitas dan kualitas alam yang mempengaruhi kondisi alam sehingga terjadi pencemaran lingkungan.

Salah satu penyumbang terbesar pencemaran lingkungan adalah pemanfaatan dan penggunaan sumber daya alam khususnya fosil bumi untuk aktifitas produksi industri dengan menggunakan batu bara, gas dan minyak bumi sehingga merupakan kontribusi terbesar dari gas rumah kaca (Purwito 2008).

Energi baru dan terbarukan memiliki potensi sangat besar yang berasal dari sumber daya alam dan hampir tidak memiliki dampak terhadap pencemaran lingkungan. Energi terbarukan adalah energi yang dihasilkan dari proses alam yang berkelanjutan, seperti energi yang berasal dari angin, matahari, air, limbah bahan produk makanan dan panas bumi. Energi terbarukan yang memiliki potensi berlimpah adalah biomassa (Akhdiyatul, Radwitya, dan Chandra 2018).

Berdasarkan Statistik Energi Indonesia DESDM, 2004 disebutkan bahwa Indonesia memiliki potensi energi biomassa yang cukup besar mencapai 434.008 GWh. Beberapa jenis limbah biomassa memiliki potensi yang cukup besar seperti limbah kayu, limbah sawit, sampah kota, cangkang sawit, cangkang kakao dan jerami. Salah satu potensi biomassa yang belum tergarap dengan baik adalah limbah cangkang kakao, salah satu penelitian yang pernah dilakukan menggunakan cangkang kakao adalah pembuatan briket arang, hasil penelitian briket arang cangkang kakao menunjukkan nilai kadar air sebesar 6,45 %, kadar abu 1,11 %, uji tekan 10,95 kg/cm², nilai kalor 5.069,59 cal/g. (H Kara 2014 ;KESDM 2006).

Hasil produksi kakao Indonesia merupakan salah satu penyumbang terbesar kakao dunia sehingga pemanfaatan limbah dari kakao perlu dimaksimalkan karena merupakan kekayaan dan memiliki nilai ekonomi tinggi serta memiliki prospek yang cukup menjanjikan di masa yang akan datang, Konversi biomassa khususnya cangkang kakao menjadi bentuk energi dapat dilakukan dengan menggunakan beberapa proses yang berbeda. Secara umum teknologi konversi biomassa menjadi bahan bakar dapat dibedakan menjadi tiga bagian yaitu :

1. Pembakaran langsung merupakan teknologi yang paling sederhana karena pembakaran biomassa langsung dilakukan setelah dilakukan pengeringan dan didensifikasi untuk efisiensi dalam penggunaan.

2. Konversi termokimiawi adalah perlakuan termal yang berfungsi sebagai pemicu terjadinya reaksi kimia untuk menghasilkan bahan bakar.
3. Konversi biokimiawi merupakan konversi yang menggunakan bantuan mikroba untuk menghasilkan bahan bakar.

Penelitian ini dilakukan untuk meneliti penggunaan cangkang kakao sebagai sumber energi yang digunakan secara langsung setelah dilakukan pemisahan dari biji dan disalurkan melalui *batter Line* dan dikumpulkan dalam tanki penampungan kemudian disalurkan kedalam boiler untuk dilakukan pembakaran.

B. Rumusan Masalah

1. Bagaimana kontribusi pembakaran langsung cangkang kakao sebagai sumber energi terhadap kebutuhan energi industri PT. Mars Indonesia.
2. Bagaimana tingkat emisi dari pembakaran langsung cangkang kakao sebagai sumber energi.
3. Bagaimana nilai ekonomis pemanfaatan cangkang kakao sebagai sumber energi.

C. Tujuan Penelitian

1. Menganalisa energi yang dihasilkan dari hasil pembakaran cangkang kakao.
2. Menganalisa emisi yang dihasilkan oleh pemanfaatan cangkang kakao sebagai sumber energi.

3. Menghitung nilai ekonomis pemanfaatan cangkang kakao sebagai sumber energi.

D. Kegunaan Penelitian

1. Mengetahui berapa besar pengaruh energi yang dihasilkan oleh pemanfaatan cangkang kakao terhadap kebutuhan energi yang digunakan dan membandingkan dengan pemanfaatan sumber energi biomassa yang lain.
2. Mengetahui emisi yang dihasilkan oleh pemanfaatan cangkang kakao sebagai sumber energi.
3. Mengetahui nilai ekonomis pemanfaatan cangkang kakao sebagai sumber energi.

E. Ruang Lingkup

1. Ruang lingkup penelitian ini adalah menganalisa kebutuhan energi yang dihasilkan oleh cangkang kakao terhadap kebutuhan energi yang digunakan.
2. Mengidentifikasi dan menganalisa emisi yang dihasilkan pembakaran cangkang kakao.
3. Membandingkan nilai ekonomis pemanfaatan cangkang kakao dengan biomassa yang lain.

BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

A. Kakao.

Kakao merupakan tumbuhan yang berasal dari Amerika Selatan. Biji tumbuhan kakao dapat menghasilkan produk olahan yang dikenal sebagai coklat. Kakao merupakan tumbuhan perennial berbentuk pohon, Pohon kakao di alam bebas dapat tumbuh mencapai ketinggian 8-10 m dan tumbuh pada daerah-daerah yang berada di 10°C LS, dengan curah hujan 1-5 L/mm² per tahun, serta temperatur 18-32°C. (Rubiyo dan Siswanto 2012).

Kakao secara umum adalah tumbuhan menyerbuk silang yang memiliki sistem inkompatibilitas sendiri, bunga yang diserbuki menghasilkan buah ukuran buah berbentuk bulat hingga memanjang serta memiliki ruang tempat adanya biji. Kakao merupakan salah satu komoditas unggulan perkebunan Indonesia yang memberikan kontribusi sumber devisa dari ekspor dengan volume ekspor tahun 2020 mencapai 377.849 ribu ton atau setara USD 1,244 milyar (Badan Pusat Statistik 2020.). Saat ini, Indonesia merupakan salah satu produsen kakao terbesar di dunia dengan produksi tahun 2020 sebesar 720.660 ribu ton. Dari produksi tersebut pada tahun 2020 perkebunan kakao yang ada di Indonesia merupakan perkebunan yang dikelola oleh rakyat sebesar 1,49 juta hektar (98,92 %), perkebunan yang dikelola olah swasta 11,56 ribu hektar (0,77

%) dan perkebunan yang dikelola oleh negara 4,81 ribu hektar (0,32 %) dengan 60 % areal perkebunan kakao Indonesia berada di daerah Sulawesi.



Gambar 1.a Pohon kakao
(sumber : agrotek.com)



Gambar 1.b Buah kakao
(sumber: Briya Freeman.com)



Gambar 1. Cangkang Kakao
(Sumber : shutterstock.com)

Komposisi dari buah kakao adalah kulit buah, plasenta, dan biji. Bagian yang paling besar dari komposisi buah kakao adalah kulit kakao yaitu lebih dari 70 % berat buah masak sedangkan biji yang dimiliki satu buah kakao persentase bijinya adalah sekitar 27-29 %, dan sisanya adalah

plasenta yang menutupi biji kakao. Protein kasar yang terdapat pada kulit biji kakao sebesar 16,60% dan serat kasarnya 25,10 % sedangkan lignin kulit buah kakao mencapai 38,78 %. Kulit buah kakao memiliki tekstur yang kasar, tebal dan keras, yang berfungsi untuk menyelubungi biji kakao. Komposisi buah kakao adalah sebagai berikut 73,73 % kulit buah (cacao pod), 2,0 % placenta dan 24,2 % Biji (Lucia RatnaWinata 2018).

B. Biossa

Biomassa merupakan material biologis, yang berasal dari tumbuhan atau hewan, yang digunakan untuk mengganti material yang berasal dari fosil dan dapat menghasilkan panas atau tenaga (Korhallirer, 2010). Biomassa umumnya memiliki kadar volatile yang tinggi (sekitar 60-80%) dan kadar abu lebih rendah dibandingkan batubara (Akhdiyatul, Radwitya, dan Chandra 2018; Damayanti 2018).

Mekanisme pembakaran biomassa biasanya dilakukan dengan tahapan yaitu:

- a. Pengeringan ,
- b. Devolatilisasi, dan
- c. Pembakaran arang.

B.1. Pengeringan.

Pengeringan merupakan proses penggunaan temperatur tinggi atau radiasi api pada sebuah partikel sehingga air yang terdapat pada bagian dalam partikel akan keluar melalui pori pori dan menghasilkan uap.

B. 2. Devolatilisasi.

Devolatilisasi adalah proses dimana bahan bakar mengalami kondisi yang tidak stabil secara termal setelah pengeringan atau keadaan dimana volatile matter akan keluar dari partikel karena pecahnya ikatan kimia secara termal. Proses devolatilisasi yang terdiri dari gas-gas *combustible* dan *non combustible* serta hidrokarbon menghasilkan *Volatile matter*. Devolatilisasi akan mengalami perpindahan dari pusat partikel ke permukaan jika ukuran partikel lebih besar sehingga menyebabkan terjadinya retakan, embun, membentuk polimer dengan adanya endapan karbon sepanjang lintasan partikel. Ketika *volatile matter* keluar dari pori-pori bahan bakar padat, oksigen luar tidak masuk ke dalam partikel, sehingga proses devolatilisasi dinamakan tahapan pirolisis. Borman dan Ragland (1998) menyatakan laju devolatilisasi bahan bakar padat ditunjukkan dengan pendekatan persamaan reaksi orde pertama dengan konstanta laju Arrhenius:

$$\frac{dm_v}{dt} = -m_v k_{pyr} \quad (1)$$

dengan :

$$k_{pyr} = -k_{o,pyr} e^{-\frac{E_{pyr}}{RT_p}} \quad (2)$$

$$m_p = m_p - m_c - m_a$$

dengan E = energi aktivasi,

R = konstanta gas universal,

T_p = temperatur partikel briket,

pyr = pirolisis,

m_v = massa volatile matter,

m_p = massa partikel bahan bakar,

m_c = massa char, dan

m_a = massa abu.

B. 3. Pembakaran Arang.

Arang adalah merupakan hasil proses pengeringan dan devolatilisasi, Konsentrasi oksigen, temperatur gas, ukuran, bilangan Reynolds, dan porositas arang yang terjadi dalam pembakaran arang sangat mempengaruhi laju pembakaran. Laju pembakaran partikel arang dengan menggunakan laju reaksi global sering pakai dalam bidang keteknikan. Reaksi ini merupakan reaksi massa arang per satuan konsentrasi oksigen diluar lapis batas partikel. Persamaan reaksi global adalah sebagai berikut :



dimana karbondioksida dan uap air bereaksi dengan permukaan karbon, reaksi reduksi tersebut adalah :



Reaksi reduksi (b) dan (c) lebih lambat daripada reaksi oksidasi (a), dan untuk pembakaran biasanya memperhitungkan reaksi (a) daripada reaksi reduksi (b) dan (c) kerana lebih lambat.

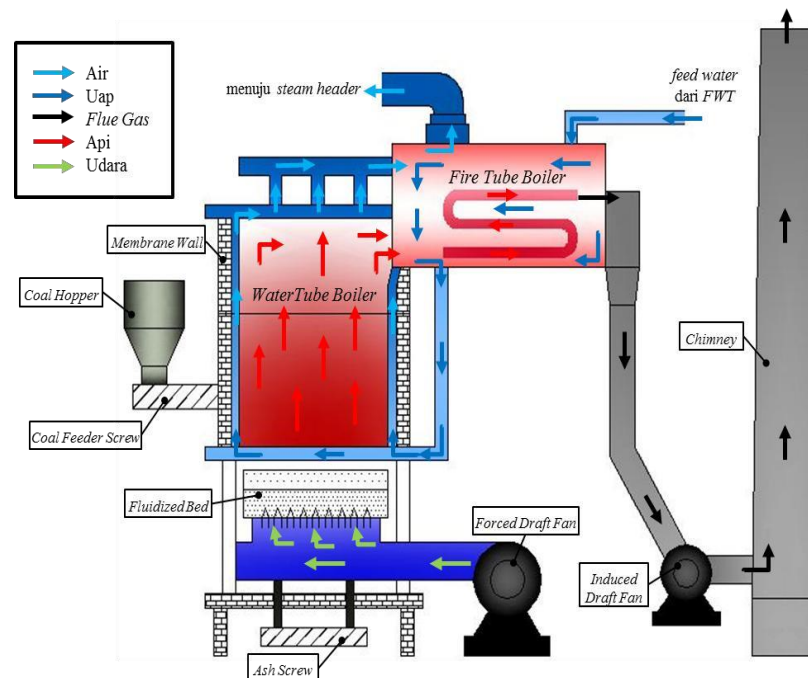
Densitas yang dimiliki oleh biomassa pada umumnya cukup rendah, sehingga dalam penanganannya mengalami kendala. Nilai kalor dan bahan bakar yang dihasilkan biomassa dipengaruhi oleh proses densifikasi. Secara umum densifikasi biomassa mempunyai beberapa keuntungan (Akhdiyatul, Radwitya, dan Chandra 2018 ; Bhattacharya dkk, 1996) antara lain :

1. Nilai kalori per unit volume dapat ditingkatkan.
2. Penyimpanan dan pengangkutan lebih efektif.
3. Ukuran dan kualitas memiliki ukuran yang sama.

Energi biomassa kira-kira $\frac{1}{3}$ dari energi batubara per unit massa dan $\frac{1}{4}$ energi batubara per unit volume. Dengan proses densifikasi maka energi biomassa dapat diubah menjadi masing-masing $\frac{2}{3}$ dan $\frac{3}{4}$. Emisi yang dihasilkan dari hasil pembakaran biomassa pada boiler adalah CO_2 , CO, NO_x , SO_x , dan partikulat (Yuliwati 2009).

C. Sistem Boiler

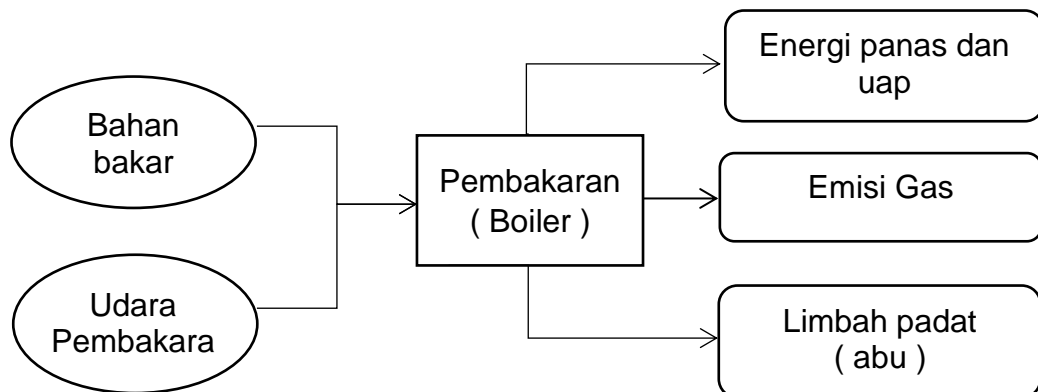
Boiler adalah suatu alat/media yang memiliki bentuk dan ukuran yang didesain untuk menghasilkan uap panas atau steam. Boiler digunakan sebagai tempat melakukan pembakaran bahan bakar yang berguna untuk mengubah air menjadi uap dengan cara pemanasan. Uap atau energi kalor yang dihasilkan boiler dapat digunakan untuk keperluan pada berbagai bidang dalam industri dan lain lain.



Gambar 2. Siklus Kerja Boiler
(Sumber: Docplayer.info)

Prinsip kerja boiler terdiri dari sistem bahan bakar, sistem air umpan dan sistem steam. Sistem air umpan berfungsi untuk menyediakan air ke boiler secara otomatis sesuai kebutuhan steam dan sistem steam mengumpulkan serta mengatur produksi steam dalam boiler. steam yang dihasilkan di salurkan melalui pipa ke titik penggunaan steam. (Boiler 1994; Syarif, Cahyono, dan Hidayat 2019).

Steam yang dihasilkan merupakan hasil pembakaran bahan bakar dan udara didalam ruang bakar boiler sehingga menghasilkan panas yang gunakan untuk memanaskan air yang terletak dalam vessel atau pipa (tergantung tipe boiler).



Gambar 3. Siklus Pembakaran dalam Boiler

Penggunaan biomassa sebagai bahan bakar pada boiler merupakan sumber energi alternatif dan terbarukan untuk pengendalian pemanfaatan energi dari fosil serta dapat mengurangi tingkat emisi, selain itu pemanfaatan energi biomassa dapat meningkatkan produktivitas.

D. Operasi Boiler dan Emisi yang Dihasilkan

D.1. Operasi Boiler

Metode analisis energi merupakan salah satu metode untuk mengetahui kinerja suatu alat. Metode ini mengaplikasikan hukum pertama termodinamika dan cukup efektif dalam penggunaannya karena dapat menggunakan data record harian yang ada. Melalui percobaan Bom Kalorimeter energi bahan bakar padat termasuk bahan bakar biomassa yaitu nilai kalori kotor atau gross calorific value dan nilai kalor atas atau gross higher heating value yang dinyatakan dalam satuan Btu/lb atau kJ/kg dapat diketahui (ASTM D. 2015).

Energi bahan bakar adalah panas yang dilepaskan dari sejumlah pembakaran bahan bakar (massa) yang menghasilkan produk dalam bentuk gas CO₂, SO₂, nitrogen dan air, tidak termasuk air yang menjadi uap (Patabang 2011). Nilai kalor bahan bakar adalah jumlah energi yang dilepaskan saat terjadi oksidasi unsur kimia. Unsur bahan bakar merupakan suatu senyawa yang terdiri dari berbagai unsur antara lain karbon (C), Hidrogen (H), Belerang (S), dan Nitrogen (N). Nilai kalor sangat dipengaruhi oleh kemampuan bahan bakar menghasilkan energi. Komposisi kandungan unsur yang ada dalam bahan bakar sangat menentukan nilai kalor bahan bakar. Ada dua cara penentuan nilai kalor pada bahan bakar yaitu dengan menggunakan Rumus Dulong dan Petit :

- a. Nilai Kalor pembakaran tinggi atau *High Heating Value* (HHV) adalah nilai pembakaran dengan memperhitungkan panas uap air dari proses sebagai panas dari hasil pembakaran dan dirumuskan sebagai berikut:

$$\text{HHV} = 33950C + 144200 (\text{H}_2 - \text{O}_2 / 8) + 9400S \text{ kJ/kg}$$

- b. Nilai kalor pembakaran rendah atau *Low Heating Value* (LHV) adalah nilai pembakaran yang tidak memperhitungkan panas uap air dari proses sebagai panas dari proses pembakaran dan dirumuskan dengan:

$$\text{LHV} = \text{HHV} - 2400 (\text{H}_2\text{O} + 9\text{H}_2) \text{ kJ/kg}$$

D.2. Emisi Hasil Pembakaran

Boiler yang digunakan untuk menghasilkan energi pada industri juga dalam operasionalnya dapat menghasilkan emisi dari hasil

pembakaran yang dapat mengakibatkan adanya pencemaran lingkungan. Emisi hasil pembakaran dari boiler di keluarkan melalui cerobong yang umumnya terdiri dari :

a. Nitrogen oxides (NO_x).

Nitrogen oxides (NO_x) adalah hasil pembakaran, sumber alami, dan emisi dari daratan, yang peranan dalam proses fotokimia menghasilkan ozon (O₃) di lapisan troposfer. Deposisi NO_x dalam jumlah yang berlebihan berpengaruh pada total nitrogen di dalam ekosistem (Jahiding et al. 2021; Sugiarto, Herawati, dan Riyanti 2019; Yadav dan Devi 2019).

b. Carbon monoksida (CO).

Carbon monoksida (CO) adalah merupakan hasil pembakaran yang banyak mengandung bahan bakar, emisi CO akan tinggi apabila oksigen tidak cukup untuk mencapai pembakaran sempurna atau dengan kata lain karbon monoksida dihasilkan dari pembakaran tak sempurna.

c. Sulfur oksida (SO_x)

Sulfur oksida (SO_x) merupakan dua komponen sulfur berupa gas yang tidak berwarna, yaitu Sulfur trioksida (SO₃) dan sulfur dioksida (SO₂). Jumlah SO₃ memiliki variasi 1% sampai 10% dari total SO_x. Hasil kegiatan manusia seperti pembakaran minyak, gas, pembakaran arang dan sebagainya menghasilkan jumlah sulfur yang diperkirakan 1/3 ada di atmosfer dan kebanyakan dalam bentuk SO₂, dan sumber lain yang diperkirakan 2/3 berasal dari sumber alam seperti vulkano dan oksida.

d. Karbon dioksida (CO₂)

Sulfur oksida (SO_x) merupakan hasil pembakaran bahan bakar yang memiliki 99% kandungan karbon yang diubah menjadi CO₂ selama proses pembakaran. CO₂ merupakan elemen utama gas rumah kaca yang dapat menyebabkan terjadinya pemanasan global. Tingkat emisi CO₂ yang dilepaskan sangat dipengaruhi oleh proses pembakaran dan jenis bahan bakar yang digunakan. Dalam jumlah yang tidak terlalu besar dibandingkan CO₂ yang dilepaskan, pembentukan emisi CO dapat mengurangi emisi CO₂.

e. Partikulat

Partikulat adalah merupakan bentuk dari cairan atau padatan yang memiliki ukuran molekul tunggal yang lebih besar dari 0.002 µm tetapi lebih kecil dari 500 µm yang tersuspensi di atmosfer pada kondisi normal. Partikulat merupakan jenis pencemar yang memiliki sifat primer ataupun sekunder tergantung dari aerosolnya yang berupa debu, asap dan uap dan tinggal di atmosfer dalam waktu yang lama.

Ukuran partikulat memiliki sifat kimia yang berbeda beda, tetapi secara fisik ukuran partikulat berkisar antara 0,0002 – 500 mikron. Partikulat dalam bentuk yang tersuspensi di udara berada beberapa detik sampai beberapa bulan yang dipengaruhi oleh kecepatan pengendapan dari ukuran dan densitas partikulat serta aliran (turbulensi) udara. meningkatkan kecepatan pengendapan akan terjadi apabila ada kenaikan diameter(Sugiarto, Herawati, dan Riyanti 2019).

Emisi partikulat dan abu yang relatif tinggi dihasilkan dari pembakaran minyak dan batu bara. Partikel yang dihasilkan dari hasil pembakaran adalah silika (SiO_2), karbon (C), alumina (Al_2O_3), dan besi oksida (FeO and Fe_2O_3). Pada umumnya, emisi partikulat sangat dipengaruhi oleh pembakaran yang dilakukan dan bahan bakar yang digunakan (Setyono, Himawan, dan Nancy 2020).

E. Inventori Emisi

Inventori emisi adalah kegiatan yang dilakukan untuk mengambil data emisi dari sumber pada suatu lokasi dalam satu periode tertentu. Jumlah emisi yang dihasilkan dari kegiatan industri biasanya dipengaruhi oleh jenis kegiatan, jenis sumber emisi, sistem pengolahan yang terintegrasi, jumlah dan kapasitas alat, umur peralatan, ukuran, kondisi ambient dan lain-lain.

Sesuai dengan standar baku mutu emisi sumber tidak bergerak, pengambilan data emisi pembakaran di boiler, menggunakan metode perkiraan emisi yang tepat dan sesuai. Metode perkiraan emisi yang tepat ditentukan oleh Instrumen yang digunakan, data pendukung, sumber daya dan tingkat akurasi peralatan yang digunakan untuk mengestimasi (Madejski dan Žymetka 2020 ; NPI, 2011). Secara umum, ada beberapa cara memperkirakan emisi yang dihasilkan boiler antara lain :

E.1. Metode Pengukuran Langsung.

Pengambilan sampling emisi pada cerobong gas buang dapat dilaksanakan di beberapa titik pemantauan, pada cerobong gas buang, data hasil pengukuran emisi boiler ditentukan dalam satuan massa persatuan waktu (kg/jam) atau konsentrasi (gram/m^3). Hasil yang maksimal dalam melakukan pengukuran estimasi beban atau laju emisi dilakukan dengan beberapa cara :

E.1.1. Continuous Emission Monitoring System (CEMS)

Emisi hasil dari peralatan dalam periode waktu tertentu di rekam secara kontinyu oleh system, data yang dihasilkan pada umumnya merupakan data konsentrasi polutan. Data konsentrasi polutan merupakan perkalian dengan laju alir volumetrik gas atau liquid. Metode ini tidak terlalu tepat untuk konsentrasi polutan yang rendah sebab memiliki tingkat akurasi rendah. (Dinh dan Kim 2021).

E.1.2. Stack sampling

Gas buangan yang diambil langsung dari titik pemantauan dengan menggunakan probe-probe yang dimasukkan kedalam cerobong dengan beberapa titik pengambilan sesuai karakteristik yang akan dianalisa. Metode yang digunakan untuk menganalisa gas buangan ini adalah metode pengukuran stack sampling.

Konsentrasi polutan adalah menghitung pembagian jumlah polutan dengan volume sampel selama periode pengujian sedangkan

laju emisi diperoleh dengan mengalikan laju alir volumetrik gas buang dari cerobong dalam satuan kg/jam dengan konsentrasi polutan.

E.1.3. Predictive Emission Monitoring (PEM)

Metode PEM digunakan untuk menentukan emisi gas buangan dengan menghubungkan laju emisi polutan dan parameter yang lain untuk dilakukan perhitungan melalui suatu alat monitor hibrid, emisi yang dihasilkan, dapat diperkirakan menggunakan parameter pengolahan data awal dengan menggunakan factor emisi dan pengujian sampel yang dihasilkan. (Botros, Makwana, dan Siarkowski 2011).

E. 2. Metode Berbasis Perhitungan

Analisa bahan bakar adalah perhitungan yang dilakukan dengan menggunakan data bahan bakar untuk memperkirakan emisi dengan menggunakan hukum konservasi massa.

F. Nilai Ekonomi Cangkang Kakao

Setiap pemanfaatan biomassa sebagai sumber energi yang digunakan pada boiler memiliki nilai ekonomi yang dapat dikaji untuk mengetahui perbandingan besarnya biaya bahan bakar, kalori bahan bakar, banyaknya bahan bakar dan biaya yang dikeluarkan dari masing-masing biomassa yang dimanfaatkan sebagai bahan bakar. Pemanfaatan biomassa sebagai sumber energi dapat berpengaruh terhadap panas/kalor yang dihasilkan oleh boiler, oleh karena itu kebutuhan kalori boiler dihitung dengan pendekatan teoritis agar dapat mengetahui jumlah

kebutuhan bahan bakar per satuan waktu. Biaya pembelian bahan bakar biomassa akan berpengaruh terhadap hasil perhitungan ekonomis, dimana akan dibandingkan biaya pembangkitan energi dalam satuan waktu tertentu pada jenis jenis bahan bakar yang digunakan.

Penelitian ini diharapkan memberikan inspirasi dan penguatan secara teknis serta ekonomis sehingga selain cangkang kakao, dapat juga memanfaatkan biomassa yang lain sebagai sumber energi.