

SKRIPSI

**EFEK VARIASI TEMPERATUR TOREFAKSI TERHADAP NILAI
KALOR SAMPAH PADAT PERKOTAAN (*MUNICIPAL SOLID
WASTE*)**



OLEH :

FIRMANSYAH AMIN

D021171314

DEPARTEMEN TEKNIK MESIN

FAKULTAS TEKNIK

UNIVERSITAS HASANUDDIN

GOWA

2023

SKRIPSI

**EFEK VARIASI TEMPERATUR TOREFAKSI TERHADAP NILAI
KALOR SAMPAH PADAT PERKOTAAN (*MUNICIPAL SOLID
WASTE*)**

OLEH :

FIRMANSYAH AMIN

D021171314

Merupakan salah satu syarat untuk memperoleh gelar Sarjana Teknik pada
Departemen Teknik Mesin Fakultas Teknik Universitas Hasanuddin

**DEPARTEMEN TEKNIK MESIN
FAKULTAS TEKNIK
UNIVERSITAS HASANUDDIN
GOWA
2023**

LEMBAR PENGESAHAN

Tugas akhir ini diajukan untuk memenuhi salah satu persyaratan mengikuti Ujian Akhir guna memperoleh gelar Sarjana Teknik pada Departemen Teknik Mesin Fakultas Teknik Universitas Hasanuddin

JUDUL:

EFEK VARIASI TEMPERATUR TOREFAKSI TERHADAP NILAI KALOR SAMPAH PADAT PERKOTAAN (MUNICIPAL SOLID WASTE)

FIRMANSYAH AMIN

D021 17 1314

Telah diperiksa dan disetujui oleh:

Dosen Pembimbing I

Dosen Pembimbing II

Dr. Ir. Nasruddin Azis, M.Si

Prof. Dr. Eng. Andi Erwin Eka Putra, S.T M.T

NIP. 19611017 198503 1 004

NIP. 19711221 199802 1 001

Mengetahui,
Ketua Departemen Teknik Mesin
Fakultas Teknik Universitas Hasanuddin

Prof. Dr. Eng. Jalaluddin, ST., MT.

NIP. 19720825 200003 1 001



PERNYATAAN KEASLIAN

Yang bertanda tangan dibawah ini:

Nama : Firmansyah Amin
NIM : D021171314
Program Studi : Teknik Mesin
Jenjang : S-1

Menyatakan dengan ini bahwa karya tulis saya berjudul

EFEK VARIASI TEMPERATUR TOREFAKSI TERHADAP NILAI KALOR SAMPAH PADAT PERKOTAAN (*MUNICIPAL SOLID WASTE*)

Adalah karya tulisan saya sendiri dan bukan merupakan bukan pengambilan alihan tulisan orang lain bahwa skripsi yang saya tulis ini benar-benar merupakan hasil karya sendiri.

Apabila dikemudian hari terbukti atau dapat dibuktikan bahwa sebagian atau keseluruhan skripsi ini hasil karya orang lain, maka saya bersedia menerima sanksi atas perbuatan tersebut.

Gowa, 15 Januari 2023
Yang membuat pernyataan,



Firmansyah Amin

KATA PENGANTAR

Puji dan syukur kita panjatkan ke hadirat Tuhan Yang Maha Esar, karena atas tuntunan dan penyertaan-Nya dalam penyusunan tugas akhir ini sehingga Penulis dapat menyelesaikan dengan baik. Tugas akhir ini merupakan salah satu syarat untuk menyelesaikan studi di Departemen Teknik Mesin Fakultas Teknik Universitas Hasanuddin. Meskipun banyak hambatan dan tantangan yang Penulis alami selama penyusunan tugas akhir ini, namun berkat bantuan dan kerja sama berbagai pihak, akhirnya Penulis dapat mengatasi hambatan dan tantangan tersebut. Untuk semua itu, pada kesempatan ini Penulis dengan tulus mengucapkan terima kasih yang sebesar-besarnya kepada:

1. Ibunda Alm Hj.Saleha Temmu dan Ayahanda Amin Bada serta saudara-saudari penulis: Rismayanti Amin, Astuti Amin, Abdul Gafur Amin, Adyatma Amin dan Nurfadillah Amin atas segala bantuan, bimbingan dan motivasi serta doa restu yang diberikan kepada penulis selama penyusunan skripsi.
2. Bapak Dr. Ir. Nasruddin Azis, M.Si dan Bapak Prof. Dr. Eng. Andi Erwin Eka Putra, ST. MT sebagai Pembimbing I dan Pembimbing II yang telah meluangkan waktu untuk memberikan bimbingan, petunjuk dan saran selama Penulis menyelesaikan tugas akhir ini.
3. Bapak Dr. Eng. Andi Amijoyo Mochtar, ST. M.Sc dan Bapak Asriadi Sakka, ST. M.Eng selaku dosen penguji yang telah meluangkan waktu memberikan bimbingan, petunjuk dan saran sehingga Penulis dapat menyelesaikan tugasakhir ini.
4. Bapak Dr. Eng. Jalaluddin, ST., MT sebagai Ketua Departemen Teknik Mesin Fakultas Teknik Universitas Hasanuddin beserta Staff Departemen Teknik Mesin Fakultas Teknik Universitas Hasanuddin atas segala bantuan dan kemudahan yang diberikan.
5. Bapak dan Ibu Dosen pengajar Departemen Teknik Mesin Fakultas Teknik Universitas Hasanuddin atas segala ilmu yang telah diberikan.

6. Saudara seperjuangan ZYNCROMEZH 2017 yang telah banyak membantu penulis dalam penyelesaian tugas akhir ini.
7. Pengurus HMM FT-UH Periode 2019/2020 atas pengalaman dan kisahnya selama kepengurusan.
8. Saudara seperjuangan TEKNIK 2017 serta Pengurus Kabinet Perjuangan OKFT-UH Periode 2020/2021 atas pengalaman dan kisah berkesannya.
9. Kanda senior dan Adik-adik di HMM FT-UH yang telah memberi pengalaman yang berkesan untuk penulis.

ABSTRACT

Firmansyah Amin, *Effect of torrefaction temperature variations on the calorific value of municipal solid waste* (supervised by Dr. Ir. Nasruddin Azis, M. Si and Prof. Dr. Eng. Andi Erwin Eka Putra, S. T M. T)

This research was conducted at the Faculty of Engineering, Hasanuddin University, Jalan Poros Malino Km. 6, Bontomarannu, Gowa, South Sulawesi. The aims of the study were to determine the effect of temperature on the calorific value of urban solid waste and to determine the effect of heating by the torrefaction method on urban solid waste to be used as fuel. In this study, the object of research was the selected raw material as 500 Gr of sorted urban solid waste. We got this waste from the Antang TPA, Makassar, South Sulawesi. The method used in this study is the experimental method, which is a method used in several experiments to test the effect of temperature variations on the product to be produced. Then tested to know the characteristics of the resulting product. The first is to prepare urban solid waste samples before torrefaction. We gave the sample heating using the torrefaction method. Then the calorific value analysis was performed using a bomb calorie meter and proximate testing. The results show that there is a relationship between temperature and the calorific value of urban waste, which is directly proportional, where the higher the torrefaction temperature, the more char is formed, and the Char produced has the potential to be used as fuel.

Keywords: Solid waste, temperature, calorific value, torrefaction, proximate, char.

ABSTRAK

Firmansyah Amin, *Efek variasi temperatur torefaksi terhadap nilai kalor sampah padat perkotaan (Municipal solid waste)* (dibimbing oleh Dr. Ir. Nasruddin Azis, M.Si dan Prof. Dr. Eng. Andi Erwin Eka Putra, S.T M.T)

Penelitian ini dilaksanakan di Fakultas Teknik Universitas Hasanuddin, Jalan Poros Malino Km. 6, Bontomarannu, Gowa, Sulawesi Selatan. Penelitian bertujuan untuk mengetahui pengaruh temperatur terhadap nilai kalor pada sampah padat perkotaan dan untuk mengetahui pengaruh pemanasan dengan metode torefaksi terhadap sampah padat perkotaan untuk dijadikan bahan bakar. Dalam penelitian ini objek penelitian berupa bahan baku yang dipilih berupa sampah padat perkotaan yang telah dipilah-pilah sebanyak 500 gr. Sampah ini diperoleh dari TPA Antang, Makassar, Sulawesi Selatan. Metode yang digunakan dalam penelitian ini adalah metode eksperimental yaitu suatu metode yang digunakan dengan beberapa kali percobaan untuk menguji pengaruh variasi temperatur terhadap produk yang akan dihasilkan. Kemudian diuji untuk diketahui karakteristik produk yang dihasilkan. Pertama dilakukan persiapan sampel sampah padat perkotaan sebelum torefaksi. Selanjutnya sampel diberikan pemanasan menggunakan metode torefaksi. Kemudian dilakukan analisis nilai kalor menggunakan bomb kalori meter dan pengujian proksimat. Hasil penelitian ini menunjukkan bahwa terdapat hubungan antara temperature dengan nilai kalor sampah perkotaan yaitu berbanding lurus, dimana Semakin tinggi temperatur torefaksi, semakin banyak arang yang terbentuk, serta arang yang dihasilkan berpotensi untuk di jadikan bahan bakar.

Kata Kunci : Sampah padat, temperatur, nilai kalor, torefaksi, proksimat, arang.

DAFTAR ISI

SAMPUL.....	i
LEMBAR PENGESAHAN.....	iii
PERNYATAAN KEASLIAN.....	iv
KATA PENGANTAR	v
ABSTRACT	vii
ABSTRAK	viii
DAFTAR ISI.....	ix
DAFTAR GAMBAR	xii
DAFTAR TABEL.....	xiv
BAB I PENDAHULUAN	1
1.1 Latar Belakang.....	1
1.2 Rumusan Masalah	2
1.3 Tujuan Penelitian.....	2
1.4 Batasan Masalah.....	3
1.5 Manfaat Penelitian.....	3
BAB II TINJAUAN PUSTAKA.....	4
2.1 Nilai Kalor	4
2.1.1 Panas Pembakaran (<i>Heating Value</i>).....	4
2.1.2 Pengeringan.....	7
2.1.3 Kadar Air.....	9
2.1.4 <i>Bomb Calorimeter</i>	10
2.2 Torefaksi.....	13
2.2.1 Parameter-parameter Torefaksi.....	14

2.3	Reaktor Torefaksi	15
2.3.1	Reaktor tipe <i>fixed bed</i> ,.....	15
2.3.2	Reaktor tipe fluidized bed	16
2.3.3	Reaktor tipe rotary kiln	17
2.3.4	Reaktor tipe tubular.....	17
2.3.5	Reaktor Counter-Flow Multi Baffle (COMB)	18
2.4	Sampah Padat Perkotaan (Municipal Solid Waste).....	19
2.4.1	Faktor yang mempengaruhi jumlah sampah	22
2.5	Bahan Bakar Alternatif Lainnya.....	23
2.5.1	Briket.....	23
2.5.2	Batu Bara.....	24
2.5.3	Sekam Padi.....	24
2.6	Analisis Proksimat.....	25
2.6.1	Kadar Air.....	25
2.6.2	Kadar Abu	26
2.6.3	<i>Volatile Matter</i>	26
2.6.4	<i>Fixed Carbon</i>	27
BAB III METODE PENELITIAN.....		28
3.1	Waktu dan Tempat	28
3.2	Alat dan Bahan	28
3.2.1	Alat Penelitian.....	28
3.2.2	Bahan Penelitian.....	31
3.3	Variasi Penelitian.....	32
3.4	Metode Pengambilan Data	32
3.5	Diagram Alir Penelitian.....	34

BAB IV PEMBAHASAN.....	35
4.1 Hasil Analisis Produksi Torefaksi.....	35
4.2 Pengaruh Temperatur Torefaksi Terhadap Nilai Kalor.....	38
4.3 Hasil Analisis Pengujian Proksimat	40
4.4 Perbandingan Bahan Bakar Terhadap Nilai Kalor Sampah Perkotaan ..	41
BAB V PENUTUP.....	43
5.1 KESIMPULAN	43
5.2 SARAN.....	43
DAFTAR PUSTAKA	44
DOKUMENTASI	46

DAFTAR GAMBAR

Gambar 2. 1 Heating Value Bahan Bakar	5
Gambar 2. 2 Kurva Laju Pengeringan	7
Gambar 2. 3 Contoh Pengeringan Buatan	9
Gambar 2. 4 Pengaruh kandungan air terhadap nilai kalor sampah	10
Gambar 2. 5 Bom calorimeter	12
Gambar 2. 6 Sketsa reaktor <i>fixed bed</i>	16
Gambar 2. 7 Sketsa reaktor fluidized bed.....	16
Gambar 2. 8 Sketsa reaktor rotary kiln.....	17
Gambar 2. 9 Sketsa reaktor tubular.	18
Gambar 2. 10 Bagian-bagian reaktor <i>Counter Flow Multi Baffle</i> (COMB).....	19
Gambar 2. 11 Sampah Plastik.....	20
Gambar 2. 12 Sampah Kain.....	21
Gambar 2. 13 Sampah Kayu.....	22
Gambar 2. 14 Sampah Kompos.....	22
Gambar 2. 15 Briket	23
Gambar 2. 16 Batu Bara	24
Gambar 2. 17 Sekam Padi	25
Gambar 3. 1 Tabung Reaktor	28
Gambar 3. 2 Bom kalorimeter	29
Gambar 3. 3 <i>Crusher</i>	29
Gambar 3. 4 Ayakan.....	30
Gambar 3. 5 <i>Timer</i>	30
Gambar 3. 6 Timbangan Digital skala 10 Kg.....	30
Gambar 3. 7 Timbangan Digital skala 1 Kg.....	31
Gambar 3. 8 Sampah padat perkotaan.....	31
Gambar 4. 1 (a) Kondisi sampel sebelum pemanasan (b) Kondisi sampel setelah pemanasan	36
Gambar 4. 2 Kondisi sampel setelah proses crushing	37
Gambar 4. 3 Kondisi sampel setelah pengayakan	37

Gambar 4. 4 (a) Kondisi sampel sebelum perlakuan bomb calorimeter (b) Kondisi sampel setelah perlakuan bomb calorimeter.....	37
Gambar 4. 5 Pengaruh Temperatur Torefaksi Terhadap Nilai Kalor.....	38
Gambar 4. 6 Pengaruh Temperatur Torefaksi dan Temperatur Pirolisis Terhadap Nilai Kalor.....	39
Gambar 4. 7 Hasil Analisis Proksimat.....	40
Gambar 4. 8 Perbandingan Nilai Kalor Bahan Bakar	41

DAFTAR TABEL

Tabel 2. 1 Kelebihan dan Kelemahan Pengeringan Alami.....	8
--	---

BAB I

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Pertumbuhan sebuah kota selalu diikuti oleh beban yang harus diterima oleh kota tersebut, salah satunya adalah beban sampah yang ditimbulkan oleh masyarakat perkotaan secara kolektif. Meningkatnya infrastruktur pembangunan dan berbagai fasilitas umum akan berdampak pada meningkatnya laju timbulan sampah. Begitu pula yang terjadi di Indonesia, peningkatan populasi dan aktivitas wilayah perkotaan akan meningkatkan pula potensi sampah yang dihasilkan. Tentunya ini menjadi masalah yang besar yang harus di hadapi oleh dunia industri dalam mengatasi permasalahan tersebut (Raharjo , 2015).

Sampah adalah komponen heterogen dengan kandungan air dan densitas energi yang rendah. Selama ini, sampah dikenal sebagai salah satu sumber masalah khususnya di kota-kota besar di Indonesia, padahal sampah memiliki potensi sebagai sumber bahan bakar alternatif yang potensial untuk dikembangkan. Untuk dapat melakukan pengolahan dan pemanfaatan sampah yang lebih efektif, diperlukan sebuah sistem pengolahan kontinu dengan skala industri yang diharapkan dapat mengurangi sampah serta mampu mengkonversinya menjadi bahan bakar dengan laju produksi yang lebih tinggi. Sampah mempunyai potensi untuk menjadi bahan bakar yang lebih ramah lingkungan dan memiliki nilai kalor tinggi yaitu melalui proses *bio-drying* lalu dilanjutkan dengan proses densifikasi. Adanya energi panas ini dapat dilakukan salah satunya dengan menggunakan alat bom kalorimeter (Amrul,2019).

Kalor yang dimiliki oleh sampah dari proses pemanasan dapat menghasilkan berbagai macam energi. Menurut Wiradarma (2002) dalam sampah dapat digunakan sebagai energi panas maka akan mampu menghasilkan energi listrik sebesar 3,25MW. Energi panas yang dimaksud diperoleh dari hasil kalkulasi nilai kalor yang merupakan hasil kali antara kalor spesifik dengan komposisi sampah. Menurut Enri (2005) dalam

Budiman, 2005) menyatakan untuk mendapatkan energi maka sampah harus mempunyai kalor atau nilai panas yang tinggi. Kalor tinggi itu berasal dari sampah kertas dan plastik. sampah plastik mempunyai nilai kalor sekitar 6.000 kalori. Sementara itu kertas memiliki nilai kalor 4.000 - 5.000 kalori. Sedangkan sampah lainnya seperti daun hanya 500 kalori. Nilai panas dan jenis sampah dapat mempengaruhi nilai kalor yang dihasilkan.

Proses pengolahan secara termokimia untuk bahan baku sampah yang mengandung karbon seperti biomassa merupakan Torrefaksi dengan temperatur atmosfer sebesar 200-280 C yang menjadi sumber energi terbarukan dengan nilai kalor tinggi. Oleh karena itu penulis akan melakukan penelitian dengan judul **“EFEK VARIASI TEMPERATUR TOREFAKSI TERHADAP NILAI KALOR SAMPAH PADAT PERKOTAAN (MUNICIPAL SOLID WASTE)”**.

1.2 Rumusan Masalah

Adapun rumusan masalah berdasarkan latar belakang di atas ialah sebagai berikut:

1. Bagaimana pengaruh temperatur terhadap nilai kalor pada Sampah Padat Perkotaan?
2. Bagaimana pengaruh pemanasan dengan metode torrefaksi terhadap sampah padat perkotaan untuk dijadikan bahan bakar?

1.3 Tujuan Penelitian

Berdasarkan permasalahan diatas, terdapat pula tujuan dalam penelitian ini, yakni;

1. Untuk mengetahui pengaruh temperatur terhadap nilai kalor pada sampah padat perkotaan.
2. Untuk mengetahui pengaruh pemanasan dengan metode torrefaksi terhadap sampah padat perkotaan untuk dijadikan bahan bakar.

1.4 Batasan Masalah

Batasan masalah yang diangkat di antaranya sebagai berikut :

1. Bahan baku yang digunakan adalah sampah padat perkotaan (*municipal solid waste*).
2. Berat sampel yang digunakan sebanyak 500 gram.
3. Temperatur yang digunakan 100 °C, 150 °C, 200 °C, dan 250 °C.
4. Waktu pemanasan 3 jam.
5. Pengujian dilakukan pada alat tabung reaktor dan *bombcalorimeter*

1.5 Manfaat Penelitian

Adapun manfaat yang dapat diperoleh dari penelitian ini adalah sebagai berikut:

1. Dapat mengetahui dan memahami pengaruh nilai kalor terhadap sampah padat perkotaan.
2. Sebagai acuan penelitian selanjutnya untuk melakukan pengembangan dalam hal energi alternatif dari limbah sampah padat perkotaan.

BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Nilai Kalor

2.1.1 Panas Pembakaran (*Heating Value*)

Analisa kalor suatu bahan bakar dimaksudkan untuk memperoleh data tentang energi kalor yang dapat dibebaskan oleh suatu bahan bakar dengan terjadinya reaksi/proses pembakaran. Nilai kalor menunjukkan kalor yang berpindah bila hasil pembakaran sempurna. Menurut standar ASTM D 2015 nilai kalor ditentukan dalam uji standar dalam bom kalorimeter.

Sebagian besar bahan bakar tersusun atas molekul-molekul hidrokarbon dengan komposisi yang berlainan. Kayu contohnya, adalah kombinasi beberapa jenis molekul hidrokarbon organik seperti selulosa ((C₆H₁₀O₅)_x), hemi-selulosa (xylose, mannose, galactose, rhamnose, serta arabinose), dan lignin (C₉H₁₀O₂, C₁₀H₁₂O₃, C₁₁H₁₄O₄). Sampai bahan bakar tambang seperti batu bara contohnya, yang kita kenali tercipta dari tangkai kayu zaman prasejarah, tersusun atas molekul hidrokarbon turunan dari molekul-molekul selulosa tumbuhan, yang akibatnya karena beberapa proses alami perluasan rantai karbon sampai tercipta molekul lignite (C₇₀H₅₀O₂₅), subbituminous (C₇₅H₅₀O₂₀), bituminous (C₈₀H₅₀O₁₅) atau anthracite (C₉₄H₃₀O₃). Kecuali bahan bakar berbasis hidrokarbon, bahan bakar non-hidrokarbon yang benar-benar umum kita pakai ialah hidrogen dengan rumus kimia H₂.

Batubara Ikatan antar atom hidrokarbon atau non-hidrokarbon dari beberapa bahan bakar itu menyimpan energi. Energi dalam ikatan antar atom berikut yang umum kita ucap untuk energi kimia. Bila ikatan antar atom itu lepas atau putus, energi yang tersimpan didalamnya akan lepas berbentuk panas. Jumlah energi panas yang lepas untuk setiap satu unit massa bahan bakar berikut yang umum kita mengenal untuk nilai kalor, atau umum diketahui di dunia engineer untuk heating value. Kecuali melepas energi panas, terputusnya ikatan antar atom itu diiringi juga dengan reaksi oksidasi,

yang diikuti dengan terikatnya atom oksigen dengan semasing atom karbon serta hidrogen membuat karbon dioksida (CO_2) atau air (H_2O).



Gambar 2. 1 Heating Value Bahan Bakar

Nilai heating value diukur memakai satu alat namanya bomb calorimeter. Alat ini tersusun atas satu ruangan pembakaran dengan volume stabil untuk tempat spesimen diukur nilai kalorinya. Ruangan ini diselimuti dengan air untuk media ukur waktu berlangsung perkembangan suhu karena proses pembakaran berlangsung. Spesimen ditempatkan di ruangan bakar serta disulut jadi api sampai berlangsung ekspansi udara dan peningkatan suhu ruangan. Peningkatan suhu itu akan memanasi air yang menyelimutinya ruangan, hingga didapat suhu sebelum dan setelah pembakaran bahan bakar.

Diketahui ada dua tipe heating value yang dipakai dengan cara luas di dunia, yaitu higher heating value (HHV) dan lower heating value (LHV). Kedua-duanya mempunyai referensi serta cara penghitungan yang sedikit tidak sama. Satu hal sebagai referensi di sini yaitu ada muatan air yang bisa dinyatakan akan ada pada tiap reaksi pembakaran hidrokarbon.

Sama seperti yang pastinya kita ketahui dan sudah kita singgung awalnya, ialah jika tiap reaksi pembakaran hidrokarbon pasti diiringi oleh ada pembangunan karbon dioksida serta air. Sedang panas yang dibuat pada proses pembakaran itu ada sejumlah kecil yang diserap oleh air hingga dia beralih babak jadi uap, serta beberapa energi tersimpan untuk panas laten. Nah, pada beberapa proses pembakaran yang berlangsung ada peluang dimana uap air itu terkondensasi hingga energi panas laten di uap air itu

lepas kembali pada skema pembakaran. Heating value yang mempertimbangkan terlepasnya kembali lagi panas laten uap air itu, biasa kita mengenal untuk Higher Heating Value. Sedang Lower Heating Value tidak masukkan energi panas laten yang dilepaskan oleh terkondensasinya uap air itu ke nilai heating value. Dalam kata lain, HHV mengasumsikan jika uap air hasil proses pembakaran akan terkondensasi serta melepas panas latennya diakhir proses, sedang LHV mengasumsikan jika uap air tetap untuk uap air sampai akhir proses pembakaran.

Sesuai dengan bahasan di atas karena itu nilai HHV serta LHV akan mempunyai beda nilai. Beda itu tergantung pada formasi kimia berbahan bakar. Pada karbon atau karbon monoksida murni nilai HHV serta LHV mempunyai nilai yang hampir persis sama. Ini karena disebabkan karbon serta karbon monoksida murni tidak memiliki kandungan atom hidrogen pada molekulnya, hingga -secara teoritis- tidak tercipta molekul air diakhir proses pembakaran. Sebaliknya pada bahan bakar hidrogen, yang pasti tercipta molekul air diakhir proses pembakarannya, nilai HHV hidrogen semakin besar 18,2% dari nilai LHV-nya. Nilai HHV itu termasuk menghitung panas sensibel uap air pada suhu 150°C sampai 100°C, panas laten air pada suhu 100°C, dan panas sensibel air dari suhu 100°C sampai 25°C.

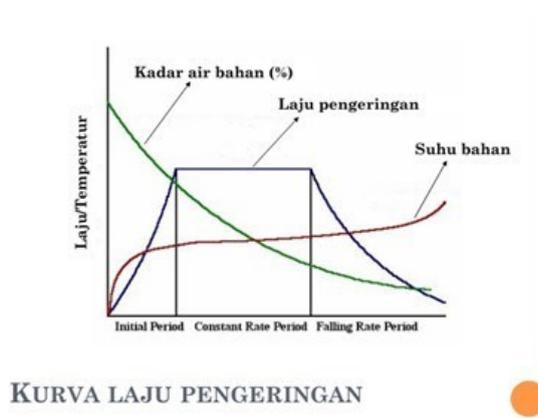
Berikut nilai heating value dari beberapa tipe bahan bakar diambil dari beberapa sumber.

Tipe Bahan Bakar	HHV (MJ/kg)	LHV (MJ/kg)
Hidrogen	141,8	119,96
Metana	55,5	50
Etana	51,9	47,8
Propana	50,35	46,35
Butana	49,5	45,75
Pentana	48,6	45,35
Minyak Bumi	45,543	42,686
Lilin Parafin	46	41,5
Kerosin	46,2	43
Solar	44,8	43,4
Bensin	47	43,448
Batubara Anthracite	32,5	
Batubara Lignite	15	
Gas Alam	54	
Kayu (biasa)	21,7	
Kayu Bakar	24,2	17
Gambut basah	6	
Gambut kering	15	
Karbon (Grafit)	32,808	
Karbon monoksida	10,112	
Amonia	18,646	
Sulfur padat	9,163	

2.1.2 Pengeringan

Proses pengeringan adalah proses penurunan kadar air sampah sampai batas tertentu. Cara ini merupakan salah satu proses fisis yang termasuk dalam kelompok operasi pemisahan. Pada saat proses ini terjadi, perpindahan massa dari bahan ke udara dalam bentuk uap air berlangsung atau terjadi pengeringan pada permukaan bahan. Setelah itu tekanan uap air pada permukaan akan menurun. Setelah kenaikan suhu terjadi pada seluruh permukaan bahan, maka terjadi gerakan air secara difusi dari bahan kepermukaannya seterusnya proses penguapan pada permukaan bahan akan diulang lagi. Akhirnya setelah air bahan berkurang, tekanan uap air bahan akan menurun sampai terjadi keseimbangan dengan udara sekitarnya.

Terdapat 3 periode dalam proses pengeringan, yaitu periode awal (initial period), dimana panas sensibel digunakan untuk menaikkan temperatur bijian, laju penguapan air meningkat seiring dengan waktu, periode laju konstan (constant rate period), dimana terjadi proses penguapan air bebas dari permukaan bijian, laju penurunan kadar air bijian konstan, dan periode laju menurun (falling rate period), dimana pada tahap ini laju pengeringan menurun. Pergerakan air dari bagian dalam bijian menuju ke permukaan menjadi faktor penentu kecepatan penurunan kadar air.



Gambar 2. 2 Kurva Laju Pendingeran

Penghantaran panas pada pengeringan dapat dilakukan secara konduksi, konveksi, radiasi, dan dengan gelombang mikro. Sedangkan cara pengeringan dapat dilakukan secara alami maupun buatan (mekanis).

a) Pengeringan Alami

Pengeringan alami dapat dilakukan dengan penjemuran langsung dan dengan penjemuran dengan modifikasi. Penjemuran alami secara langsung biasanya menggunakan sarana pengeringan paling sederhana seperti lantai jemur, jalan beraspal atau tikar.

Tabel 2. 1 Kelebihan dan Kelemahan Pengeringan Alami

Kelebihan	Kekurangan
Biaya Murah	Tergantung cuaca
Energi Berlimpah	Memerlukan tempat yang luas untuk penjemuran
	Suhu tidak dapat dikontrol
	Mudah terkontaminasi
	Membutuhkan waktu lama
	Perlu pembalikan

Kelemahan penjemuran dapat diatasi dengan modifikasi penjemuran dengan kaca/plastik, dengan udara konveksi alami secara tidak langsung, dan pengeringan hibrid. Pengeringan dengan solar kolektor dan kombinasi, panas matahari dikumpulkan dengan kolektor kemudian dihembuskan udara ke bahan yang dikeringkan. Pengering matahari yang dikombinasikan dengan pemanasan buatan dinamakan pengering hibrid.

b) Pengeringan Buatan (Mekanis)

Pengeringan buatan dilakukan dengan menggunakan pemanasan dari hasil pembakaran. Media udara dihembus melalui pemanas atau kontak langsung ke produk yang dikeringkan. Pemanasan udara dapat dilakukan secara langsung (direct) dan tidak langsung (indirect). Pada dasarnya, pengeringan mekanis dibedakan menjadi dua macam yaitu sistem batch (batch system) dan sistem kontinyu (continuous system). Pada sistem batch, bijian dikeringkan dalam suatu wadah dan kontak antara bijian dengan udara pengering lama/berulang kali. Pada sistem kontinyu, bijian mengalir secara

kontinyu dan kontak dengan udara pengering hanya sekali saat bijian berada pada kolom/zona pengeringan saja.



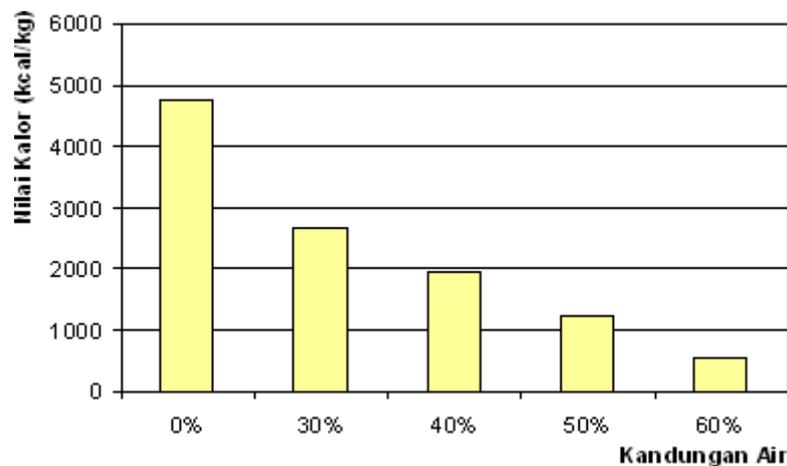
Gambar 2.3 Contoh Pengerian Buatan

2.1.3 Kadar Air

Perhitungan energi sangat diperlukan agar pembakaran dapat berlangsung efektif dan efisien. Besarnya energi yang diperlukan terutama juga tergantung pada besarnya kadar air sampah. Apabila kadar air sampah tinggi, maka energi yang diperlukan untuk pengeringan dan pembakaran juga tinggi. Selain tergantung pada kadar air sampah, besarnya energi yang diperlukan juga tergantung pada kandungan energi sampah.

Efektifitas pengeringan dan pembakaran ditentukan oleh empat hal, yaitu:

- a. Kecepatan dispersi uap dari sampah.
- b. Tingginya diferensiasi suhu, yaitu kenaikan suhu bertahap yang diperlukan.
- c. Pengadukan, untuk mempercepat pemindahan panas.
- d. Ukuran sampah. Bila ukuran sampah kecil (misalnya dirajang atau digiling), berarti permukaannya menjadi lebih luas, akibatnya air yang menguap lebih cepat.



Gambar 2. 4 Pengaruh kandungan air terhadap nilai kalor sampah

(sumber: LPPM ITB, 2007)

2.1.4 *Bomb Calorimeter*

Kalorimeter bom adalah alat yang digunakan untuk mengukur jumlah kalor yang dibebaskan pada pembakaran sempurna (dalam O₂ berlebih) suatu senyawa, bahan makanan dan bahan bakar. Sejumlah sampel ditempatkan pada tabung beroksigen yang tercelup dalam medium penyerap kalor dan sampel akan terbakar oleh api listrik dari kawat logam yang terpasang dalam tabung. Kalorimeter bom terdiri dari tabung baja tebal dengan tutup kedap udara.

Sejumlah tertentu zat yang akan diuji ditempatkan dalam cawan platina dan sebuah "kumparan besi" yang diketahui beratnya (yang juga akan dibakar) ditempatkan pula pada cawan platina sedemikian sehingga menempel pada zat yang akan diuji. (Anonim, 2012).

Alat yang lebih teliti untuk mengukur perubahan kalor adalah kalorimeter bom, yaitu suatu kalorimeter yang dirancang khusus sehingga sistem benar – benar dalam keadaan terisolasi. Umumnya digunakan untuk menentukan perubahan entalpi dari reaksi – reaksi pembakaran yang melibatkan gas. Di dalam kalorimeter bom terdapat ruang khusus tempat berlangsungnya reaksi yang di sekitarnya diselubungi air sebagai penyerap kalor.

Sistem reaksi di dalam kalorimeter dilakukan benar – benar terisolasi sehingga kenaikan atau penurunan suhu yang terjadi benar – benar hanya

digunakan untuk menaikkan suhu air di dalam kalorimeter bom. Meskipun sistem telah diusahakan terisolasi tetapi ada kemungkinan sistem masih dapat menyerap atau melepaskan kalor ke lingkungan, yang dalam hal ini lingkungannya adalah kalorimeter itu sendiri. Jika kalorimeter juga terlibat di dalam pertukaran kalor, besarnya kalor yang diserap atau dilepas oleh kalorimeter harus diperhitungkan. Kalor yang dilepas atau diserap oleh kalorimeter disebut dengan kapasitas kalor kalorimeter ($C_{\text{kalorimeter}}$). Secara keseluruhan dirumuskan:

$$q_{\text{reaksi}} + q_{\text{kalorimeter}} + q_{\text{air}} = q_{\text{sistem}}$$

$$q_{\text{reaksi}} + q_{\text{kalorimeter}} + q_{\text{air}} = 0$$

atau

$$q_{\text{reaksi}} = -(q_{\text{kalorimeter}} + q_{\text{air}})$$

$$q_{\text{kalorimeter}} = C_{\text{kalorimeter}} \times \Delta T$$

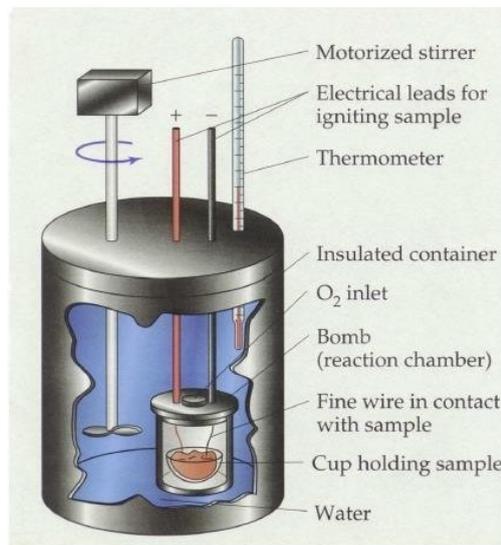
Dengan

$$\begin{aligned} C_{\text{kalorimeter}} &= \text{kapasitas kalor kalorimeter (J/}^\circ\text{C atau J/K) perubahan} \\ \Delta T &= \text{suhu (}^\circ\text{C atau K)} \end{aligned}$$

(anonim, 2015).

Ada dua macam penentuan: nilai kalor tinggi (HHV, *higher heating value*) dimana diasumsikan bahwa semua uap yang terbentuk telah terkondensasi; sehingga dalam hal ini termasuk kalor laten penguapan uap air dalam produk; dan nilai kalor rendah (*lower heating value*, LHV) yang tidak mencakup kalor laten tersebut.

Bomb Calorimeter



Gambar 2. 5 Bom calorimeter

(Sumber: Sandra santosa, 2014)

Macam-macam kalorimeter :

a. Ishotermal Oxigen Bomb Calorimeter

Kenaikkan suhu dari *inner vessel (Calorimeter Bucket)* dapat diperiksa, sedang suhu *out vessel (jacket)* konstan. Suhu *jacket* dapat diatur terus menerus selama penetapan untuk tetap sama dipertahankan terhadap *Calorimeter Bucket*.

b. Adiabatic Oxigen Bomb Calorimeter

Tidak diperlukan koreksi radiasi panas dan hanya memerlukan pemeriksaan suhu awal dan akhir kalorimeter dan suhu jacket terpaku sama terhadap suhu *linier vessel* selama penetapan. Perbedaannya dengan jenis yang pertama bahwa *isothermal* memerlukan pengukuran/pemeriksaan suhu awal, antara dan suhu akhir.

c. Ballistic Oxigen Bomb Calorimeter

Sampel yang diketahui beratnya ditetapkan kalorinya dengan dibakar di dalam suatu bomb yang berisi oksigen yang berlebihan, kemudian kenaikan maksimum dari bomb diukur dengan termokopel dan galvanometer. Dengan membandingkan kenaikan suhu degansampel

standar yang telah diketahui nilai kalornya dengan cara pembakaran asam benzoate dalam *bomb calorimeter*.

2.2 Torefaksi

Prinsip torefaksi pertama kali ditemukan tahun 1930 pada biomassa kayu untuk dijadikan bahan bakar gasifikasi (Nasrin et al., 2011). Beberapa tahun terakhir torefaksi mendapatkan perhatian kembali, tetapi saat ini torefaksi digunakan sebagai teknologi meningkatkan mutu biomassa pada rantai produksi energi (Pratama et al., 2017; Syamsiro, 2016).

Torefaksi adalah proses termokimia yang sebenarnya merupakan proses *incomplete pyrolysis*, dan ditandai dengan parameter suhu reaksi 200-300°C, laju pemanasan kurang dari 50°C per menit, tanpa adanya oksigen, tekanan tetap dan bahan baku yang fleksibel. Jumlah oksigen dalam reaktor sangat mempengaruhi pentingnya untuk menghindari oksidasi dan terjadinya pembakaran api.

Torefaksi merupakan proses perlakuan panas pada temperatur sekitar 200- 320°C pada tekanan atmosfer tanpa kehadiran oksigen. Torefaksi pada biomassa berhasil memperbaiki karakteristik biomassa sebagai bahan bakar, yang ditandai dengan meningkatnya nilai kalor, densitas energi yang tinggi, kandungan air yang rendah, dan hidrofobia.

Torefaksi merupakan salah satu teknologi yang efektif menghasilkan bahan bakar padat dengan karakteristik yang baik mendekati karakteristik batubara. Torefaksi berpotensi meningkatkan daya saing biomassa sebagai suatu energi yang terbarukan melalui suatu proses thermal pada suhu rendah sekitar 200 ± 300 °C dan kondisi tanpa udara dengan menggunakan gas inert atau nitrogen. Selama terjadi proses torefaksi, komponen hemiselulosa akan terdegradasi dan zat-zat volatil terlepas dari biomassa. Keuntungan yang diperoleh dari proses ini adalah nilai kalor atau energi densitas yang tinggi, rasio atom O/C, H/C dan kandungan air rendah, serta tahan terhadap air atau hidropobik (Basu, 2013).

Torefaksi akan memperbaiki sifat-sifat bahan baku dan bahan bakar dari segi nilai kalor, kadar air, sifat higroskopis dan meminimalisir asap

pembakaran (Susanty *et al.*, 2016). Proses torefaksi juga merubah biomassa dengan melepaskan zat-zat yang terkandung dalam bahan yang mudah terbakar seperti CO, metana dan bahan yang tidak terbakar seperti karbondioksida untuk memenuhi kebutuhan kalor pada saat proses torefaksi yang menggunakan teknologi reaktor pemanas (Wilen *et al.*, 2013; Koppejan *et al.*, 2012).

2.2.1 Parameter-parameter Torefaksi

Pada proses torefaksi terdapat beberapa parameter-parameter yang mempengaruhi selama proses torefaksi dilakukan, parameter-parameter tersebut adalah:

a. Temperatur

Temperatur pada proses torefaksi sangat berpengaruh pada proses torefaksi itu sendiri. Diketahui bahwa degradasi termal yang terjadi pada biomassa adalah tergantung pada temperatur yang diberikan. Selain itu didapat bahwa semakin meningkat temperatur yang diberikan pada proses torefaksi akan mempengaruhi massa produk yang dihasilkan.

Temperatur reaksi yang tinggi akan menghasilkan jumlah massa padatan yang lebih sedikit dan akan memberikan nilai bahan bakar padat yang lebih tinggi. Nilai fix carbon pada sampel meningkat sedangkan hidrogen dan oksigen berkurang karena suhu torefaksi yang meningkat.

b. Waktu Tinggal

Lamanya waktu tinggal atau waktu reaksi yang diberikan pada saat proses torefaksi akan berpengaruh terhadap degradasi termal yang terjadi pada biomassa. Lambatnya tingkat pemanasan yang diberikan adalah hal yang membedakan antara torefaksi dengan pirolisis yang tingkat pemanasannya dilakukan dengan cepat.

Waktu tinggal yang lebih lama akan menghasilkan massa produk padatan yang lebih rendah akan tetapi memiliki energi padatan yang lebih tinggi, walaupun efek dari waktu tinggal tidak sedominan dengan pengaruh temperatur proses. Efek dari waktu tinggal pada penurunan massa berkurang setelah sekitar 1 jam.

c. Jenis Biomassa

Jenis biomassa yang digunakan pada proses torefaksi akan sangat berpengaruh terhadap produk hasil torefaksi. Hemiselulosa adalah kandungan yang akan banyak mengalami reaksi pada proses torefaksi, dengan semakin banyaknya kandungan hemiselulosa pada biomassa akan dapat mempengaruhi kerugian massa dari produk.

d. Ukuran Partikel

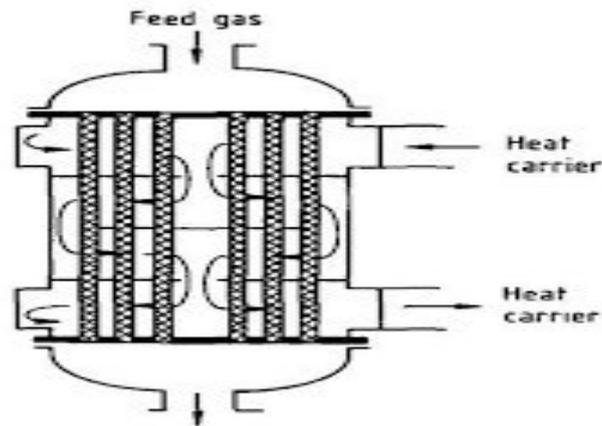
Ukuran partikel biomassa pada umpan dapat mempengaruhi hasil produk pada proses torefaksi. Efek adanya perbedaan ukuran tidak terlalu menonjol untuk ukuran umpan partikel yang normal, akan tetapi akan berefek lebih ketika ukuran umpan partikel besar. Hal ini dapat terjadi akibat adanya perpindahan panas dari reaktor ke pada permukaan biomassa, oleh sebab itu dalam hal ini ukuran partikel dapat berpengaruh pada hasil produk torefaksi. Hasil massa menunjukkan peningkatan dengan adanya peningkatan diameter volume rata-rata.

2.3 Reaktor Torefaksi

Reaktor merupakan suatu alat proses tempat terjadinya reaksi berlangsung, baik itu reaksi kimia maupun nuklir, di dalam reaktor inilah terjadinya reaksi suatu bahan berubah ke bentuk bahan lainnya dengan bantuan energi panas (Fariz, 2017). Studi yang dilakukan Chen *et al.* (2014) menyebutkan bahwa terdapat beberapa teknologi reaktor pemanas pirolisis dan torefaksi, antara lain:

2.3.1 Reaktor tipe *fixed bed*,

Reaktor ini mempunyai karakteristik laju pemanasan (*heating rate*) yang rendah sehingga koefisien perpindahan panas yang terjadi rendah. Reaktor *fixed bed* sering digunakan untuk mengidentifikasi parameter yang mempengaruhi kadungan produk yang akan ditorefaksi/pirolisis. Sketsa dari reaktor *fixed bed* dapat dilihat pada Gambar 2.6.

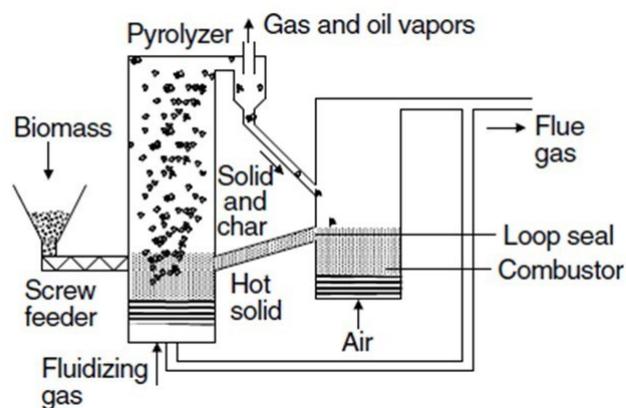


Gambar 2. 6 Sketsa reaktor *fixed bed*.

Sumber: Chen et al. (2014).

2.3.2 Reaktor tipe *fluidized bed*

Reaktor yang bercirikan tingkat pemanasan (*heating rate*) yang tinggi, namun dalam industri tipe ini jarang digunakan. Karena pemisahan material, serta pemanasan dan resirkulasi eksternal yang rumit. Reaktor ini lebih sering digunakan untuk menggambarkan pengaruh temperatur dan waktu tinggal (*residence time*) biomassa dalam reaktor saat proses torefaksi maupun pirolisis berlangsung. Meskipun reaktor *fluidized bed* telah banyak digunakan dalam penelitian laboratorium, namun dalam industri tipe ini jarang digunakan. Karena pemisahan material, serta pemanasan dan resirkulasi eksternal yang rumit. Sketsa dari reaktor *fluidized bed* dapat dilihat pada Gambar 2.7.

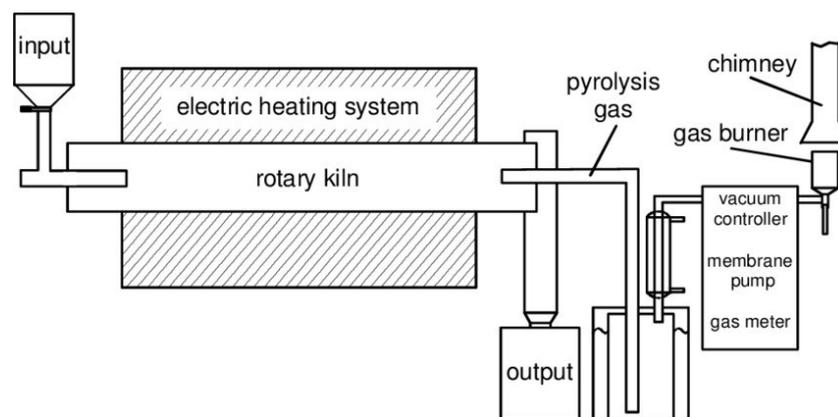


Gambar 2. 7 Sketsa reaktor *fluidized bed*

Sumber: Chen et al. (2014).

2.3.3 Reaktor tipe rotary kiln

Reaktor ini mempunyai efisiensi yang lebih tinggi dari pada reaktor *fixed bed*. Putaran yang lambat dari tempat pembakaran (*kiln*) memungkinkan pencampuran yang baik dari material dalam reaktor. Reaktor ini mulai banyak digunakan dalam pirolisis/torefaksi secara konvensional. Karena dalam beberapa penelitian tingkat pemanasan (*heating rate*) yang terjadi tidak lebih tinggi dari 100°C/menit dan *residence time* hingga 1 jam, hal ini disebabkan selama proses torefaksi/pirolisis hanya dinding luar yang mengangkut panas dari luar untuk bahan. Gambar sketsa dari reaktor ini dapat dilihat pada Gambar 2.8.



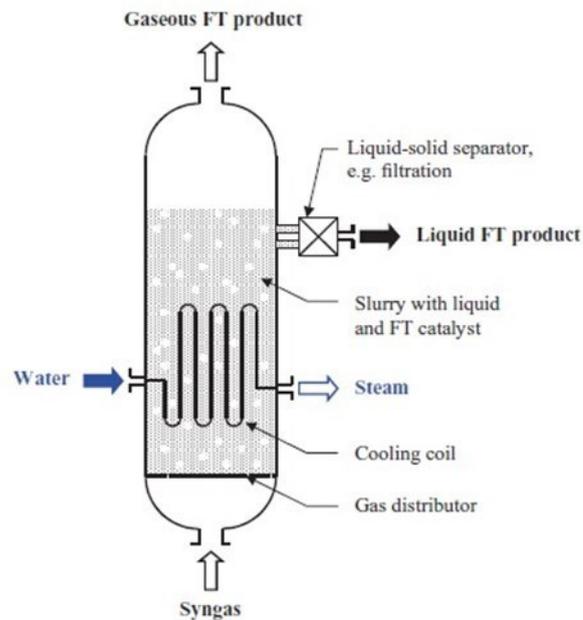
Gambar 2. 8 Sketsa reaktor rotary kiln

Sumber: Chen et al. (2014).

2.3.4 Reaktor tipe tubular

Salah satu jenis reaktor berbentuk tabung dengan dinding tetap dan yang bergerak adalah material di dalam reaktor tersebut. Reaktor tubular umumnya dipanaskan dengan sistem panas eksternal, dan dalam beberapa penelitian bahan baku di dalam material bergerak dengan sistem screw conveyor, reaktor bujur sangkar yang material digerakan dengan sistem vibro-fluidiser, atau tabung dengan inner mixer. Ciri khas dari reaktor tubular adalah screw conveyor reaktor dengan operasional dan biaya konstruksi yang rendah. Desain ini, kecepatan sekrup dapat bervariasi dari 0,5–25 rpm, dengan demikian residence time reaktor dapat diubah. Sistem reaktor ini

berfungsi untuk termal yang baik dari limbah berbahan plastik dan biomassa. Gambar sketesa dari reaktor tubular dapat dilihat pada Gambar 2.9.



Gambar 2. 9 Sketsa reaktor tubular.

Sumber: Chen *et al.* (2014).

2.3.5 Reaktor Counter-Flow Multi Baffle (COMB)

Reaktor COMB merupakan teknologi terkait dengan torefaksi secara efisien dipanaskan sehingga mengeringkan biomassa yang tinggi kandungan air. Struktur pengering terdapat elemen-elemen sebagai berikut burner, combustion chamber, feeder, cyclone, multy stage dry condenser, ID fan (suction flow), dan control panel. Elemen-elemen ini yang menunjang kerja COMB sebagai reactor percontohan pertama teknologi torefaksi yang memiliki keunggulan berupa torefaksi secara singkat dengan waktu 3-5 menit dengan kapasitas 20kg/jam.

Sebagai pengolahan bioamassa sebagai bahan bakar padat yang mendekati batubara, Sedangkan kelemahan yang terdapat pada teknologi berupa menunggu ± 10 menit agar suhu pada reaktor konstan.

Terdapat beberapa bagian komponen utama teknologi reaktor COMB yaitu:

1. Burner berfungsi untuk melakukan pembakaran agar menghasilkan panas,

energi panas akan dialirkan ke column.

2. Combustion chamber merupakan komponen COMB yang berfungsi sebagai ruang pembakaran untuk menghasilkan panas dari proses pembakaran.

3. Column terbagi menjadi 3 bagian yaitu top column, middle column, dan bottom column. Column berfungsi sebagai tempat terjadinya pemanasan biomassa karena adanya tekanan dalamnya.

4. Feeder yaitu komponen yang digunakan sebagai umpanan atau masukkan bahan baku biomassa yang kemudian diatur kecepatannya untuk jatuh ke bawah melalui column untuk melalui proses pemanasan biomassa.

5. Cyclone merupakan saluran pembuangan limbah hasil torefaksi biomassa dalam bentuk debu/abu sisa pemanasan.

6. Multi stage dry condenser merupakan komponen aliran air kondensasi yang dihasilkan dari proses pemanasan biomassa.

7. *Induction draft fan (Id Fan)* berfungsi menyalurkan gas panas ke *column* reaktor COMB. Sketsa bagian-bagian komponen utama reaktor COMB dapat dilihat pada Gambar 2.10.



Gambar 2. 10 Bagian-bagian reaktor *Counter Flow Multi Baffle* (COMB).

Sumber: Lee *et al.* (2019).

2.4 Sampah Padat Perkotaan (Municipal Solid Waste)

Sampah merupakan hasil proses yang bersumber dari industri maupun rumah tangga (domestik). Meningkatnya jumlah penduduk dan perubahan

gaya hidup masyarakat mengakibatkan bertambahnya jumlah timbunan, keberagaman, dan karakteristik sampah.

Sampah perkotaan atau pemukiman merupakan salah satu masalah yang perlu mendapat perhatian yang serius karena sampah perkotaan atau pemukiman dari tahun ke tahun terus meningkat seiring dengan laju pertumbuhan jumlah penduduk. Peningkatan jumlah sampah yang tidak diikuti oleh perbaikan dan peningkatan sarana dan prasarana pengelolaan sampah mengakibatkan permasalahan sampah menjadi lebih serius. Sampah dapat menyebabkan dampak gangguan bagi infrastruktur kota termasuk kerawanan kesehatan dan lingkungan hidup.

Adapun sampah yang termasuk didalam Sampah Padat Perkotaan (Municipal Solid Waste), yaitu:

a. Plastik

Plastik adalah salah satu jenis makromolekul yang dibentuk dengan proses polimerisasi. Plastik merupakan senyawa polimer yang unsur penyusun utamanya adalah Karbon dan Hidrogen. penemuan plastik ini mempunyai dampak positif yang luar biasa, karena plastik memiliki keunggulan-keunggulan dibanding material lain. Tetapi di sisi lain, Sampah plastik akan berdampak negatif terhadap lingkungan karena tidak dapat terurai dengan cepat dan dapat menurunkan kesuburan tanah. Sampah plastik yang dibuang sembarangan juga dapat menyumbat saluran drainase, selokan dan sungai sehingga bisa menyebabkan banjir.



Gambar 2. 11 Sampah Plastik

b. Kain

Kain merupakan jenis limbah padat anorganik yang tidak dapat membusuk sehingga mendaur ulangnya menjadi sesuatu yang berbeda dan dapat dimanfaatkan kembali merupakan jalan terbaik untuk mengatasi menumpukan sampah jenis ini. Sampah jenis ini akan ditemukan ditempat tempat usaha konveksi, besar kecilnya jumlah sampah yang dihasilkan bergantung pada besar kecilnya tempatnya usaha konveksi. sampah berupa kain sintesis adalah termasuk sampah anorganik yang paling sulit didaur ulang oleh bumi kita. Dengan memanfaatkannya menjadi sesuatu yang bisa digunakan kembali akan memberi dampak yang sangat baik bagi bumi yaitu mengurangi efek pemanasan global.



Gambar 2. 12 Sampah Kain

c. Kayu

Kayu merupakan salah satu hasil hutan yang memiliki nilai ekonomi tinggi. Penyebab terbentuknya kayu adalah akibat akumulasi selulosa dan lignin pada dinding sel di berbagai jaringan batang. Limbah kayu adalah sisa-sisa kayu atau bagian kayu yang dianggap tidak bernilai ekonomi lagi dalam proses tertentu, pada waktu tertentu dan tempat tertentu yang mungkin masih dimanfaatkan pada proses dan waktu yang berbeda yang umumnya terdiri atas: sisa gergajian, sisa potongan panjang dan pendek, dan kulit kayu.



Gambar 2. 13 Sampah Kayu

d. Kompos

Kompos adalah hasil akhirsuatu proses dekomposisi tumpukan sampah / serasah tanaman dan bahan organik lainnya. Pengomposan merupakan teknik pengolahan sampah organik yang biodegradable, sampah tersebut dapat diurai oleh mikroorganismе atau cacing (vermicomposting) sehingga terjadi proses pembusukan, kompos yang dihasilkan sangat baik untuk memperbaiki struktur tanah karena kandungan unsur hara dan kemampuannya menahan air.



Gambar 2. 14 Sampah Kompos

2.4.1 Faktor yang mempengaruhi jumlah sampah

1. Jumlah penduduk, Jumlah penduduk bergantung pada aktivitas dan kepadatan penduduk.
2. Sistem pengumpulan atau pembuangan sampah yang dipakai, Pengumpulan sampah dengan menggunakan gerobak lebih lambat jika dibandingkan dengan truk.

3. Pengambilan bahan-bahan yang ada pada sampah untuk dipakai kembali, Metode itu dilakukan karena bahan tersebut masih memiliki nilai ekonomi bagi golongan tertentu. Frekuensi pengambilan dipengaruhi oleh keadaan, jika harganya tinggi, sampah yang tertinggal sedikit.
4. Faktor geografis. Lokasi tempat pembuangan apakah didaerah pengunungan, lembah, pantai, atau di dataran rendah.
5. Faktor waktu. Bergantung pada factor harian, mingguan, bulanan, atau tahunan. Jumlah sampah perhari bervariasi menurut waktu.
6. Faktor sosial ekonomi dan budaya. Contoh, adat-istiadat dan taraf hidup dan mental masyarakat.
7. Pada musim hujan, sampah mungkin akan tersangkut pada selokan, pintu air, atau penyaringan air limbah

2.5 Bahan Bakar Alternatif Lainnya

2.5.1 Briket

Briket adalah sebuah blok bahan yang dapat dibakar yang digunakan sebagai bahan bakar untuk memulai dan mempertahankan nyala api. Briket yang paling umum digunakan adalah briket batu bara, briket arang, briket gambut, dan briket biomassa.

Antara tahun 2008-2012, briket menjadi salah satu agenda riset energi Institut Pertanian Bogor. Bahan baku briket diketahui dekat dengan masyarakat pertanian karena biomassa limbah hasil pertanian dapat dijadikan briket. Penggunaan briket, terutama briket yang dihasilkan dari biomassa, dapat menggantikan penggunaan bahan bakar fosil.



Gambar 2. 15 Briket

252 Batu Bara

Batu bara adalah salah satu bahan bakar fosil. Pengertian umumnya adalah batuan sedimen yang dapat terbakar, terbentuk dari endapan organik, utamanya adalah sisa-sisa tumbuhan dan terbentuk melalui proses pembatubaraan. Unsur-unsur utamanya terdiri dari karbon, hidrogen dan nitrogen dan oksigen

Batu bara juga adalah batuan organik yang memiliki sifat-sifat fisika dan kimia yang kompleks yang dapat ditemui dalam berbagai bentuk, bisa berbentuk kubus, balok, bulat, atau segitiga.

Analisis unsur memberikan rumus formula empiris seperti $C_{137}H_{97}O_9NS$ untuk bituminus dan $C_{240}H_{90}O_4NS$ untuk antrasit.



Gambar 2. 16 Batu Bara

253 Sekam Padi

Hadi Susanto menunjukkan mesin pengering gabah atau biasa disebut vertical dryer. Mesin yang dilengkap blower atau kipas itu, berada di gudang berukuran 12 x 12 meter. Uniknya, panas yang dihasilkan mesin ini berasal dari sekam padi yang tidak terpakai.

Mesin tersebut berkapasitas 10 ton gabah untuk sekali pengeringan. Hadi minimal melakukan pengeringan 7 ton. Gabah mulai diturunkan dari alat bila kandungan airnya kurang dari atau setara 14 persen.

Dengan mesin, pengeringan gabah bisa lebih cepat. Biasanya 48 jam bila memanfaatkan sinar matahari, sementara menggunakan mesin hanya butuh 12 sampai 15 jam.

Alat pengering tersebut sangat berguna saat musim panen raya padi. Terlebih ketika musim hujan, pengeringan gabah dalam jumlah besar sulit diterapkan, karena mengandalkan sinar matahari saja tidak cukup. Asap yang dikeluarkan vertical dryer sangat sedikit. Residu yang dihasilkan berupa arang, bisa dimanfaatkan pula untuk pupuk di sawah.



Gambar 2. 17 Sekam Padi

2.6 Analisis Proksimat

Analisis proksimat merupakan analisa yang menunjukkan persentase total dari kadar air (*Mouisture content*), kadar abu (*Ash Content*), fixed carbon, dan volatile matter dalam suatu bahan bakar padat. Komposisi unsur atau yang berasal dari analisa ultimat adalah analisa laboratorium suatu bahan bakar padat yang mengandung komposisi karbon (C), hidrogen (H), oksigen (O), nitrogen (N), dan sulfur (S).

2.6.1 Kadar Air

Kadar air yang tinggi menurunkan nilai kalor sehingga akan mengurangi efisiensi konversi dan kinerja karena sejumlah energi akan digunakan untuk menguapkan air tersebut. Selain itu, juga akan mencegah pembakaran lebih lanjut. Begitu juga sebaliknya. Kadar air yang rendah akan meningkatkan efisiensi dan kinerja dan melancarkan keberlanjutan pembakaran. Kadar air adalah sifat yang sangat penting dan sangat mempengaruhi karakteristik pembakaran.

Kadar air juga mempengaruhi perubahan suhu internal dalam bahan bakar karena penguapan endotermik maupun karena total energi yang dibutuhkan untuk membawa hingga mencapai suhu pembakaran. Selama pembakaran, kadar air dalam bahan bakar akan menyerap panas atau kalor untuk proses penguapan sehingga akan mengurangi nilai kalor secara signifikan. Hal ini akan menyebabkan terjadinya kehilangan kalor atau panas untuk mendorong reaksi pembakaran sehingga suhu pembakaran menjadi lebih rendah. Akibatnya akan terjadi pembakaran yang tidak sempurna terhadap bahan-bahan yang sifatnya volatil dan akan terjadi deposisi karbon yang tidak terbakar (asap) di cerobong asap relatif sulit untuk dibersihkan. Adanya asap yang signifikan akan dapat menghalangi aliran gas buangan dan mengurangi transfer kalor/panas ke alat pemanasan. Di samping itu, kadar air yang tinggi juga menyebabkan kesulitan dalam pengapian.

262 Kadar Abu

Residu yang tersisa setelah pembakaran bahan bakar disebut dengan abu (*ash*). Semakin tinggi kandungan abu pada bahan bakar maka nilai kalor dari bahan bakar tersebut juga semakin rendah. Begitu juga sebaliknya semakin rendah kandungan abu pada bahan bakar maka nilai kalor bahan bakar tersebut juga akan semakin tinggi. Abu terbentuk dari bahan-bahan mineral yang terikat dalam struktur karbon biomassa selama pembakarannya. Di samping itu, abu juga merupakan pengotor-pengotor dari bahan bakar. Kandungan abu dari bahan bakar ditentukan dengan memanaskan bahan bakar tersebut. Abu adalah bahan yang tidak mudah terbakar. kadar abu yang tinggi akan menghasilkan polusi yang parah.

263 Volatile Matter

Bahan-bahan yang mudah menguap (*volatile matters*) adalah zat-zat yang ditemukan didalam bahan bakar seperti metana, hidrokarbon, hidrogen, karbonmonoksida, nitrogen dan gas-gas yang tidak terbakar. Bahan *volatile* (VM) ditentukan dengan memasukkan bahan bakar dalam furnace pada temperatur $900 \pm 15^{\circ}\text{C}$ selama 15 menit. Bahan-bahan yang akan menguap

ketika dikeringkan pada temperatur terkendali disebut kandungan bahan-bahan *volatile*. Bahan-bahan *volatile* tersebut menentukan kemampuan pembakaran dari suatu bahan bakar. Bahan bakar dengan kandungan *volatile matter* tinggi berarti sebagian besar nilai kalor yang dimiliki akan dilepaskan sebagai uap pembakaran.

264 Fixed Carbon

Kandungan karbon padat (*Fixed Carbon*) bahan bakar tidak sama dengan karbon ultimat. Karbon padat (*Fixed Carbon*) adalah karbon yang tersisa setelah bahan-bahan mudah menguap (*volatile matter*) dilepaskan dari proses pembakaran. Berbeda dengan karbon ultimat yang hilang bersama hidrokarbon karena volatilitasnya. Oleh sebab itu, karbon ultimat akan menentukan jumlah karbondioksida yang dihasilkan selama pembakaran oleh suatu bahan bakar. *Fixed Carbon* (FC) digunakan sebagai estimasi jumlah arang yang akan dihasilkan dari sampel bahan bakar. Oleh sebab itu *Fixed Carbon* ditentukan dengan mengurangkan massa *volatile matter* (VC), kadar air dan kadar abu dari massa awal suatu sampel bahan bakar atau sering dikenal dengan istilah *by difference*.