

SKRIPSI

**PENGARUH VARIASI BIOMASSA TERHADAP
EFISIENSI TERMAL DAN DAYA KELUARAN
PADA PROSES GASIFIKASI**

OLEH :
GABRIEL ESMERALDO PAKONDO
D021 17 1513



UNIVERSITAS HASANUDDIN

PROGRAM STUDI TEKNIK MESIN
DEPARTEMEN TEKNIK MESIN
FAKULTAS TEKNIK
GOWA

TAHUN 2022

SKRIPSI

**Pengaruh Variasi Biomassa Terhadap Efisiensi Termal Dan Daya Keluaran Pada
Proses Gasifikasi**

Disusun Dan Diajukan Oleh :

GABRIEL ESMERALDO PAKONDO

D021171513

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

DEPARTEMEN TEKNIK MESIN

FAKULTAS TEKNIK

UNIVERSITAS HASANUDDIN

GOWA

2022

LEMBAR PENGESAHAN

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

JUDUL:

**PENGARUH VARIASI BIOMASSA TERHADAP EFISIENSI TERMAL
DAN DAYA KELUARAN PADA PROSES GASIFIKASI**

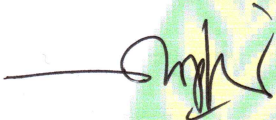
GABRIEL ESMERALDO PAKONDO

D021171513

Telah diperiksa dan disetujui oleh:

Gowa, 22 Februari 2022

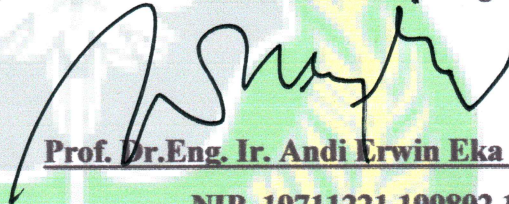
Dosen Pembimbing I



Dr. Eng. Novriany Amaliyah, ST., MT

NIP. 19791112 200812 2 002

Dosen Pembimbing II



Prof. Dr. Eng. Ir. Andi Erwin Eka Putra, ST., MT

NIP. 19711221 199802 1 001

Mengetahui,

Ketua Departemen Teknik Mesin Fakultas Teknik

Universitas Hasanuddin



Dr. Eng. Jalaluddin, ST., MT

NIP. 19720825 200003 1 001

PERNYATAAN KEASLIAN

Yang bertanda tangan dibawah ini:

Nama : Gabriel Esmeraldo Pakondo
NIM : D021171513
Program Studi : Teknik Mesin
Jenjang : S-1

Menyatakan dengan ini bahwa karya tulisan saya berjudul

“Pengaruh Variasi Biomassa Terhadap Efisiensi Termal Dan Daya Keluaran Pada Proses Gasifikasi ”

Adalah karya tulisan saya sendiri dan bukan merupakan pengambilan alihan tulisan oran lain bahwa skripsi yang saya tulis ini benar-benar merupakan hasil karya saya 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, 14 Februari 2022

Yang membuat pernyataan,



Gabriel E pakondo

ABSTRAK

Pada Gasifikasi tipe Updraft bahan bakar dimasukkan dari bagian atas dan udara masuk pada bagian bawah reaktor. Kekurangan dari gasifikasi tipe Updraft adalah gas yang keluar dari reaktor berada pada kondisi temperatur rendah ($<500\text{ }^{\circ}\text{C}$), serta membawa tar yang terkondensasi serta minyak yang berasal dari proses pirolis. Pada penelitian ini akan membandingkan bahan bakar biomassa Tempurung Kelapa dan kayu trembesi dari segi efisiensi termal dan daya keluaran yang dihasilkan. Bahan bakar tersebut dibakar didalam reaktor sampai Syngas terproduksi, setelah Syngas berproduksi pada reaktor, nyalakan menggunakan pemantik lalu masak air seberat 3 kg. Hal ini dilakukan untuk mengetahui besar efisiensi termal dan daya keluaran dari masing-masing biomassa yang digunakan. Dari hasil penelitian, didapat mampu nyala dari biomassa Tempurung kelapa selama 27 menit 23 detik sedangkan biomassa kayu trembesi sawit selama 31 menit 33 detik. Efisiensi termal hasil proses gasifikasi menggunakan biomassa tempurung kelapa sebesar 10.01%, sedangkan pada Biomassa kayu trembesi adalah 12.08%. Dan daya keluaran yang dihasilkan pada proses gasifikasi menggunakan biomassa tempurung kelapa sebesar 435.76 kW, sedangkan saat menggunakan biomassa kayu trembesi mendapatkan daya keluaran sebesar 363.25.

ABSTRACT

In the Updraft type gasification, fuel is fed from the top and air enters at the bottom of the reactor. The disadvantage of the Updraft type gasification is that the gas coming out of the reactor is at a low temperature ($< 500\text{ }^{\circ}\text{C}$), and carries condensed tar and oil from the reactor. pyrolysis process. In this study, we will compare Coconut Shell biomass fuel and Trembesi wood in terms of thermal efficiency and output power. The fuel is burned in the reactor until Syngas is produced, after Syngas is produced in the reactor, turn it on using a lighter and then boil 3 kg of water. This is done to determine the thermal efficiency and output power of each biomass used. From the results of the study, it was found that coconut shell biomass was able to ignite for 27 minutes 23 seconds while oil palm biomass for 31 minutes 33 seconds. The thermal efficiency of the gasification process using coconut shell biomass was 10.01%, while the Trembesi wood biomass was 12.08%. And The output power generated in the gasification process using coconut shell biomass is 435.76 kW, while when using Trembesi wood biomass, the output power is 363.25 kW.

KATA PENGANTAR

Segala puji dan syukur dipanjatkan atas kehadiran Tuhan Yang Maha Esa, yang telah memberikan kemampuan, kasih dan karunia-Nya, sehingga penulis dapat menyelesaikan dengan judul **“Pengaruh Variasi Biomassa Terhadap Efisiensi Termal Dan Daya Keluaran Pada Proses Gasifikasi”**. Penyusunan skripsi ini dilakukan dalam rangka memenuhi syarat untuk mencapai gelar Sarjana Teknik di Departemen Mesin Fakultas Teknik Universitas Hasanuddin, Makassar.

Penulis menyadari dalam penyusunan skripsi ini masih terdapat kekurangan dikarenakan keterbatasan penulis sebagai manusia biasa. Untuk itu penulis sangat mengharapkan kritik dan saran dalam skripsi ini. Semoga skripsi ini berguna bagi penulis dan pihak-pihak lain sebagai acuan untuk kebutuhan ilmu pengetahuan.

Penulis mengucapkan terima kasih kepada pihak-pihak yang telah memberikan bimbingan serta masukan, sehingga penulis dapat menyelesaikan skripsi ini. Penulis juga sangat menyadari penyusunan skripsi ini tidak akan selesai tanpa kerja keras penulis dan bantuan orang-orang terdekat yang selalu memberikan berbagai macam dukungan dan masukan demi kelancaran skripsi ini. Atas alasan itu pula penulis ingin mengucapkan banyak terima kasih:

1. Kepada Orang tua saya tercinta, Bapak Sumarjan Pakondo, ST dan Ibu Adelina Christiani Maskikit terima kasih atas semua kasih sayang, dukungannya, dan doa. Kalian adalah semangat penulis dalam menyelesaikan studi ini.
2. Bapak Dr.Eng. jalaluddin ST., MT selaku ketua Departemen Mesin Fakultas Teknik Universitas Hasanuddin beserta seluruh staff Departemen Mesin Fakultas Teknik Universitas Hasanuddin atas segala bantuan dan kemudahan yang diberikan.
3. Dr.Eng. Novriany Amaliyah, ST., MT. selaku pembimbing I Tugas Akhir.
4. Prof.Dr.Eng.Ir. Andi Erwin Eka Putra, ST.,MT selaku pembimbing II Tugas Akhir.
5. Bapak Ir.baharuddin.,M.T. selaku penguji.
6. Bapak Asriadi Sakka, ST.,M.Eng. selaku penguji.
7. Segenap Dosen Departemen Mesin Fakultas Teknik Universitas Hasanuddin.
8. Bapak H. Muis Tolla selaku laboran di Laboratorium Motor Bakar yang senantiasa membantu dalam penelitian saya.
9. Kanda Surahman, dan anak-anak di TMP09 senantiasa selalu menjadi teman diskusi yang sudah membantu penulis dalam memecahkan berbagai kendala dalam penelitian.

10. Saudara-saudara seperjuangan penulis Zyncromezh 2017 yang sudah menjadi tim hore dan tim *support* paling hebat yang selalu ada dalam suka maupun duka, yang bahkan saya tidak yakin bisa menyelesaikan penelitian ini dengan baik tanpa mereka.

Gowa, Februari 2022

Gabriel E Pakondo

DAFTAR ISI

SAMPUL	i
HALAMAN JUDUL	ii
LEMBAR PENGESAHAN	iii
PERNYATAAN KEASLIAN	iv
ABSTRAK	v
ABSTRACT	vi
KATA PENGANTAR	vii
DAFTAR ISI	ix
DAFTAR GAMBAR	xi
DAFTAR TABEL	xii
DAFTAR SIMBOL	xiii
BAB I PENDAHULUAN	1
1.1. Latar Belakang	1
1.2. Rumusan Masalah	3
1.3. Tujuan Penelitian	3
1.4. Batasan Masalah	3
1.5. Manfaat Penelitian	3
BAB II LANDASAN TEORI	4
2.1. Biomassa	4
2.2. Gasifikasi	5
2.3. Tipe Reaktor Gasifikasi	6
2.4. Tahapan Proses Gasifikasi	9
2.5. Parameter Pengujian Gasifikasi	12
BAB III METODOLOGI PENELITIAN	16
3.1. Waktu dan Tempat Penelitian	16
3.2. Alat dan Bahan	16
3.3. Skema Penelitian	23
3.4. Metode Pengambilan Data	24
3.5. Prosedur Penelitian	24
3.6. Diagram Alir Penelitian	26

BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN	27
4.1. Data Pengujian	27
4.2. Data Hasil Pengujian	28
4.3. Perhitungan Pengujian Menggunakan Tempurung Kelapa	29
4.4. Perhitungan Pengujian Menggunakan Kayu Trembesi	36
4.5. Analisis Grafik Pengujian Gasifikasi dengan Variasi	
Biomassa	43
BAB V PENUTUP	55
5.1 Kesimpulan	55
5.2 Saran	55
DAFTAR PUSTAKA	
LAMPIRAN	

DAFTAR GAMBAR

Gambar 2.1. Reaktor Gasifikasi <i>Updraft</i>	7
Gambar 2.2. Reaktor Gasifikasi <i>Downdraft</i>	8
Gambar 2.3. Reaktor Gasifikasi <i>Crossdraft</i>	9
Gambar 3.1. Reaktor gasifikasi dengan system <i>updraft gasifier</i>	16
Gambar 3.2. Tabung <i>filter</i> gas hasil gasifikasi	17
Gambar 3.3. Pipa pendingin gas hasil gasifikasi	17
Gambar 3.4. <i>Fan</i>	18
Gambar 3.5. <i>Anemometer</i>	18
Gambar 3.6. Termokopel	19
Gambar 3.7. Timbangan <i>digital</i>	19
Gambar 3.8. Aki	20
Gambar 3.9. Selang	20
Gambar 3.10. Tempurung kelapa	21
Gambar 3.11. Kayu trembesi	21
Gambar 3.12. Air	22
Gambar 3.13. Skema Penelitian	23
Gambar 4.1. Perbandingan Laju Konsumsi bahan Bakar (<i>FCR</i>)	43
Gambar 4.2. Perbandingan Rasio Udara Bahan Bakar (<i>AFR</i>)	44
Gambar 4.3. Perbandingan Equivalence Ratio (<i>ER</i>)	45
Gambar 4.4. Perbandingan Gas dapat Terbakar	46
Gambar 4.5. Perbandingan Waktu Operasi Syngas	47
Gambar 4.6. Perbandingan Laju Alir Syngas	48
Gambar 4.7. Perbandingan Panas Sensibel (<i>SH</i>)	49
Gambar 4.8. Perbandingan Panas Laten (<i>LH</i>)	50
Gambar 4.9. Perbandingan Input Energi Panas	51
Gambar 4.10. Perbandingan Efisiensi Termal	52
Gambar 4.11. Perbandingan Daya keluaran	53

DAFTAR TABEL

Tabel 4.1. Data Percobaan	27
Tabel 4.2. Data Hasil Pengujian	28
Tabel 4.3. <i>Ultimate analysis</i> dari Setiap Tanaman	31
Tabel 4.4. Tabel Hasil Data Perhitungan Pengujian dengan menggunakan Tempurung Kelapa	35
Tabel 4.5. <i>Ultimate analysis</i> dari Setiap Tanaman	38
Tabel 4.6. Tabel Hasil Data Perhitungan Pengujian dengan menggunakan Kayu Trembesi	42

DAFTAR SIMBOL

FCR atau $\dot{m}_f$	Laju konsumsi bahan bakar	kg/s
$\dot{m}_a$	Laju alir udara	kg/s
ρ_{udara}	Massa jenis udara	kg/m ³
A_{pipa}	Luas pipa udara <i>supply</i>	m ²
V_u	Kecepatan udara <i>supply</i>	m/s
Q_s	Laju alir volumetrik syngas	m ³ /s
$A_{\text{selang syngas}}$	Luas selang syngas	m ²
V_s	Kecepatan syngas	m/s
AFR_{act}	Rasio udara bahan bakar	-
ER	Rasio ekivalen	-
SH	Panas sensibel	kJ/s
M_{A1}	Massa awal air	kg
M_{A2}	Massa akhir air	kg
C_p	Panas jenis air	kJ/kg °C
ΔT	Perbedaan temperatur	°C
T_{A1}	Temperatur air mendidih	°C
T_{A2}	Temperatur air sebelum mendidih	°C
t_A	Waktu mendidihkan air	s
LH	Panas laten	kJ/s
W_e	Berat air yang diuapkan	kg
H_{fg}	Panas laten air	kJ/kg
Q_{in}	Energi panas tersedia dalam bahan bakar	kJ/s

HVF	Nilai kalor biomassa	kJ/kg
M_b	Massa biomassa	kg
TE	Efisiensi Termal	%
D_1	Diameter pipa udara <i>supply</i>	m
D_2	Diameter selang syngas	m
t_{G1}	Waktu gas dapat terbakar	s
t_{G2}	Waktu gas tidak dapat terbakar	s
t_A	Waktu mendidihkan air	s

BAB I

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Saat ini kebutuhan energy merupakan salah satu sumber kehidupan manusia yang tidak dapat dipisahkan. Energi dapat diklasifikasikan menjadi dua yaitu energy yang bersumber dari makhluk hidup dan tanaman. Pada penelitian kali ini, peneliti berfokus kepada energy yang bersumber dari tumbuhan yang disebut dengan biomassa. Energi biomassa merupakan sumber energy alternatif yang perlu mendapatkan prioritas dalam pengembangannya.

Menurut Cahyono (2013), Indonesia memiliki ketersediaan bahan organik berupa sisa pertanian dan perkebunan yang berlimpah. Beberapa contohnya adalah kayu trembesi, ranting, daun, sekam padi, ampas tebu, cangkang dan tempurung kelapa, karena Indonesia merupakan Negara kepulauan yang memiliki sumber daya alam melimpah dimana banyak menghasilkan limbah alam yang belum dimanfaatkan secara optimal. Limbah alam tersebut dapat meliputi limbah hasil pertanian dan kehutanan seperti kayu trembesi, dan tempurung kelapa. Kayu trembesi dan tempurung kelapa tersebut dapat dijadikan energy biomassa karena tidak sulit didapatkan serta cara (teknologi) pengolahannya pun tidak rumit. Salah satu cara untuk mengolahnya yaitu melalui proses termokimia. Dengan proses termokimia, biomassa dapat dikonversikan menjadi energy melalui tiga cara yaitu: pembakaran langsung (direct combustion), gasifikasi, dan pirolisa. Pada penelitian ini, penulis menggunakan metode gasifikasi.

Beberapa penelitian gasifikasi biomassa menggunakan updraft gasifier telah dilakukan (Saravanakumar) melakukan penelitian gasifikasi menggunakan bottom lift updraft gasifier dengan bahan bakar kayu. Hasil penelitiannya menunjukkan bahwa dengan laju pemakaian bahan bakar antara 9 hingga 10 kg/jam, maka efisiensi gasifikasi yang terjadi adalah 73% dan menghasilkan stabilitas producer gas selama 5 jam operasi dengan temperatur api rata-rata 7500C. (Wang, dkk) melakukan penelitian gasifikasi menggunakan updraft gasifier yang diintegrasikan dengan gas reformer untuk mengerakkan mesin berbahan bakar gas. Bahan bakar gasifier yang digunakan pada penelitian ini adalah kepingan kayu (woodchips). Hasil penelitiannya menunjukkan bahwa nilai kalor gas yang dihasilkan adalah 3,9 MJ/m³ dengan efisiensi gasifikasi 60 % dan efisiensi keseluruhan sistem sebesar 27 %. (Adi Surjosatyo), melakukan penelitian

menggunakan updraft gasifier yang dintegrasikan dengan swirl gas burner, menggunakan bahan bakar gasifier tempurung kelapa sawit. Hasil penelitian tersebut menunjukkan bahwa temperatur api pada swirl gas burner yang terjadi adalah antara 590 0C hingga 677 0C, dengan emisi yang paling rendah CO 65 ppm dan NOx 70 ppm. Handoyo (2013), telah melakukan pengujian gasifikasi tipe updraft gasifier tentang pengaruh variasi kecepatan udara terhadap temperatur pembakaran pada tungku gasifikasi sekam padi dengan menggunakan kecepatan udara 3,5 m/s, 4,0 m/s dan 4,5 m/s. Hasil pengujian menunjukkan, variasi kecepatan udara sangat berpengaruh terhadap temperatur pembakaran, temperatur pendidihan air, nyala efektif serta efisiensi thermal tungku yang dihasilkan.

Setiawan, et al (2014), telah melakukan pengujian gasifikasi tipe updraft gasifier tentang gasifikasi batu bara lignite dengan variasi kecepatan udara untuk keperluan karbonasi. Penelitian ini menggunakan kecepatan udara yaitu 2,0 m/s, 4,0 m/s dan 6,0 m/s. Hasil penelitian menunjukkan variasi kecepatan udara sangat berpengaruh terhadap temperatur pembakaran, nyala efektif serta efisiensi thermal tungku yang dihasilkan. Pada kecepatan udara 2,0 m/s temperatur tertinggi sebesar 232°C dengan nyala efektif 82 menit dan efisiensi thermal tungku sebesar 18,46%. Pada kecepatan 4,0 m/s, temperatur tertinggi sebesar 294°C dengan nyala efektif 52 menit dan efisiensi thermal tungku sebesar 24,62%. Pada kecepatan 6,0 m/s, temperatur tertinggi sebesar 369°C dengan nyala efektif 47 menit dan efisiensi thermal tungku sebesar 31,31%.

Heru, et al (2014), telah melakukan pengujian gasifikasi tipe downdraft gasifier tentang pengaruh equivalence ratio terhadap efisiensi termal proses gasifikasi sistem downdraft satu saluran udara masuk dengan menggunakan biomassa sekam padi. Variasi nilai equivalence ratio pada proses gasifikasi yang digunakan ialah 0,21, 0,26, 0,31, dan 0,36. Hasil penelitian didapatkan efisiensi paling besar pada nilai equivalence ratio 0,26 dimana efisiensi termalnya adalah 59,64%.

Dikarenakan biomassa di negara kita jumlahnya yang berlimpah untuk di dapatkan, maka penulis akan melakukan penelitian **“Pengaruh Variasi Biomassa Terhadap Efisiensi Termal Pada Proses Gasifikasi”**.

1.2 Rumusan Masalah

Berdasarkan latar belakang di atas, ada beberapa permasalahan yang dapat dirumuskan antara lain:

1. Bagaimana Pengaruh Variasi bahan bakar terhadap efisiensi termal
2. Bagaimana Pengaruh Variasi bahan bakar terhadap Daya Keluaran

1.3 Tujuan Penelitian

Berdasarkan rumusan masalah di atas, ada beberapa tujuan dari penelitian ini antara lain:

1. Menganalisis efisiensi termal antara gasifikasi berbahan bakar kayu trembesi dengan gasifikasi berbahan bakar tempurung kelapa
2. Menganalisis daya keluaran antara gasifikasi berbahan bakar kayu trembesi dengan gasifikasi berbahan bakar tempurung kelapa

1.4 Batasan Masalah

Adapun batasan masalah dalam penelitian ini antara lain:

1. Tungku pembakaran menggunakan sistem *updraft* gasifier
2. Biomassa yang digunakan adalah kayu trembesi dan tempurung kelapa yang telah dikeringkan dengan berat 3kg
3. Fan yang digunakan adalah fan dari suncell

1.5 Manfaat Penelitian

Manfaat yang dapat diperoleh dari penelitian ini antara lain:

1. Mengetahui perbandingan efisiensi termal gasifikasi dengan menggunakan biomassa kayu trembesi dan gasifikasi menggunakan biomassa tempurung kelapa
2. Mengetahui perbandingan daya keluaran gasifikasi dengan menggunakan biomassa kayu trembesi dan gasifikasi menggunakan biomassa tempurung kelapa

BAB II

LANDASAN TEORI

2.1. Biomassa

Biomassa merupakan bahan energi organik yang berasal dari alam termasuk didalamnya tumbuhan dan hewan. Biomassa juga mengacu pada sampah yang dapat diurai melalui proses bio (biodegradable wastes). Bahan organik yang diproses melalui proses geologi seperti batu bara dan minyak tidak digolongkan kedalam kelompok biomassa. Biomassa termasuk bahan energi yang dapat diperbaharui karena dapat selalu ditumbuhkan. Energi yang terdapat dalam biomassa berasal dari sinar matahari selama proses fotosintesis. Energi yang tersimpan dalam biomassa dapat digunakan secara langsung dan dapat juga diubah menjadi bentuk cair atau gas.

Biomassa terdiri dari karbon (C), hidrogen (H₂) dan oksigen (O₂) dengan senyawa kimia yang terkandung yaitu selulosa, hemiselulosa dan lignin. Menurut definisi lain biomassa merupakan keseluruhan materi yang berasal dari makhluk hidup yang meliputi bahan organik yang hidup maupun yang mati. Biomassa bersifat mudah didapatkan, ramah lingkungan, dan terbarukan.

Sebelum mengenal bahan bakar fosil, manusia sudah menggunakan biomassa sebagai sumber energi, misalnya dengan menggunakan kayu untuk menyalakan api unggun. Namun penggunaan energi besar-besaran telah membuat manusia mengalami krisis energi. Hal ini disebabkan ketergantungan terhadap bahan bakar fosil seperti minyak bumi dan gas alam yang sangat tinggi. Fosil merupakan sumberdaya alam yang tidak terbarukan, sehingga mengatasi kritis energi masa depan perlu beberapa alternatif sumber energi dikembangkan dimana salah satunya adalah energi biomassa.

Biomassa dapat dikategorikan sebagai biomassa kayu dan biomassa non kayu. biomassa kayu dapat lagi diklasifikasikan menjadi kayu keras dan kayu lunak. Bahan bakar kayu meliputi gelondongan kayu, ranting pohon, tatal kayu, kulit kayu, serbuk gergajian kayu, sisa hasil hutan, arang kayu, dan lain-lain. Sedangkan untuk biomassa non kayu dapat berupa kotoran hewan, minyak tumbuhan, limbah pengolahan gula pasir (ampas tebu, tetes), dan lain-lain. Biomassa non kayu yang dapat digunakan sebagai bahan bakar meliputi limbah hasil pertanian seperti limbah pengolahan industri gula pasir (bagas), sekam padi, jerami, biji-bijian, termasuk pula kotoran hewan dapat juga digunakan sebagai bahan bakar(Suyitno,2011,h 37).

Dalam praktek biomassa bukanlah bahan bakar padat yang paling banyak digunakan, namun demikian biomassa merupakan sumber energi yang atraktif karena mempunyai sifat-sifat berikut (Souza-Santos, 2004):

- Biomassa bersifat dapat diperbaharui.
- Sebagian besar biomassa mempunyai kadar abu yang rendah, sehingga memperkecil permasalahan terhadap abu sisa pembakaran dan peralatan pembersih. Namun demikian jerami dan sekam padi mempunyai kadar abu yang cukup tinggi.
- Biomassa memberikan keleluasaan lokasi pembangkit daya karena dalam beberapa situasi, pembangkit daya dapat diletakkan dekat dengan sumber biomassa.

Disamping itu, jika dibandingkan dengan batu bara, biomassa mempunyai beberapa kekurangan, yaitu mempunyai kadar air yang tinggi, mempunyai komponen alkali (K, Na), dan mempunyai kadar klor. Adanya kadar air dapat menyerap sebagian energi pembakarannya. Alkali dan klor mendorong proses korosi dan erosi dalam boiler dan reaktor gasifikasi bagian dalam.

Sebagai bahan bakar, biomassa perlu dilakukan pengolahan terlebih dahulu agar dapat lebih mudah dipergunakan yang dikenal sebagai konversi biomassa. Teknologi konversi biomassa tentu saja membutuhkan perbedaan pada alat yang digunakan untuk mengkonversi biomassa dan menghasilkan perbedaan bahan bakar yang dihasilkan. Teknologi konversi biomassa menjadi bahan bakar dapat dibedakan menjadi tiga, yaitu pembakaran langsung, konversi termokimia (gasifikasi) dan konversi biokimia (pirolisis). Perbedaan tersebut terletak pada banyaknya udara (oksigen) yang dikonsumsi saat proses konversi berlangsung.

2.2. Gasifikasi

Teknologi gasifikasi merupakan suatu bentuk peningkatan pendayagunaan energi yang terkandung di dalam bahan biomassa melalui suatu konversi dari bahan padat menjadi gas dengan menggunakan proses degradasi termal material-material organik pada temperatur tinggi di dalam pembakaran yang tidak sempurna. Proses ini berlangsung di dalam suatu alat yang disebut *gasifier*. Didalam alat ini dimasukkan bahan bakar biomassa untuk dibakar di dalam reaktor (ruang bakar) secara tidak sempurna. Dengan kata lain, proses gasifikasi merupakan proses pembakaran parsial

bahan baku padat, melibatkan reaksi antara oksigen dengan bahan bakar padat. Uap air dan karbon dioksida hasil pembakaran direduksi menjadi gas yang mudah terbakar, yaitu karbon monoksida (CO), hidrogen (H₂) dan metana (CH₄). Gas-gas ini dapat dipakai sebagai pengganti BBM guna berbagai keperluan seperti menggerakkan mesin tenaga penggerak (diesel atau bensin), yang selanjutnya dapat dimanfaatkan untuk pembangkitan listrik, menggerakkan pompa, mesin giling maupun alat alat mekanik lainnya. Selain itu gas ini juga dapat dibakar langsung untuk tanur pembakaran, mesin pengering, oven dan sebagainya yang biasanya memerlukan pembakaran yang bersih (Guswenda, 2012).

Gasifikasi adalah suatu proses konversi bahan bakar menjadi gas yang bisa terbakar, melalui reaksi termokimia dengan menggunakan sejumlah oksigen yang kurang dari stoikiometri. Sama halnya dengan pirolisis, pada gasifikasi juga terjadi dekomposisi bahan bakar. Jika untuk pirolisis dekomposisi terjadi tanpa adanya oksigen sama sekali, namun untuk gasifikasi dibutuhkan oksigen dengan jumlah tertentu. Gasifikasi biasanya dibuat di ruangan yang bisa diatur jumlah udara masukannya yang dikenal sebagai reaktor. Udara dengan jumlah terbatas tersebut dimasukkan ke dalam reaktor melalui fan atau blower. Pada dasarnya, gas yang dihasilkan selama proses gasifikasi terdiri dari gas yang bisa terbakar seperti, karbon monoksida, hidrogen, metana, dan gas yang tidak dapat terbakar seperti karbon dioksida, nitrogen serta menghasilkan sedikit uap air (Suyitno, 2011).

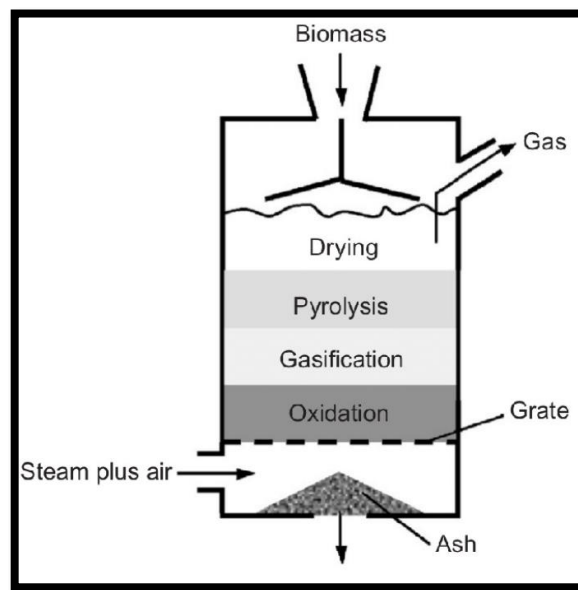
2.3. Tipe Reaktor Gasifikasi

Teknologi gasifikasi yang terus berkembang mengarahkan klasifikasi teknologi sesuai dengan sifat fisik maupun sistem yang berlangsung dalam menciptakan proses gasifikasi. Adapun jenis alat gasifikasi tersebut adalah:

2.3.1. Gasifikasi Updraft

Gasifikasi updraft merupakan reaktor gasifikasi yang umum digunakan secara luas. Ciri khas dari reaktor gasifikasi ini adalah aliran udara dari blower masuk melalui bagian bawah reaktor melalui grate sedangkan aliran bahan bakar masuk dari bagian atas reaktor sehingga arah aliran udara dan bahan bakar memiliki prinsip yang berlawanan (*counter current*).

Produksi gas dikeluarkan melalui bagian atas dari reaktor sedangkan abu pembakaran jatuh ke bagian bawah gasifier karena pengaruh gaya gravitasi dan berat jenis abu. Di dalam reaktor, terjadi zonafikasi area pembakaran berdasarkan pada distribusi temperatur reaktor gasifikasi. Zona pembakaran terjadi di dekat grate yang dilanjutkan dengan zona reduksi yang akan menghasilkan gas dengan temperatur yang tinggi. Gas hasil reaksi tersebut akan bergerak menuju bagian atas dari reaktor yang memiliki temperatur lebih rendah dan gas tersebut akan kontak dengan bahan bakar yang bergerak turun sehingga terjadi proses pirolisis dan pertukaran panas antara gas dengan temperatur tinggi terhadap bahan bakar yang memiliki temperatur lebih rendah. Panas sensible yang diberikan gas digunakan bahan bakar untuk pemanasan awal dan pengeringan bahan bakar. Kedua proses tersebut yaitu proses pirolisis dan proses pengeringan terjadi pada bagian teratas dari reaktor gasifikasi.



Gambar 2.1 Reaktor Gasifikasi Updraft

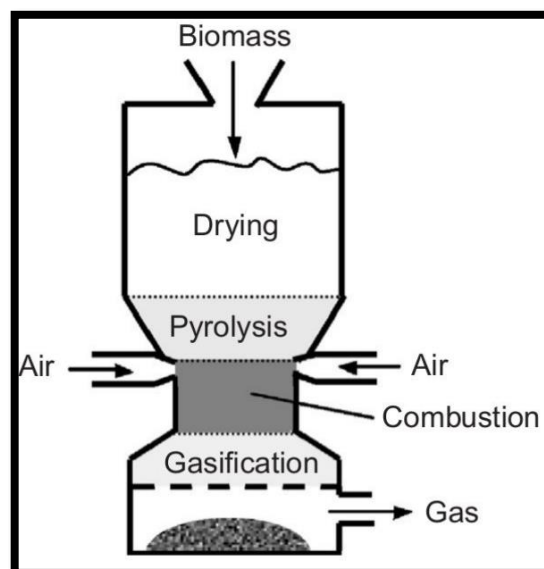
Sumber: Amirhoushang, 2015

Kelebihan dari reaktor gasifikasi updraft adalah mekanisme kerja yang dimiliki oleh reaktor tipe ini jauh lebih sederhana dibandingkan dengan tipe yang lain, sedangkan dengan mekanisme kerja yang lebih sederhana tersebut, ternyata tingkat toleransi reaktor terhadap tingkat kekasaran bahan bakar lebih baik. Selain itu jenis reaktor ini memiliki kemampuan untuk mengolah bahan bakar kualitas rendah dengan temperatur gas keluaran relatif rendah dan memiliki efisiensi yang tinggi akibat dari panas gas keluar reaktor memiliki

temperatur yang relatif rendah. Sedangkan kelemahan reaktor gasifikasi updraft adalah tingkat kadar tar dalam syngas hasil reaksi relatif cukup tinggi sehingga mempengaruhi kualitas dari gas yang dihasilkan serta kemampuan muatan reaktor yang relatif rendah.

2.3.2. Gasifikasi *Downdraft*

Sistem gasifikasi downdraft memiliki sistem yang hampir sama dengan sistem gasifikasi updraft yaitu dengan memanfaatkan sistem oksidasi tertutup untuk memperoleh temperatur tinggi. Bahan bakar dalam reaktor gasifikasi downdraft dimasukkan dari atas reaktor dan udara dari blower dihembuskan dari samping menuju ke zona oksidasi sedangkan syngas hasil pembakaran keluar melalui burner yang terletak di bawah ruangan bahan bakar sehingga saat awal gas akan mengalir ke atas dan saat volume gas makin meningkat maka syngas mencari jalan keluar melalui daerah dengan tekanan yang lebih rendah. Sistem tersebut memiliki maksud agar syngas yang terbentuk akan tersaring kembali oleh bahan bakar dan melalui zona pirolisis sehingga tingkat kandungan tar dalam gas dapat dikurangi. Untuk menghindari penyumbatan gas di dalam reaktor, maka digunakan blower hisap untuk menarik syngas dan mengalirkannya ke arah burner.

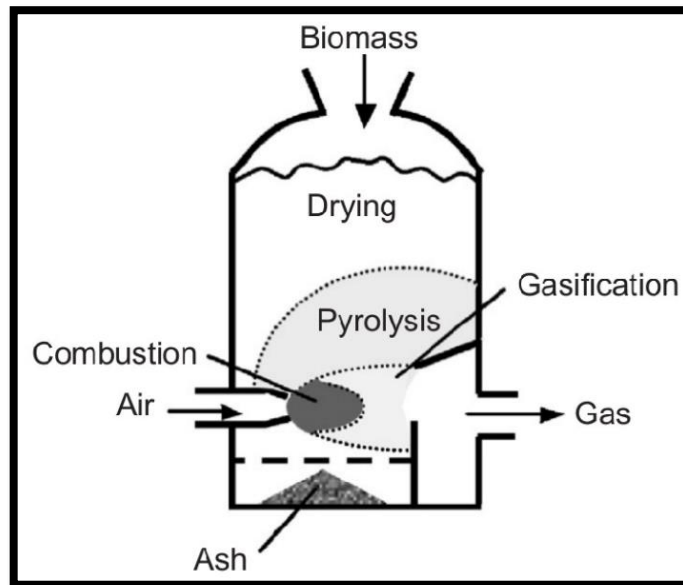


Gambar 2.2 Reaktor Gasifikasi Downdraft

Sumber: Amirhoushang, 2015

2.3.3. Gasifikasi Crossdraft

Pada gasifikasi tipe crossdraft, udara dihembuskan melalui arah horisontal ke dalam gasifikasi. Umpan gasifikasi diumpankan melalui bagian atas atau samping reaktor. Tar dari zona pirolisis tidak seluruhnya akan melalui zona oksidasi. Kontak tar dengan oksigen berlangsung sangat singkat. Hal ini menyebabkan gas produser masih memiliki kandungan tar yang cukup tinggi. Gas hasil gasifikasi harus segera dibakar pada keluaran gasifikasi.



Gambar 2.3 Reaktor Gasifikasi Crossdraft

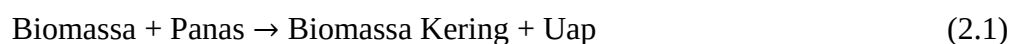
Sumber: Amirhoushang, 2015

2.4. Tahapan Proses Gasifikasi

Walaupun mekanisme dari proses gasifikasi berbeda untuk setiap teknologi proses, partikel biomassa akan mengalami empat tahap utama, yaitu:

2.4.1. Pengeringan

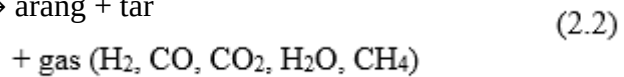
Pengeringan terjadi pada temperatur sekitar 100-120°C. Pengeringan ini bertujuan menghilangkan air yang terdapat pada padatan yang direaksikan. Proses ini akan menguapkan sebagian kandungan air dalam bahan baku.



2.4.2. Pirolisis

Setelah pengeringan dilakukan, bahan bakar akan turun dan menerima panas sebesar 250 °C - 500°C dalam kondisi tanpa udara. Pirolisis dimulai dari

dekomposisi hemiselulosa pada 200°C – 250°C, dekomposisi selulosa sampai 350°C dan pirolisi berakhir pada 500°C. Ketika suhu mencapai 600°C, reaksi pirolisis hampir selesai. Oleh karena itu, pada laju pemanasan 10°C/ detik, pirolisis selesai dalam satu menit. Semakin tinggi laju pemanasan semakin mempercepat pembentukan produk yang mudah menguap, meningkatkan tekanan, waktu tinggal yang pendek dari produk yang menguap di dalam reaktor, dan hasil produk cair yang lebih tinggi dinamakan pirolisis cepat atau pirolisis kilat. Selanjutnya pengarang berlangsung pada 350°C – 600°C, yang terjadi pada batas zona pirolisis dan oksidasi. Produk dari hasil pirolisis terbagi menjadi produk cair (tar), produk gas (H₂, CO, CO₂, H₂O, CH₄), tar dan arang. Biomassa kering + panas → arang + tar



2.4.3. Oksidasi

Tahap oksidasi merupakan bagian proses untuk mensuplai panas yang dibutuhkan dalam proses pengeringan, pirolisis dan reduksi. Proses oksidasi (pembakaran) ini dapat mencapai temperatur 1200°C. Temperatur yang dihasilkan akan mencapai maksimal dikarenakan distribusi oksigen yang merata pada zona oksidasi. Reaksi kimia yang terjadi pada zona pembakaran adalah sebagai berikut:



Reaksi pembakaran lain yang berlangsung adalah oksidasi hidrogen yang terkandung dalam bahan bakar membentuk kukus. Reaksi yang terjadi adalah:



2.4.4. Reduksi

Pada zona reduksi panas yang berlangsung mencapai suhu 600°C - 900°C. Pada zona ini terjadi beberapa reaksi kimia yang merupakan proses penting terbentuknya beberapa senyawa yang berguna untuk menghasilkan produk gas seperti H₂, CO₂, dan CH₄. Berikut reaksi kimia di zona reduksi:

a) *Boudouard reaction*

Boudouard reaction merupakan reaksi antara CO₂ yang terjadi di dalam gasifier dengan arang untuk menghasilkan CO.



b) *Shift conversion*

Shift conversion merupakan reaksi reduksi CO₂ oleh steam untuk memproduksi H₂. Reaksi ini dikenal sebagai *water-gas shift* yang menghasilkan peningkatan perbandingan H₂/CO₂ pada gas produser untuk pembuatan syngas.



c) *Water-gas reaction*

Water-gas reaction merupakan reaksi oksidasi parsial karbon yang dapat berasal dari bahan bakar padat maupun dari sumber yang berbeda. Bahan bakar ini dapat berupa uap air yang dicampur dengan udara dan uap yang diproduksi dari penguapan air.



d) *CO Methanation*

Methanation merupakan reaksi pembentukan gas CH₄.



Komposisi gas hasil gasifikasi tentu saja sangat tergantung pada komposisi biomassa. Komposisi gas hasil gasifikasi bisa jauh berbeda antara biomassa, arang atau batubara. Gasifikasi arang atau batubara akan menghasilkan gas dengan kandungan CO lebih banyak daripada biomassa. Jika diinginkan gas hasil mengandung banyak H₂, gasifikasi dilakukan dengan agen gasifikasi H₂O (*steam gasification*).

Jadi, jenis dan komposisi agen gasifikasi sangat menentukan komposisi gas hasil gasifikasi. Gasifikasi dengan udara (21% O₂ dan 79% N₂) akan menghasilkan gas dengan kandungan N₂ tinggi, dan panas pembakarannya antara 3000-5000 kJ/Nm³. Gas ini disebut gas produser (*producer gas*, atau *low heating value gas*). Gas produser tidak ekonomis untuk ditransportasikan, karena itu pemakaiannya setempat, misalnya gas langsung dimasukkan ke motor bakar untuk mengganti bahan bakar cair.

Jika gas O₂ digunakan sebagai agen gasifikasi, prosesnya menghasilkan gas dengan sedikit kandungan N₂. Tetapi gasifikasi dengan O₂ memiliki resiko terjadinya temperatur tinggi yang dapat merusak bagian dalam *gasifier*. Gasifikasi dengan kukus menghasilkan gas dengan kandungan H₂ tinggi, dengan HHV mencapai 10.000 kJ/Nm³, Gas semacam ini sering disebut medium heating value gas (sebagai pembanding, HHV gas alam sekitar 30000 kJ/Nm³).

Sebagaimana sifat reaksinya, agen gasifikasi sering berupa campuran kukus (*steam*) dan O₂. Kedua agen gasifikasi ini menjadikan reaksi gasifikasi menjadi autotermal (tidak endotermik dan tidak eksotermik), dan temperatur gasifikasi dapat diatur dengan baik.

2.5. Parameter Pengujian Gasifikasi

2.5.1. Laju Konsumsi Bahan Bakar (*Fuel Consumption Rate*)

Laju konsumsi bahan bakar adalah jumlah bahan bakar yang digunakan dalam operasi reaktor dibagi dengan waktu operasi. Ini dihitung menggunakan rumus:

$$FCR \text{ atau } \dot{m}_f = \frac{\text{Massa biomassa yang digunakan (kg)}}{\text{Waktu operasi (s)}} \quad (2.9)$$

2.5.2. Laju Alir Udara

Laju alir udara adalah massa udara yang mengalir per satuan waktu kedalam reaktor. Ini dihitung menggunakan rumus:

$$\dot{m}_a = \rho_{udara} (kg/m^3) \times A_{pipa} (m^2) \times V_u (m/s) \quad (2.10)$$

2.5.3. Laju Alir Volumetrik Syngas

Laju alir syngas adalah massa syngas yang mengalir per satuan waktu. Laju alir syngas juga merupakan banyaknya jumlah syngas yang dapat dihasilkan dari proses gasifikasi per satuan waktu. Ini dihitung menggunakan rumus:

$$Q_s = A_{selang \text{ syngas}} (m^2) \times V_s (m/s) \quad (2.11)$$

Ket:

Q_s= laju alir volumetrik syngas, (m³/s)

$A_{\text{selang syngas}}$ = luas selang syngas, (m^2)

V_s = kecepatan syngas, (m/s)

2.5.4. Rasio Udara Bahan Bakar Aktual (*Air Fuel Ratio Actual*)

Rasio udara bahan bakar aktual (*AFR actual*) merupakan perbandingan antara laju alir udara aktual terhadap laju alir bahan bakar aktual. Untuk menghitung AFR dalam 1 kali operasi dengan waktu tertentu dapat menggunakan persamaan berikut ini

$$AFR_{act} = \frac{\dot{m}_a}{\dot{m}_f} \quad (2.12)$$

2.5.5. Panas Sensibel (*Sensible Heat*)

Panas sensibel adalah jumlah energi panas yang diperlukan untuk menaikkan temperatur air. Ini diukur sebelum dan sesudah air mencapai temperatur pendidihan. Ini dihitung menggunakan rumus:

$$SH = \frac{M_{A1}(\text{kg}) \times C_p(\text{kJ/kg} \cdot ^\circ\text{C}) \times \Delta T (^\circ\text{C})}{t_A (s)} \quad (2.13)$$

Dimana:

SH = panas sensible, (kJ/s)

M_{A1} = massa air, (kg), (1kg/liter)

C_p = panas jenis air, ($\text{kJ/kg} \cdot ^\circ\text{C}$)

T_{A2} = temperatur air mendidih, (100°C)

T_{A1} = temperatur air sebelum mendidih, ($27\text{-}30^\circ\text{C}$)

t_A = waktu mendidihkan air, (detik)

2.5.6. Panas Laten (*Laten Heat*)

Panas laten adalah jumlah energi panas yang digunakan dalam menguapkan air. Ini dihitung menggunakan rumus:

$$LH = \frac{W_e(\text{kg}) \times H_{fg}(\text{kJ/kg})}{Waktu operasi (s) - t_A (s)} \quad (2.14)$$

Dimana:

LH = panas laten, (kJ)

W_e = berat air yang diuapkan, (kg)

H_{fg} = panas laten air, (kJ/kg)

2.5.7. Input Energi Panas

Input energi panas adalah jumlah energi panas yang tersedia dalam bahan bakar. Ini dihitung menggunakan rumus:

$$Q_{in} = \frac{HVF(kJ/kg) \times M_b(kg)}{Waktu\ Operasi\ (s)} \quad (2.15)$$

Dimana:

Q_{in} = energi panas tersedia dalam bahan bakar, (kJ/s)

HVF = nilai kalor biomassa, (kJ/kg)

M_b = massa biomassa, (kg)

2.5.8. Efisiensi Termal

Efisiensi termal adalah rasio energi yang digunakan dalam pendidihan dan dalam penguapan air terhadap energi panas yang tersedia dalam bahan bakar. Ini dihitung dengan rumus:

$$TE = \frac{SH + LH}{Q_{in}} \times 100\% \quad (2.16)$$

Dimana:

TE = efisiensi termal, (%)

SH = panas sensibel, (kJ/s)

LH = panas laten, (kJ/s)

Q_{in} = energi panas tersedia dalam bahan bakar, (kJ/s)

2.5.9. Daya Masukan (Power Input)

Daya masukan adalah jumlah energi yang disuplai ke reaktor berdasarkan pada jumlah bahan bakar yang dikonsumsi. Ini dihitung menggunakan rumus:

$$Pi = 0,0012 \times FCR \times HVF \quad (2.17)$$

Dimana:

P_i = daya masukan, (kW)

FCR = laju konsumsi bahan bakar, (kg/jam)

HVF = nilai kalor bahan bakar, (kcal/kg)

2.5.10. Daya Keluaran (Power Output)

Daya keluaran adalah jumlah energi yang dilepaskan oleh reaktor untuk memasak. Ini dihitung menggunakan rumus:

$$Po = FCR \times HVF \times TE \quad (2.18)$$

Dimana:

Po = daya keluaran, (kW)

FCR = laju konsumsi bahan bakar, (kg/jam)

HVF = nilai kalor bahan bakar, (kcal/kg)

TE = efisiensi termal, (%)