

SKRIPSI

**VARIASI TEMPERATUR PIROLISIS TERHADAP NILAI KALOR
SAMPAH PADAT PERKOTAAN (*MUNICIPAL SOLID WASTE*)
(STUDI KASUS SAMPAH TPA ANTANG)**



OLEH :

MOH. RINALDI

D021171510

DEPARTEMEN TEKNIK MESIN

FAKULTAS TEKNIK

UNIVERSITAS HASANUDDIN

GOWA

2023

SKRIPSI

**VARIASI TEMPERATUR PIROLISIS TERHADAP NILAI KALOR
SAMPAH PADAT PERKOTAAN (*MUNICIPAL SOLID WASTE*)
(STUDI KASUS SAMPAH TPA ANTANG)**

OLEH :

MOH. RINALDI

D021171510

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:

**VARIASI TEMPERATUR PIROLISIS TERHADAP NILAI KALOR SAMPAH PADAT PERKOTAAN (MUNICIPAL SOLID WASTE)
(STUDI KASUS SAMPAH TPA ANTANG)**

MOH. RINALDI

D021 17 1510

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 : Moh. Rinaldi
NIM : D021171510
Program Studi : Teknik Mesin
Jenjang : S-1

Menyatakan dengan ini bahwa karya tulis saya berjudul

**VARIASI TEMPERATUR PIROLISIS TERHADAP NILAI KALOR
SAMPAH PADAT PERKOTAAN (*MUNICIPAL SOLID WASTE*) (STUDI
KASUS SAMPAH TPA ANTANG)**

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,



Moh. Rinaldi

KATA PENGANTAR

Puji dan syukur kita panjatkan ke hadirat Tuhan Yang Maha Esa, 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 Ariani dan Ayahanda Muh. Sadli Arsyad, Andi Hasniar, serta saudara-saudara penulis: Muh. Yusril, Muh. Lipur, dan Muh. Fathian 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

Moh. Rinaldi, Pyrolysis temperature variation on the calorific value of urban solid waste (urban solid waste) (a case study of Antang landfill waste) (supervised by Dr. Ir. Nasruddin Azis, M.Sc 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 in urban areas with a dense vacuum and to determine the effect of heating using the pyrolysis method on urban areas with a dense vacuum to be used as fuel. In this research, the raw material research object was selected as 500 gr sorted urban solid waste. This waste was got 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 determine the characteristics of the resulting product. First, do urban lightning sample preparation before pyrolysis. The sample is given heating using the pyrolysis method. Then analysed the calorific value using a bomb calorimeter and proximate testing. The results show that the higher the pyrolysis temperature, the more charcoal (Arang) is formed, which is showed by the darker or blacker product colour which can indicate the level of fixed carbon. The optimum temperature for reducing and producing fuel from urban pockets is 300°C.

Keywords: Solid waste, temperature, calorific value, pyrolysis, proximate, charcoal

ABSTRAK

Moh. Rinaldi, *Variasi temperatur pirolisis terhadap nilai kalor sampah padat perkotaan (Municipal solid waste) (studi kasus sampah TPA antang)* (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 pirolisis terhadap sampah padat perkotaan untuk dijadikan bahan bakar. Dalam penelitian ini objek penelitian 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 pirolisis. Selanjutnya sampel diberikan pemanasan menggunakan metode pirolisis. Kemudian dilakukan analisis nilai kalor menggunakan *bomb calorimeter* dan pengujian proksimat. Hasil penelitian ini menunjukkan bahwa Semakin tinggi temperatur pirolisis, semakin banyak *char* (arang) yang terbentuk, yang ditunjukkan oleh warna produk yang semakin gelap atau hitam dimana hal ini dapat menunjukkan kadar *fixed carbonnya*. Temperatur untuk mereduksi dan menghasilkan bahan bakar dari sampah perkotaan dicapai secara optimal pada 300°C.

Kata Kunci : Sampah padat, temperatur, nilai kalor, pirolisis, proksimat, arang

DAFTAR ISI

SAMPUL DEPAN	i
LEMBAR PENGESAHAN	iii
PERNYATAAN KEASLIAN	iv
KATA PENGANTAR	v
ABSTRACT	vii
ABSTRAK	viii
DAFTAR ISI	ix
DAFTAR GAMBAR	xi
DAFTAR TABEL	xiii
BAB I PENDAHULUAN	1
1.1 LATAR BELAKANG	1
1.2 RUMUSAN MASALAH	2
1.3 TUJUAN PENELITIAN	2
1.4 BATASAN MASALAH	2
1.5 MANFAAT PENELITIAN	3
BAB II TINJAUAN PUSTAKA	4
II.1 NILAI KALOR	4
II.1.1 Panas Pembakaran (<i>Heating Value</i>)	4
II.1.2 Pengeringan	7
II.1.3 Kadar Air	10
II.1.4 <i>Bomb Calorimeter</i>	11
II.2 Pirolisis dan Reaktor Pirolisis	14
II.2.1 Produk Pirolisis	16
II.2.2 Reaktor Pirolisis	19
II.3 Sampah Padat Perkotaan (Municipal Solid Waste)	24
II.3.1 Faktor yang mempengaruhi jumlah sampah	27
II.4 Bahan Bakar Alternatif Lainnya	28
II.4.1 Briket	28

II.4.2	Batu Bara	29
II.4.3	Sekam Padi.....	29
II.5	Analisis Proksimat.....	30
II.5.1	Kadar Air	30
II.5.2	Kadar Abu.....	31
II.5.3	<i>Volatile Matter</i>	32
II.5.4	<i>Fixed Carbon</i>	32
BAB III	METODOLOGI PENELITIAN	33
III.1	Waktu dan Tempat Penelitian	33
III.2	Alat dan Bahan	33
III.2.1	Alat.....	33
III.2.2	Bahan	37
III.3	Variasi Penelitian.....	37
III.4	Metode Pengambilan data	37
III.5	Diagram Alir Penelitian.....	39
BAB IV	METODOLOGI PENELITIAN	40
IV.1	Hasil Analisis Produksi Pirolisis	40
IV.2	Pengaruh Temperatur Pirolisis Terhadap Nilai Kalor	42
IV.3	Hasil Analisis Pengujian Proksimat	45
IV.4	Perbandingan Sampah Padat Perkotaan Sebagai Bahan Bakar Alternatif	47
BAB V	KESIMPULAN DAN SARAN	50
DAFTAR PUSTAKA	51

DAFTAR GAMBAR

Gambar 2. 1 Heating Value Bahan Bakar	5
Gambar 2. 2 Kurva Laju Pengeringan.....	8
Gambar 2. 3 Contoh Pengeringan Buatan	10
Gambar 2. 4 Pengaruh kandungan air terhadap nilai kalor sampah.....	11
Gambar 2. 5 <i>Bomb calorimeter</i>	13
Gambar 2. 6 Sketsa reaktor <i>fixed bed</i>	20
Gambar 2. 7 Skesa reaktor <i>fluidized bed</i>	20
Gambar 2. 8 Sketsa reaktor <i>rotary kiln</i>	21
Gambar 2. 9 Sketsa reaktor <i>tubular</i>	22
Gambar 2. 10 Bagian-bagian reaktor Counter Flow Multi Baffle (COMB)...	24
Gambar 2. 11 Sampah Plastik	25
Gambar 2. 12 Sampah Kain	26
Gambar 2. 13 Sampah Kayu.....	26
Gambar 2. 14 Sampah Kompos.....	27
Gambar 2. 15 Briket	28
Gambar 2. 16 Batu Bara	29
Gambar 2. 17 Sekam Padi	30
Gambar 3. 1 Tabung Reaktor	33
Gambar 3. 2 <i>Bomb Calorimeter</i>	34
Gambar 3. 3 <i>Crusher</i>	34
Gambar 3. 4 Ayakan <i>Mesh 60</i>	35
Gambar 3. 5 <i>Timer</i>	35
Gambar 3. 6 Timbangan digital skala 10 Kg.....	36
Gambar 3. 7 Timbangan Digital Skala 1 Kg	36
Gambar 3. 8 Sampah Padat Perkotaan	37
Gambar 4. 1 Kondisi sampel sebelum mendapat perlakuan Pirolisis	40
Gambar 4. 2 Kondisi sampel setelah mendapat perlakuan Pirolisis.....	41
Gambar 4. 3 (a) Sampel yang telah di <i>Crusher</i> , dan (b) yang telah di ayak ...	42
Gambar 4. 4 (a) Sampel sebelum dan (b) setelah <i>Bomb Calorimeter</i>	42

Gambar 4. 5 Perbandingan nilai kalor hasil produksi	44
Gambar 4. 6 Hasil Analisis Proksimat	46
Gambar 4. 7 Perbandingan Nilai Kalor Bahan Bakar Alternatif.....	48

DAFTAR TABEL

Tabel 2. 1 Kelebihan dan Kekurangan Pengeringan Alami	9
Tabel 2. 2 Jenis pirolisis, istilah yang digunakan, produk dan status pengembangan.....	15
Tabel 2. 3 Produk hasil dari proses pirolisis	19
Tabel 4. 1 hasil pembacaan waktu dan temperatur <i>bomb calorimeter</i>	43
Tabel 4. 2 Nilai kalor hasil pirolisis sampah perkotaan	44
Tabel 4. 3 Hasil Analisis Proksimat	46
Tabel 4. 4 Nilai Kalor Bahan Bakar Alternatif	48

BAB I

PENDAHULUAN

1.1 LATAR BELAKANG

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)

Salah satu metode pengolahan sampah yang dapat digunakan untuk mereduksi sampah adalah metode pirolisis. Metode pirolisis dapat digunakan untuk mengolah sampah yang berasal dari rumah tangga, seperti: sampah campuran/makanan, sampah buah dan sayur, sampah kertas, sampah plastik, dan sampah tekstil. Pengolahan sampah dengan pirolisis rata-rata menghasilkan 52,2% wax/bio oil , 25,2% char/residu, 22,6% gas. Penelitian tersebut menyebutkan bahwa metode pirolisis dapat merubah sampah menjadi bahan bakar (Ojolo dan Bamgboye, 2005). Cairan yang dihasilkan dari proses pirolisis merupakan campuran kompleks senyawa organik antara lain stirena, etilbenzena, toluena, dan lain-lain. Proses pirolisis menghasilkan padatan yang mengandung char/residu dan bahan anorganik yang terkandung dalam bahan baku. Selain itu, pirolisis

menghasilkan gas yang terdiri dari hidrokarbon, CO dan CO₂ yang memiliki nilai kalor yang tinggi (López dkk, 2010).

Maka latar belakang inilah yang mendasari penulis akan melakukan penelitian dengan judul “VARIASI TEMPERATUR PIROLISIS TERHADAP NILAI KALOR SAMPAH PADAT PERKOTAAN (MUNICIPEL SOLID WASTE) (STUDI KASUS SAMPAH TPA ANTANG)”

1.2 RUMUSAN MASALAH

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

1. Bagaimana pengaruh variasi temperatur terhadap nilai kalor pada sampah padat perkotaan
2. Bagaimana potensi dari pemanasan sampah padat perkotaan untuk dijadikan sebagai bahan bakar alternatif dengan menggunakan metode pirolisis

1.3 TUJUAN PENELITIAN

Adapun tujuan penelitian ini adalah sebagai berikut :

1. Untuk mengetahui pengaruh variasi temperatur terhadap nilai kalor yang dihasilkan
2. Menganalisis potensi bahan bakar dari hasil pirolisis sampah padat perkotaan

1.4 BATASAN MASALAH

Batasan masalah pada penelitian ini adalah :

1. Bahan baku yang digunakan adalah sampah padat perkotaan
2. Berat sampel yang digunakan sebanyak 500 gram
3. Temperatur yang digunakan 250°C, 300°C, 350°C dan 400°C
4. Waktu pemanasan 3 jam
5. Pengujian dilakukan pada alat tabung reaktor dan bomb calorimeter

1.5 MANFAAT PENELITIAN

Adapun manfaat yang dapat diperoleh dari penelitian ini adalah :

1. Dapat mengetahui bagaimana pengaruh variasi temperatur terhadap nilai kalor sampah padat perkotaan.
2. Sebagai bahan referensi untuk melakukan pengembangan dalam hal energi alternatif dari limbah sampah padat perkotaan.
3. Sebagai acuan untuk penelitian selanjutnya.

BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

II.1 NILAI KALOR

II.1.1 Panas Pembakaran (*Heating Value*)

Analisa kalor suatu bahan bakar dimaksudkan untuk memperoleh data tentang energikalor 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 *Bomb Calorimeter*.

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 simpan 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.

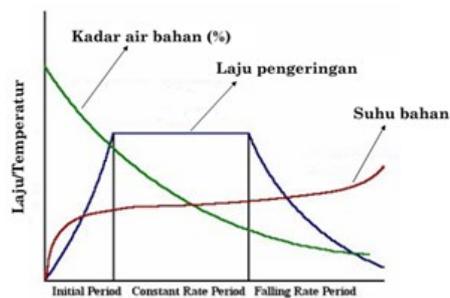
Tipe Bahan Bakar	HHV (MJ/kg)	LHV (MJ/kg)	Hidrogen	141,8	119,96	
Metana	55,5	50	Etana	51,9	47,8	
Propana	50,35	46,35	Butana	49,5	45,75	
Pentana	48,6	45,35	Minyak Bumi	45,543	42,686	
Lilin Parafin	46	41,5	Kerosin	46,2	43	
Solar	44,8	43,4	Bensin	47	43,448	
Batubara Anthracite	32,5	Batubara Lignite	15	Gas 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			

II.1.2 Pengerinan

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.



KURVA LAJU PENDINGERAN

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 Kekurangan 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

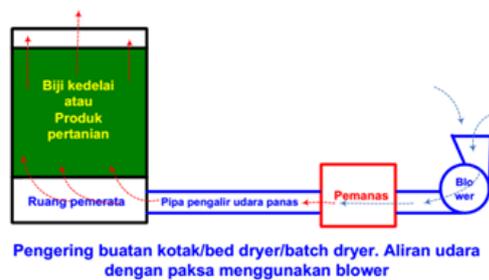
Kelemahan penjemuran dapat diatasi dengan modifikasi penjemuran dengan kaca/plastik, dengan udara konveksi alami secara tidak langsung, dan pengeringan hibrid. Pengeringan dengan solar kolektor dan kombinasi, panas matahari dikumpulkan dengan kolektor kemudian dihembuskan udara ke bahan yang dikeringkan.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

BATCH DRYER



Gambar 2. 3 Contoh Pengeringan Buatan

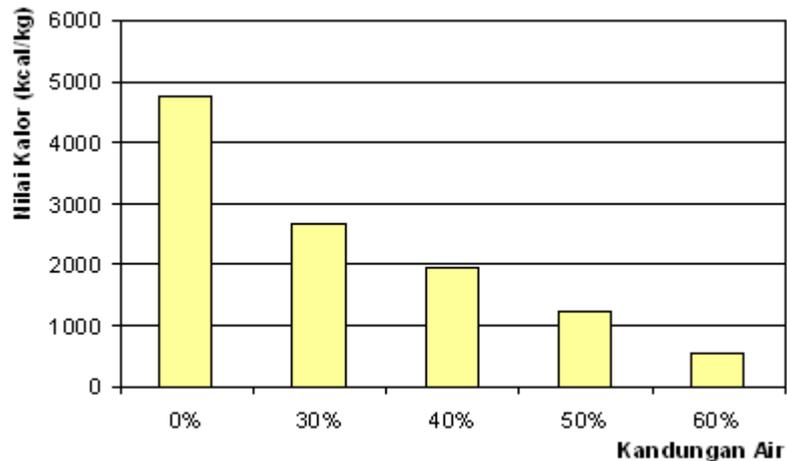
II.1.3 Kadar Air

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:

- Kecepatan dispersi uap dari sampah.
- Tingginya diferensiasi suhu, yaitu kenaikan suhu bertahap yang diperlukan.
- 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)

II.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

$$C_{\text{kalorimeter}} = \text{kapasitas kalor kalorimeter (J/}^{\circ}\text{C atau J/K)}$$

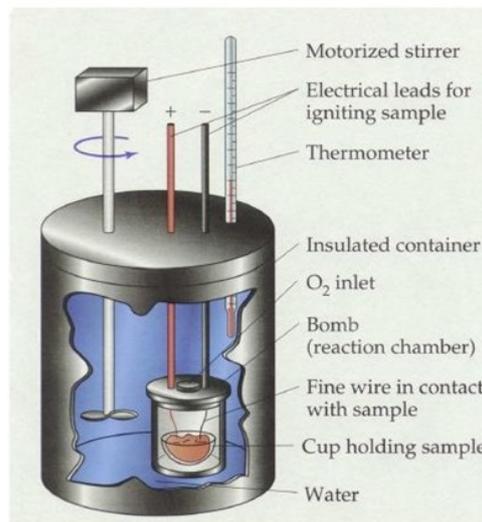
$$\Delta T = \text{perubahan suhu (}^{\circ}\text{C atau K)}$$

(anonim, 2015).

Ada dua macam penentuan: nilai kalor tinggi (HHV, *higer 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.

Ada dua macam penentuan: nilai kalor tinggi (HHV, *higer 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 *Bomb 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 Oxygen 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 Oxygen 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.

II.2 Pirolisis dan Reaktor Pirolisis

Pirolisis adalah dekomposisi termal suatu zat yang terjadi tanpa adanya udara atau oksigen, dan merupakan langkah pertama dari semua pembakaran dan proses gasifikasi. Pirolisis adalah kasus khusus termolisis. Pirolisis ekstrim, yang hanya meninggalkan karbon sebagai residu, disebut karbonisasi.. Proses ini merupakan peruraian dengan bantuan panas tanpa adanya oksigen atau dengan jumlah oksigen yang terbatas. Pirolisis dapat mengkonversi biomassa kayu menjadi arang, minyak cair dan gas. Hal ini berpotensi merupakan cara yang efektif untuk mengurangi besar biomassa menjadi bahan bakar energi padat, seragam dan mudah diangkut. Uap organik yang dihasilkan mengandung karbon monoksida, metana, karbon dioksida, tar yang mudah menguap dan air. Uap organik kemudian dikondensasikan

menjadi cairan. Cairan hasil pirolisis dikenal sebagai *bio-oil*. Dengan proses pirolisis tersebut bahan baku berupa limbah organik akan terdekomposisi menjadi arang, *bio-oil*, dan syngas. *Bio-oil* dan syngas potensial untuk pembangkit listrik dan panas yang sangat dibutuhkan oleh proses industri. Ada tiga jenis luas pirolisis: lambat, ringan dan cepat. Ini dibandingkan pada Tabel 2.2 Setiap proses terjadi di bawah kondisi yang berbeda dan bentuk produk akhir yang berbeda.

Tabel 2. 2 Jenis pirolisis, istilah yang digunakan, produk dan status pengembangan

Jenis Pirolisis	Syarat Digunakan	Temperatur	Waktu Tinggal	Produk Primer	Status
Ringan	Torefaksi, Torifaksi, Pengeringan Tanpa Udara, Distilasi Destruktif	400-600°F (200-315 °C)	Pendek (5-30 menit)	<i>Torrified</i> kayu (‘ <i>Bio</i> - batubara’)	Proyek Demonstrasi
Lambat	Pembuatan Arang, Karbonisasi	550-750 °F (300-400 °C)	Lama (berjam- jam)	Arang (‘ <i>bio</i> - arang)	Komersil

Cepat	Pirolisis Cepat, Flash Pyrolysis	750-1100 °F (400-600 °C)	Pendek (<1 detik)	Cairan (‘ <i>bio-oil</i> ’), arang (‘ <i>bio-arang</i> ’), gas(‘H ₂ , CH ₄ , CO & CO ₂ ’). Asap cair	Proyek demonstrasi untuk produk energi. Komersil pada industri makanan.
-------	--	-----------------------------------	-------------------------	--	---

II.2.1 Produk Pirolisis

Tiga kategori produk utama dari proses pirolisis merupakan padatan (arang kayu dan *torrefied* arang), tar (*bio-oil*) dan campuran gas. Produk yang dihasilkan akan berbeda, tergantung pada jenis reaksi dan waktu, temperatur, komposisi bahan baku dan ukuran.

II.2.1.1 Torrefied Kayu (‘bio-batubara’)

Bio-batubara adalah produk dari proses pirolisis ringan. Bahan baku biomassa dimodifikasi dengan proses termokimia dalam proses mengubah sifat-sifatnya. *Bio-batubara* memiliki massa lebih ringan dari bahan baku biomassa yang berarti, produk akan lebih mudah dan murah untuk transportasi.

Karakteristik lain berarti bahwa *bio-batubara* dapat digunakan sebagai pengganti langsung untuk batubara di pembangkit listrik. Ini termasuk kepadatan energi yang lebih tinggi (10.500 BTU / lb vs 8.500 BTU / lb untuk kayu), hidrofobik yang memungkinkan penyimpanan di luar ruangan, dan kemampuan untuk menghancurkan materi

memungkinkan penggilingan dalam peralatan pengolahan batubara.

II.2.1.2 Arang ('Bio-arang')

Arang telah dibuat dari kayu selama ribuan tahun menggunakan proses pirolisis lambat. bio-arang hitam berpori, bahan karbon terdiri dari 85 sampai 98% karbon. *Bio-arang* dapat diproduksi dalam bentuk gumpalan-gumpalan (terbentuk dari potongan kayu solid) atau bentuk briket (terbentuk dari partikel arang kecil dan aditif lainnya untuk meningkatkan ikatan dan pembakaran). Semua proses pirolisis membentuk beberapa jenis produk arang. Arang terdiri dari bahan anorganik dan organik padatan yang belum berubah. Bio-arang memiliki kandungan abu dan kandungan alkali yang lebih tinggi yang bila dibakar dapat menyebabkan masalah kerak dan korosi pada boiler.

II.2.1.3 Cair ('bio-oil')

Bio-oil adalah campuran dari komponen organik dengan kandungan air yang tinggi (15-35%) dan kandungan oksigen (35 - 40%). Karena kandungan air dan oksigen yang tinggi *bio-oil* memiliki nilai kalor relatif rendah - 50% dari bahan bakar konvensional. *Bio-arang* adalah asam (pH 2-3, terutama asetat dan asam formiat) dan oleh karena itu sangat korosif yang juga membatasi aplikasi yang potensial. Hal ini tidak stabil dalam penyimpanan sebagai bahan bakar fosil. Viskositas dan berat molekul meningkat dengan seiring waktu dan pemisahan fase mungkin terjadi. Bio-oil tidak mungkin untuk langsung dicampur dengan bahan bakar berbasis hidrokarbon lainnya.

II.2.1.4 Gas

Gas terkondensasi (uap organik yang terdiri dari fragmentasi lignin, selulosa dan hemiselulosa) yang didinginkan dengan cepat membentuk minyak *bio-oil* pada pirolisis cepat. Gas non-terkondensasi dari pirolisis termasuk hidrogen, metana, karbon monoksida dan karbon dioksida. Proses ini memungkinkan untuk menghasilkan hidrogen dalam volume besar dalam preferensi untuk minyak dengan mengoptimalkan kondisi untuk suhu tinggi, laju pemanasan tinggi dan waktu tinggal fase uap yang panjang.

Katalis dapat meningkatkan hasil hidrogen. Katalis yang umum digunakan ialah nikel, potasium, kalsium dan berbasis magnesium. *Steam* terbentuk dari uap dan airgas reaksi pergeseran lanjut dapat meningkatkan produksi hidrogen. Hal ini juga memungkinkan untuk menghasilkan hidrogen dari *bio-oil* atau hanya larut dalam fraksi air. Produk proses pirolisis merupakan padatan (arang), gas dan uap kondensat organik.

Campuran produk tergantung pada jenis dan parameter proses pirolisis. Tabel 2.2 merangkum hasil produk untuk proses pirolisis perkiraan. Hasil pirolisis lambat terutama berbentuk *char* (arang) sedangkan obyek pirolisis cepat adalah untuk memaksimalkan penguapan partikel kayu untuk memberikan hasil yang tinggi dari cairan (*bio-oil*). Proses ini bias menaikkan sampai 80% dari massa bahan awal, namun paling sering adalah antara 65-75% (basis berat kering).

Dalam pirolisis cepat arang biasanya dipisahkan dari gas panas / aliran uap sementara melewati siklon, gas kemudian masuk ruang pendingin di mana gas lalu terkondensasi cepat untuk membentuk fase tunggal bio-minyak gelap atau dikumpulkan sebagai gas non-terkondensasi (hidrogen, metana, karbon monoksida dan karbon

dioksida). Banyak jenis reaktor telah dirancang dan dikembangkan dari laboratorium untuk skala komersial. Persyaratan operasi seperti ukuran partikel dan mekanisme perpindahan panas berbeda dan secara signifikan mempengaruhi produk yang dihasilkan.

Berikut hasil produk pirolisis berdasarkan tipe pirolisi yang dilakukan terlihat pada tabel 2.3 :

Tabel 2. 3 Produk hasil dari proses pirolisis

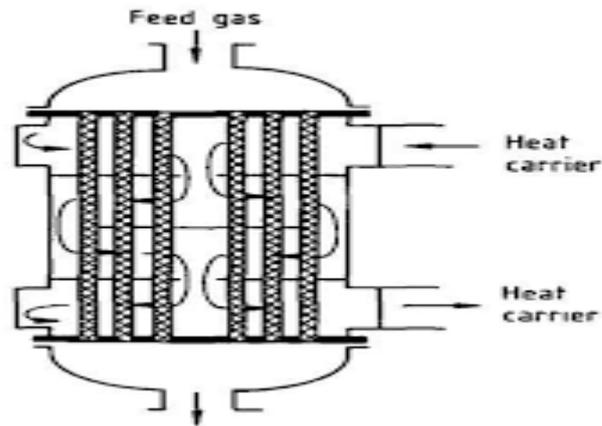
Tipe Pirolisis	Hasil Produk		
	Cairan	Padat	Gas
Ringan	~11%	70-90%	~2%
Lambat	30%	35%	35%
Cepat	75%	12%	13%

II.2.2 Reaktor Pirolisis

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:

1. Reaktor tipe *fixed bed*

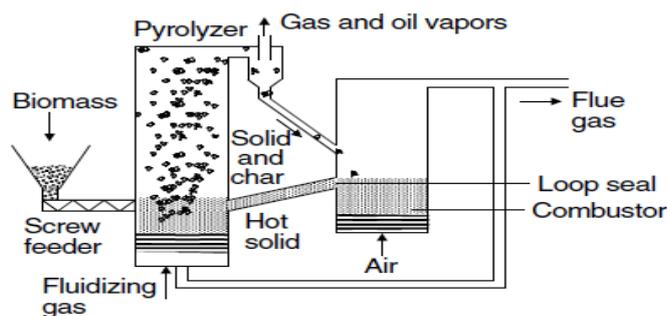
Reaktor ini mempunyai karakteristik laju pemanasan (*heating rate*) yang rendah sehingga koefisien perpindahan panas yang terjadi rendah. Reaktor *fixed bed* sering digunakan untuk mengidentifikasi parameter yang mempengaruhi kadungan produk yang akan ditorefaksi/pirolisis. Sketsa dari reaktor *fixed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



Gambar 2. 6 Sketsa reaktor *fixed bed*
(sumber : Chen *et al.* 2014)

2. Reaktor tipe *fluidized bed*

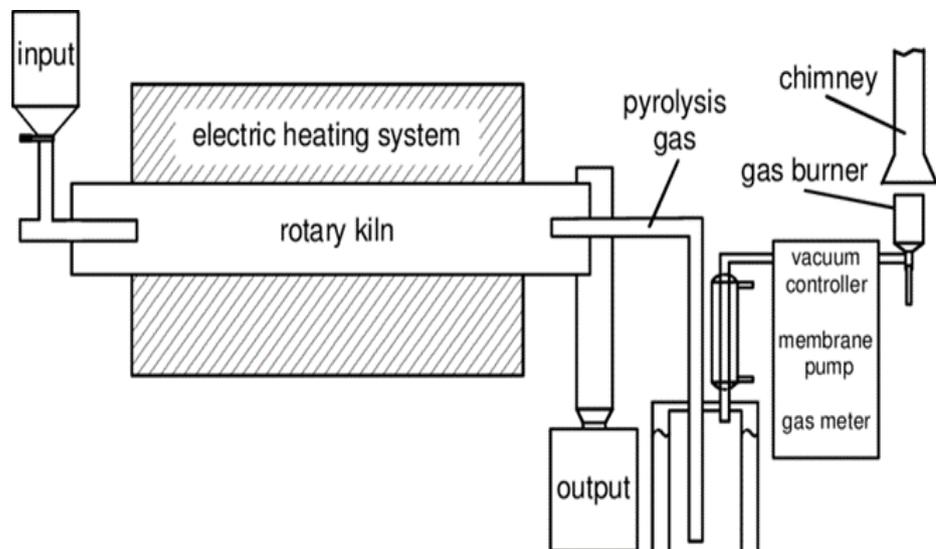
Reaktor ini bercirikan tingkat pemanasan (*heating rate*) yang tinggi, namun dalam industri tipe ini jarang digunakan. Karena pemisahan material, serta pemanasan dan resirkulasi eksternal yang rumit. Reaktor ini lebih sering digunakan untuk menggambarkan pengaruh temperatur dan waktu tinggal (*residence 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 Skesa reaktor *fluidized bed*
(sumber : Chen *et al.* 2014)

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.



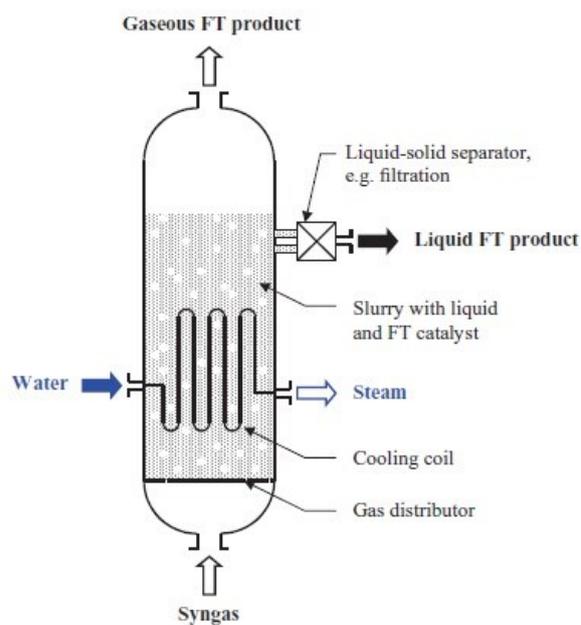
Gambar 2. 8 Sketsa reaktor *rotary kiln*

(sumber : Chen *et al.* 2014)

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 sekrop 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)

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 reaktor 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/pirolisis biomassa dalam bentuk debu/abu sisa pemanasan.
6. *Multi stage dry condenser* merupakan komponen aliran air kondensasi yang dihasilkan dari proses pemanasan biomassa.



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

II.3 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 sintetis 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 mikroorganisme 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

II.3.1 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 didataran rendah.
5. Faktor waktu. Bergantung pada faktor 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.

II.4 Bahan Bakar Alternatif Lainnya

II.4.1 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

II.4.2 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 pematubaraan. 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

II.4.3 Sekam Padi

Hadi Susanto menunjukkan mesin pengering gabah atau biasa disebut vertical dryer. Mesin yang dilengkapi 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

II.5 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).

II.5.1 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.

II.5.2 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 bahanbahan 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.

II.5.3 *Volatile Matter*

Bahan-bahan yang mudah menguap (*volatile matters*) adalah zat-zat yang ditemukan didalam bahan bakar seperti methana, 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 matters* tinggi berarti sebagian besar nilai kalor yang dimiliki akan dilepaskan sebagai uap pembakaran.

II.5.4 *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 ulimat 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*.