

**METODE PENCUCIAN *PRODUCER GAS* PADA GASIFIKASI
SEKAM PADI DENGAN MENGGUNAKAN TEKNIK
OKSIDASI TERBATAS**

SKRIPSI

Diajukan sebagai salah satu syarat
untuk memperoleh gelar
Sarjana Teknik



Disusun Oleh :

HERRY EFRILISTIANTO IKA ARDY PUTRA

NIM I0405029

**JURUSAN TEKNIK MESIN FAKULTAS TEKNIK
UNIVERSITAS SEBELAS MARET**

SURAKARTA
commit to user
2011

PERSEMBAHAN

Karya ini saya persembahkan untuk:

1. Bapak, Ibu dan keluarga tercinta yang telah memberikan motivasi untuk menyelesaikan skripsi ini.
2. Teman – teman tim gasifikasi.
3. Teman – teman angkatan 2005 yang telah mensupport dalam penelitian ini.
4. Semua pembaca skripsi ini.



commit to user

MOTTO

Kegagalan adalah awal dari keberhasilan.

Sesungguhnya setelah kesulitan itu ada kemudahan, maka apabila kamu telah selesai dari satu urusan, maka kerjakanlah dengan sungguh-sungguh urusan yang lainnya dan hanya kepada Allah-lah hendaknya kamu berharap.

(QS. Al-Insyirah: 6-8)



commit to user

METODE PENCUCIAN PRODUCER GAS PADA GASIFIKASI SEKAM PADI DENGAN MENGGUNAKAN TEKNIK OKSIDASI TERBATAS

Herry Efrilistianto Ika Ardy Putra
Jurusan Teknik Mesin
Fakultas Teknik Universitas Sebelas Maret
Surakarta, Indonesia

INTISARI

Penelitian ini dilakukan untuk mengetahui kemampuan oksidasi parsial pada pencucian gas dalam gasifikasi sekam padi. Proses gasifikasi dilakukan dengan dua variasi laju gasifikasi dan dua variasi lambda. Laju gasifikasi yang dilakukan yaitu 5 kg/jam dan 10 kg/jam, sedangkan lambda yang digunakan yaitu 0,3 dan 0,5. *Producer gas* dari proses gasifikasi dikondensasi dengan menggunakan air sehingga tar akan ikut terkondensasi. Dari pengujian tersebut diperoleh konsentrasi tar. Selain variasi laju gasifikasi dan lambda, dilakukan penambahan udara oksidasi parsial yaitu sebesar 10%, 20%, 30% dan 40% dari debit *producer gas*. Hasil pengujian berupa konsentrasi tar dibandingkan, antara sebelum dan sesudah mengalami proses oksidasi. Semakin besar laju gasifikasi yang digunakan maka semakin kecil jumlah konsentrasi tar + air yang diperoleh. Semakin besar lambda yang digunakan maka semakin kecil jumlah konsentrasi tar + air yang diperoleh. Semakin besar jumlah udara oksidasi parsial yang digunakan maka semakin kecil jumlah konsentrasi tar + air yang diperoleh. Konsentrasi tar + air dapat direduksi sampai 89% pada laju gasifikasi 5 kg/jam, lambda 0,5 dan jumlah udara oksidasi 40%.

Kata kunci: gasifikasi, tar, oksidasi parsial

GAS CLEANING METHODE FOR RICE HUSK GASIFICATION WITH PARTIAL OXIDATION

**Herry Efrilistianto Ika Ardy Putra
Mechanical Engineering Department
Engineering Faculty Sebelas Maret University
Surakarta, Indonesia**

ABSTRACK

This research was conducted to examine the ability of the partial oxidation method to clean the producer gas in the rice husk gasification. Gasification process was carried out by two variations of gasification rate and two variations of lambda. The gasification rate was 5 kg/hour and 10 kg/hour, while lambda was 0.3 and 0.5. Producer gas from the gasification process was cooled with water so that tar would be condensed. Air was introduced to the partial oxidation zone for tar cleaning with an air-producer gas ratio of 10%, 20%, 30% and 40%. The tar concentration was measured at downstream and upstream of the partial oxidation zone. The increase of gasification rate caused the decrease of tar + water concentration. The higher the lambda, the lower the concentration of tar + water was encountered. The increase amount of air for partial oxidation caused the decrease of tar + water concentration. Tar + water concentration can be significantly reduced up to 89% on the gasification rate of 5 kg/hour, the lambda 0.5 and the amount of air oxidation of 40%.

Keywords : gasification, tar, partial oxidation

KATA PENGANTAR

Puji syukur penulis panjatkan kehadirat Allah SWT atas segala nikmat, rahmat dan hidayah yang telah diberikan, sehingga penulis dapat menyelesaikan skripsi ini dengan baik. Selama menyelesaikan skripsi ini penulis memperoleh banyak ilmu dan pengalaman yang mudah-mudahan dapat dijadikan bekal untuk masa depan penulis.

Pada kesempatan ini, penulis mengucapkan terima kasih atas bantuan dan bimbingan baik secara langsung maupun tidak langsung kepada:

1. Bapak dan Ibu saya yang telah memberikan motivasi untuk menyelesaikan skripsi ini.
2. Bapak Dr. techn. Suyitno dan Bapak Tri Istanto, ST, MT yang telah memberikan bimbingan dan dorongan pada saat penelitian.
3. Bapak Didik Djoko S, ST, MT sebagai Ketua Jurusan Teknik Mesin Universitas Sebelas Maret.
4. Bapak Bambang K, ST, MT selaku pembimbing akademis.
5. Seluruh dosen Teknik Mesin FT UNS.
6. Teman – teman tim gasifikasi (Mas Darmanto, Mas Agus, Deny, Thoha) yang selalu kompak dan semangat.
7. Teman – teman angkatan 2005 yang telah mensupport dalam penelitian ini.
8. Semua pihak yang tidak dapat penulis sebutkan satu per satu, atas segala bantuannya dalam proses penulisan skripsi ini.

Penulis menyadari, bahwa penyusunan skripsi ini masih jauh dari kesempurnaan, oleh karena itu kritik dan saran yang membangun dari pembaca sangat penulis harapkan demi kesempurnaan laporan ini.

Menyadari akan segala keterbatasan penulis, laporan ini mungkin belum sempurna, oleh karena itu kami mengharapkan sumbangan, saran dan kritik yang membangun dari pembaca. Akhirnya semoga skripsi ini dapat bermanfaat bagi kemajuan bersama.

Surakarta, Desember 2011

commit to user

Penulis

DAFTAR ISI

HALAMAN JUDUL	i
HALAMAN PENGESAHAN	ii
HALAMAN PERSEMBAHAN.....	iii
MOTTO	iv
INTISARI	v
ABSRACK	vi
KATA PENGANTAR.....	vii
DAFTAR ISI.....	viii
DAFTAR TABEL	x
DAFTAR GAMBAR.....	xi
DAFTAR LAMPIRAN	xii
BAB I PENDAHULUAN.....	1
1.1 Latar Belakang.....	1
1.2 Batasan Masalah.....	2
1.3 Perumusan Masalah	2
1.4 Tujuan dan Manfaat Penelitian	2
1.5 Sistematika Penulisan.....	3
BAB II LANDASAN TEORI.....	4
2.1 Tinjauan Pustaka	4
2.2 Biomasa.....	6
2.3 Sekam Padi.....	6
2.4 Air Fuel Ratio.....	7
2.5 Prinsip Gasifikasi Sekam Padi	8
2.6 Faktor-faktor yang Mempengaruhi Proses Gasifikasi	8
2.7 Tipe Gasifier Sekam Padi	9
2.8 Tar	13
BAB III METODE PENELITIAN	16
3.1 Tempat Penelitian	16

3.2 Alat dan Bahan Penelitian.....	16
3.3 Prosedur Penelitian	19
3.4 Diagram Alir Penelitian	21
BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN	22
4.1 Analisis konsentrasi Tar.....	22
BAB V PENUTUP	27
5.1 Kesimpulan	27
5.2 Saran.....	27
DAFTAR PUSTAKA	28
LAMPIRAN.....	30



DAFTAR TABEL

Tabel 2.1 Analisis proximate dan ultimate sekam padi	6
Tabel 2.2 Klasifikasi Tar	14
Tabel 4.1 Komposisi kimia tar sebelum dan sesudah oksidasi parsial untuk laju sekam 5 kg/jam, lambda 0,3	22
Tabel 4.2 Komposisi gas pada producer gas untuk laju sekam 5 kg/jam, lambda 0,5	24
Tabel 4.3 Komposisi kimia tar sebelum dan sesudah oksidasi parsial untuk laju sekam 5 kg/jam, lambda 0,5	24
Tabel 4.4 Komposisi gas pada producer gas untuk laju sekam 10 kg/jam, lambda 0,3	25
Tabel 4.5 Komposisi kimia tar sebelum dan sesudah oksidasi parsial untuk laju sekam 10 kg/jam, lambda 0,3	25
Tabel 4.6 Komposisi gas pada producer gas untuk laju sekam 10 kg/jam, lambda 0,5	26
Tabel 4.7 Komposisi kimia tar sebelum dan sesudah oksidasi parsial untuk laju sekam 10 kg/jam, lambda 0,5	27

DAFTAR GAMBAR

Gambar 2.1.	Pengaruh rasio udara kedua dengan udara awal terhadap laju pembentukan tar.....	5
Gambar 2.2	Temperatur padatan vs. perbandingan ekivalen selama proses pirolisis, gasifikasi dan pembakaran.....	7
Gambar 2.3	Skema <i>Updraft</i> gasifier.....	10
Gambar 2.4	Skema <i>Downdraft</i> gasifier.....	11
Gambar 2.5	Skema <i>Crossdraft</i> gasifier.....	12
Gambar 2.6	Skema <i>Fluidized bed</i> gasifier.....	13
Gambar 2.7	Komposisi tar biomasa selama proses gasifikasi.....	13
Gambar 2.8	Skema pemecahan benzena dengan menggunakan oksidasi parsial.....	15
Gambar 3.1	Skema rangkaian <i>Flayback</i>	16
Gambar 3.2	Anemometer.....	17
Gambar 3.3	Stopwatch.....	17
Gambar 3.4	<i>Moisture Analyzer</i>	17
Gambar 3.5	Timbangan Digital.....	18
Gambar 3.6	Blower.....	18
Gambar 3.7	Dimmer.....	18
Gambar 3.8	Botol plastik.....	18
Gambar 3.9	Skema peralatan gasifikasi dan pengujian.....	19
Gambar 4.1	Grafik konsentrasi tar + air terhadap jumlah udara oksidasi terbatas dengan waktu pengambilan data 1200 detik.....	22

DAFTAR LAMPIRAN

Lampiran 1.	Data pengujian.....	31
Lampiran 2.	Data pengujian GC/MS.....	32
Lampiran 3.	Perhitungan kecepatan udara pada gasifikasi.....	43
Lampiran 4.	Perhitungan konsentrasi tar + air.....	44



BAB I

PENDAHULUAN

1.1. Latar Belakang Masalah

Pertumbuhan ekonomi dan pertambahan penduduk yang terus meningkat di Indonesia menyebabkan pertambahan konsumsi energi di segala sektor kehidupan seperti transportasi, listrik, dan industri. Sedangkan kenyataannya bahwa ketersediaan bahan bakar fosil (tidak terbarukan) semakin sedikit dan harga bahan bakar minyak (BBM) cenderung naik. Sehingga perlu dilakukan berbagai terobosan untuk mencegah terjadinya krisis energi. Salah satu energi terbarukan yang mempunyai potensi besar di Indonesia adalah biomasa.

Pada penelitian ini material yang dipilih adalah sekam padi. Pemilihan material sekam padi pada penelitian ini didasari karena limbah penggilingan padi kenyataan di lapangan saat ini masih jarang dimanfaatkan. Pemilihan material sekam padi pada penelitian ini didasari karena di Indonesia sendiri merupakan negara agraris, dengan kegiatan pertaniannya akan menghasilkan jumlah sekam padi yang sangat melimpah. Dari proses penggilingan padi biasanya diperoleh sekam sekitar 20-30% dari bobot gabah. Penggunaan energi sekam bertujuan untuk menekan biaya pengeluaran untuk bahan bakar bagi rumah tangga petani. Penggunaan bahan bakar minyak dan gas yang harganya terus meningkat akan berpengaruh terhadap biaya rumah tangga yang harus dikeluarkan setiap harinya. Dari proses penggilingan padi biasanya diperoleh sekam sekitar 20-30%, dedak antara 8- 12% dan beras giling antara 50-63,5% data bobot awal gabah (Deptan, 2008).

Namun demikian pemanfaatan sekam padi langsung menjadi bahan bakar tidak banyak diminati karena sekam padi mempunyai nilai kalor yang rendah dan kadar abunya tinggi sampai 17%. Upaya yang dapat ditempuh adalah dengan mengolah sekam padi menjadi bahan bakar gas melalui gasifikasi. Namun demikian, gasifikasi sekam padi umumnya menghasilkan tar yang jika dibiarkan dapat mempercepat kerusakan pada mesin. Oleh karena itu, penelitian ini

commit to user

dilakukan dengan tujuan untuk mengetahui proses pencucian *producer gas* dari gasifikasi sekam padi dengan menggunakan teknik oksidasi parsial.

1.2. Batasan Masalah

Dalam penelitian ini permasalahan dibatasi pada:

1. Bahan yang diuji adalah sekam padi kering dengan kadar air 10%-15% mengabaikan ukuran dan jenis padi.
2. Gasifier yang digunakan adalah *updraft gasifier*.
3. Proses gasifikasi dilakukan pada temperatur kamar.
4. Tar yang dimaksud adalah cairan yang diperoleh dari hasil kondensasi *producer gas* pada temperatur kamar.

1.3. Perumusan Masalah

1. Bagaimana pengaruh pada variasi laju gasifikasi sekam padi terhadap konsentrasi tar sebelum dan sesudah oksidasi parsial.
2. Bagaimana pengaruh variasi lambda terhadap konsentrasi tar sebelum dan sesudah oksidasi parsial.

1.4. Tujuan dan Manfaat Penelitian

Penelitian ini bertujuan untuk:

1. Mengetahui kemampuan oksidasi parsial pencucian gas pada gasifikasi sekam padi.
2. Mengetahui pengaruh antara laju gasifikasi terhadap konsentrasi tar yang dihasilkan.
3. Mengetahui pengaruh antara variasi lambda terhadap konsentrasi tar yang dihasilkan.
4. Mengetahui pengaruh antara variasi jumlah udara oksidasi terbatas terhadap konsentrasi tar yang dihasilkan.
5. Mengetahui pengaruh antara variasi jumlah udara oksidasi terbatas terhadap komposisi tar yang dihasilkan.

Manfaat penelitian:

1. Dapat mengetahui proses pencucian dengan menggunakan oksidasi parsial.
2. Dapat mengurangi konsentrasi tar pada *producer gas*.

1.5. Sistematika Penulisan

Sistematika penulisan Tugas Akhir ini adalah sebagai berikut:

- BAB I : Pendahuluan, menjelaskan tentang latar belakang masalah, tujuan dan manfaat penelitian, perumusan masalah, batasan masalah serta sistematika penulisan.
- BAB II : Dasar teori, berisi tinjauan pustaka yang berkaitan dengan gasifikasi oksidasi parsial dan teori tentang gasifikasi sekam padi.
- BAB III : Metodologi penelitian, menjelaskan peralatan yang digunakan, tempat dan pelaksanaan penelitian, langkah-langkah percobaan dan pengambilan data.
- BAB IV : Data dan analisa, menjelaskan data hasil pengujian, perhitungan data hasil pengujian serta analisa hasil dari perhitungan.
- BAB V : Penutup, berisi tentang kesimpulan dan saran.

BAB II

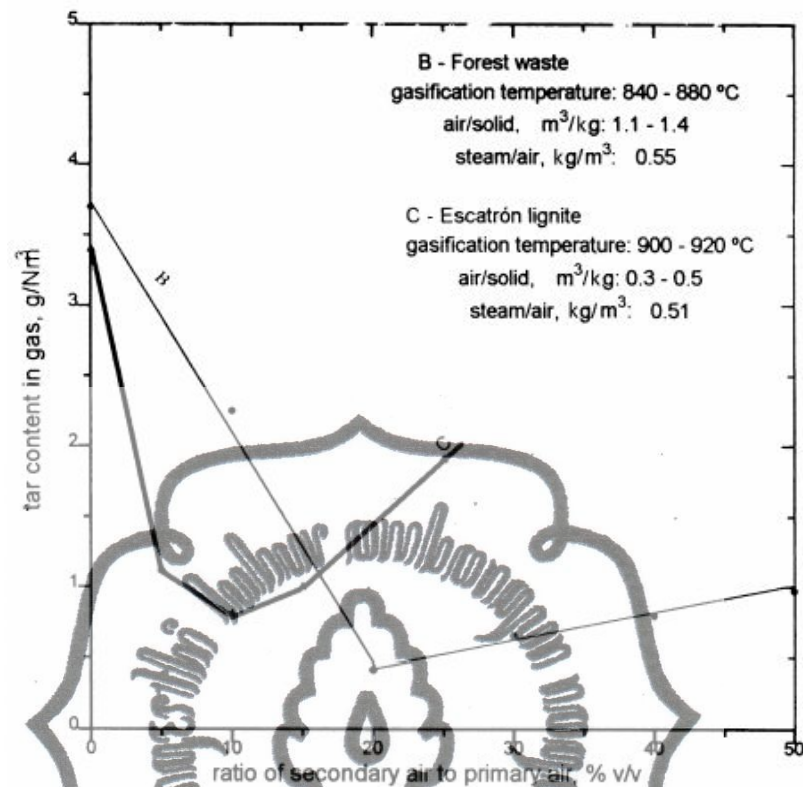
DASAR TEORI

2.1. Tinjauan Pustaka

Brandt, Larsen dan Heriksen (2000) mampu mereduksi tar sampai 80% dengan menggunakan metode oksidasi parsial. Kadar tar ringan dan berat setelah oksidasi parsial sebesar 5300-7500 mg/kg serpihan kayu kering. Setelah melakukan perbaikan dari peralatannya untuk memperoleh pencampuran yang lebih baik antara gas dari pirolisis dan udara sehingga tar ringan dan berat diturunkan lagi menjadi 2940-3400 mg/kg serpihan kayu kering. Pada percobaan pertama perbandingan laju massa udara dan bahan bakar yang digunakan adalah 1,06, perbandingan laju massa uap dan bahan bakar yang digunakan adalah 0,3 dan temperatur dalam area oksidasi adalah 1050°C. Pada percobaan kedua perbandingan laju massa udara dan bahan bakar yang digunakan adalah 0,99, perbandingan laju massa uap dan bahan bakar yang digunakan adalah 0,28 dan temperatur dalam area oksidasi adalah 1100°C.

Houben, M.P. (2005) melakukan penelitian tentang mereduksi tar dengan pembakaran terbatas *producer gas*. Pembakaran terbatas dikenalkan untuk membersihkan kandungan tar pada *producer gas*. Pada percobaan ini gas naptalen ditambahkan sebagai contoh komponen tar. 88% tar dapat direduksi pada temperatur 500°C dan 99% tar dapat direduksi pada temperatur 900°C. Pada lambda 0.2 konsentrasi tar paling rendah yaitu 7,5% dari nilai awal dan jumlah tar yang dihasilkan yaitu 0,4 mg/Nm³ dan kandungan benzena paling besar yaitu 0,2 mg/Nm³.

Pan, Velo dan Puigjaner (1999) melakukan penelitian tentang pengaruh injeksi udara kedua di laboratorium menggunakan *fluidised bed gasifier* dengan sampah hutan dan batu bara muda sebagai bahan bakar. Sebelum udara diinjeksikan, temperatur gasifikasi harus mencapai 830-850°C. Sebelum diinjeksikan udara kedua dipanaskan sampai 180-230°C. Penginjeksian udara kedua dilakukan dengan menambah udara sampai 50% volume udara awal. Hasil pengujian dapat dilihat pada Gambar 2.1.



Gambar 2.1. Pengaruh rasio udara kedua dengan udara awal terhadap laju pembentukan tar. (Pan, Velo dan Puigjaner, 1999)

Hasil penelitian Pan, Velo dan Puigjaner (1999) menunjukkan bahwa kandungan tar minimum pada gasifikasi sampah hutan diperoleh pada rasio udara kedua 20% yaitu sebesar 0,42 mg/Nm³. Sedangkan pada gasifikasi batu bara muda kandungan tar minimum diperoleh pada rasio udara kedua 10% yaitu sebesar 0,8 mg/Nm³.

Ledesma, dkk., (2000) melakukan penelitian tentang *thermal cracking* dan oksidasi parsial tar primer dari pirolisis batu bara muda. Pirolisis dilakukan pada temperatur 600°C dengan menggunakan *fluidised bed reactor* pada tekanan atmosfer. Komponen-komponen tar dapat dideteksi dengan menggunakan GC/MS. Penol, alkyl benzena dan naphtalen menjadi komponen penyusun utama. Penambahan oksigen dengan $\lambda < 0,3$ mereduksi naphtalen dengan signifikan dari 2,6% menjadi 1,1%. Pada $\lambda 0,3$ indine, fluorene dan benzofluorene mengalami peningkatan.

2.2. Biomasa

Biomasa merupakan istilah yang digunakan untuk semua jenis material organik yang dihasilkan dari proses fotosintesis. Biomasa diklasifikasikan menjadi dua golongan yaitu biomassa kayu dan bukan kayu (Borman dan Ragland, 1998). Biomasa kayu dapat dibagi lagi menjadi kayu keras dan kayu lunak. Biomasa non-kayu yang dapat digunakan sebagai bahan bakar meliputi limbah hasil pertanian seperti limbah pengolahan industri gula pasir (*bagasse*), sekam padi, rerantingan (*stalks*), jerami, biji-bijian, termasuk pula kotoran hewan dapat juga digunakan sebagai bahan bakar. Bahan bakar kayu meliputi gelondongan kayu (*cord wood*), ranting pohon, tatal kayu, kayu sejenis cemara (*bark*), gergajian kayu, sisa hasil hutan, arang kayu, limbah ampas (ampas tebu), dan lain-lain (Vanaparti, 2004).

2.3. Sekam Padi

Sekam padi adalah sebuah kulit luar dari biji tumbuhan padi, sejenis biji-bijian yang biasa tumbuh di daerah tropis. Sekam padi ini biasanya diambil dari padi yang telah dipanen, kemudian digiling (*selep*) untuk memisahkan kulit dengan bijinya. Ciri fisik dari sekam padi ini berbentuk lonjong, pipih, kasar. Sekam padi mempunyai warna kuning kecoklatan, dan mempunyai massa yang ringan.

Ditinjau data komposisi kimiawi, sekam mengandung beberapa unsur kimia seperti silica 17% dan abu 20%. Tabel 2.1 menunjukkan analisis proximate dan ultimate dari sekam padi.

Tabel 2.1. Analisis proximate dan ultimate sekam padi (Gaur dan Reed, 1998)

FC (%)	Volatil (%)	Abu (%)	C (%)	H (%)	O (%)	N (%)	S (%)	HHV* (MJ/kg)	HHV** (MJ/kg)
15,8	63,6	20,6	38,3	4,3	35,4	0,8	0	14,8	14,4

* hasil pengukuran ** hasil perhitungan

2.4. Air-Fuel Ratio (AFR)

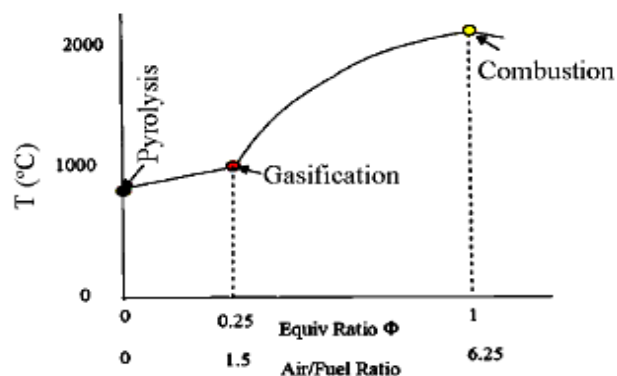
Air-fuel ratio (AFR) merupakan perbandingan jumlah udara yang digunakan dengan jumlah bahan bakar yang digunakan. Perbandingan *Air-Fuel ratio* (AFR) aktual dengan *Air-Fuel ratio* (AFR) stoikiometri dinotasikan lambda (λ).

$$\lambda = \frac{AFR(aktual)}{AFR(stoikiometri)} \quad (2.1)$$

Jika dalam suatu pembakaran bahan bakar AFR aktual lebih kecil dari AFR stoikiometri ($\lambda < 1$) maka disebut pembakaran kaya, tetapi bila AFR aktual lebih besar dari AFR stoikiometri ($\lambda > 1$) maka disebut pembakaran miskin. Ekuivalen rasio (Φ) adalah perbandingan jumlah bahan bakar yang digunakan dengan jumlah udara yang digunakan atau *Fuel-Air Ratio*. Sehingga didapat hubungan :

$$\lambda = 1/\Phi \quad (2.2)$$

Dalam pemanfaatan bahan bakar padat dan jumlah udara yang digunakan, nilai ekuivalen rasio menunjukkan jenis reaksi yang terjadi. Adapun jenis reaksi yang sering digunakan dalam pemanfaatan bahan bakar padat dapat dibedakan menjadi 3 macam yaitu, pembakaran, gasifikasi dan pirolisis.



λ

Gambar 2.2. Temperatur padatan vs. perbandingan ekuivalen selama proses pirolisis, gasifikasi dan pembakaran

2.5. Prinsip Gasifikasi Sekam Padi

Gasifikasi adalah suatu proses perubahan bahan bakar padat secara termokimia menjadi gas, dimana udara yang diperlukan lebih rendah dari udara yang diperlukan untuk proses pembakaran. Jika lambda yang diperlukan untuk proses pembakaran secara stoikiometri adalah 1, maka pada proses gasifikasi, lambda yang umum dipakai adalah antara 0,25 sampai 0,5. 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 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.

2.6. Faktor-faktor yang mempengaruhi proses gasifikasi

Dari penelitian Belonio (2005) terlihat bahwa terdapat beberapa faktor yang mempengaruhi gasifikasi sekam padi.

a. Kandungan energi bahan bakar.

Bahan bakar dengan kandungan energi yang tinggi menyediakan pembakaran yang lebih baik.

b. Kandungan air bahan bakar.

Kandungan air sekam padi juga mempengaruhi gasifikasi. Sekam padi dengan kandungan air rendah dapat digasifikasi dengan baik daripada yang kandungan airnya tinggi. Sekam padi yang segar lebih disukai untuk digunakan, biasanya mengandung hanya 10 – 12% kadar air. Sekam padi dengan kandungan air tinggi seharusnya dikeringkan dulu sebelum digunakan sebagai bahan bakar untuk gasifier.

c. Ukuran dan bentuk bahan bakar

Penggilingan padi berlebihan menghasilkan sekam padi bentuk serbuk, dimana memerlukan fan tekanan tinggi untuk terjadinya gasifikasi.

d. Distribusi ukuran bahan bakar

Sekam padi yang dicampur dengan bahan bakar padat lain tidak sesuai untuk operasi *gasifier*. Distribusi ukuran bahan bakar yang tak seragam akan

menghasilkan kesukaran dalam mendapatkan karbonisasi sekam padi yang baik, dimana mempengaruhi gasifikasi bahan bakar.

e. Temperatur reaktor

Temperatur reaktor selama gasifikasi juga mempengaruhi produksi gas yang dapat terbakar (*flammable*). Diperlukan isolasi reaktor yang tepat sehingga selama gasifikasi, gas *flammable* dapat dihasilkan. Abu sekam padi dan material tahan panas (*refractory*) adalah contoh material yang efektif dalam mempertahankan temperatur yang tinggi dalam reaktor untuk gasifikasi yang lebih baik.

2.7. Tipe Gasifier Sekam Padi

Dalam reaktor gasifikasi terdapat interaksi yang penting antara oksigen dengan bahan bakar dalam pembakaran. Pembakaran tidak akan terjadi apabila tidak terdapat oksigen. Ada beberapa tipe reaktor yang digunakan untuk gasifikasi berdasarkan aliran oksigen dan bahan bakar yang masuk ke dalam reaktor. Tipe-tipe itu antara lain *updraft gasifier*, *downdraft gasifier*, *crossdraft gasifier*, *fluidized bed gasifier*.

a. *Updraft Gasifier*

Pada *Updraft Gasifier* udara masuk melalui bagian bawah *gasifier* dan gas hasil pembakaran keluar melalui bagian atas *gasifier* seperti terlihat pada Gambar 2.3. Biomasa dimasukkan dari bagian atas reaktor dan reaksi pembakaran terjadi di bagian bawah, di atas tempat udara masuk. Abu sisa pembakaran akan menuju bagian dasar reaktor dan gas hasil pembakaran akan menuju ke atas dan keluar melalui pipa keluaran reaktor.



Gambar 2.3. Skema *Updraft gasifier* (Knoef, 2005)

Keuntungan tipe *Updraft Gasifier* ialah memiliki penurunan tekanan yang kecil, efisiensi termal yang baik, dan dapat mengatasi biomasa yang berkadar air tinggi. Sedangkan kelemahannya ialah waktu penyalaan yang cukup lama dan produksi tar. (Knoef, 2005)

b. *Downdraft Gasifier*

Jalur udara masuk pada *Downdraft Gasifier* melalui bagian samping gasifier yang bergerak turun beserta gas hasil pembakaran. Biomasa dimasukkan dari bagian atas reaktor dan bergerak ke bawah karena adanya gaya gravitasi. Zona pembakaran terletak pada lubang tempat suplai udara masuk yang diperlukan untuk pembakaran.

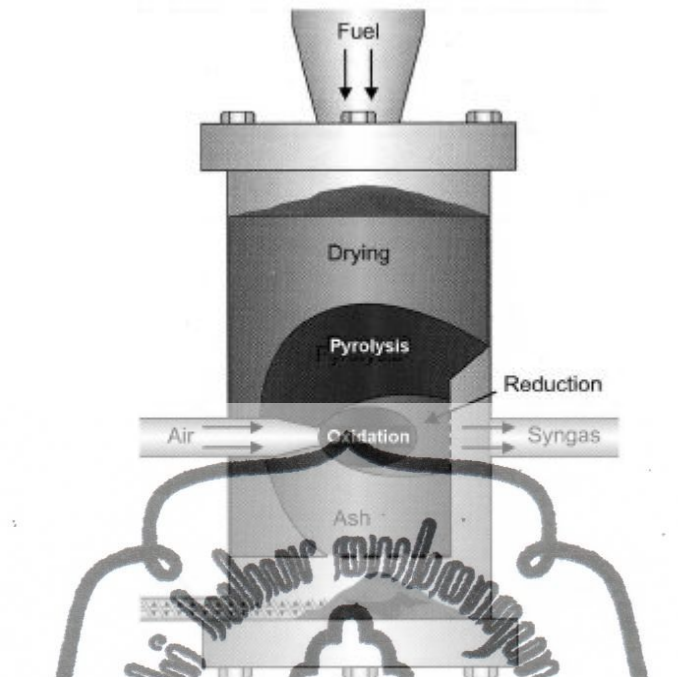


Gambar 2.4. Skema *Downdraft* gasifier (Knoef, 2005)

Terlihat pada Gambar 2.4. pada reaktor terdapat lapisan sebagai tempat mengalirnya gas hasil pembakaran menuju pipa keluaran. Keuntungan *Downdraft Gasifier* ialah mempunyai fleksibilitas yang tinggi pada bahan bakar biomassa, cenderung menghasilkan residu yang rendah, dan sensitivitas yang rendah terhadap kandungan debu dan tar dari bahan bakar. Kelemahan tipe ini ialah desain reaktor gasifier yang cukup tinggi dan proses pembakaran yang kurang baik untuk distribusi ukuran partikel bahan bakar yang sangat kecil dan ringan.

c. *Crossdraft Gasifier*

Crossdraft Gasifier mempunyai jalur aliran udara yang masuk ke dalam reaktor berada di bagian samping dan menyilang menuju sisi lain pada bagian samping reaktor. Pembakaran terjadi pada bagian reaktor yang sejajar dengan aliran udara masuk untuk pembakaran. Sisa pembakaran akan bergerak turun ke bagian dasar reaktor dan gas hasil pembakaran akan keluar menyamping pada pipa keluaran di sisi lain bagian samping reaktor.

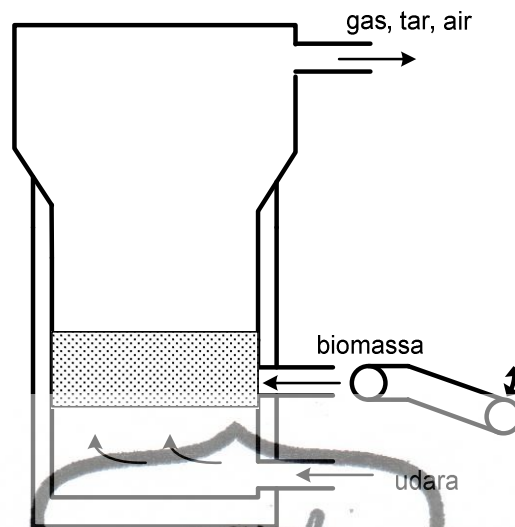


Gambar 2.5. Skema *Crossdraft* gasifier (Knoef, 2005)

Kelebihan tipe *Crossdraft Gasifier* ialah desain *gasifier* yang tidak terlalu tinggi, memiliki respon yang cepat terhadap masukan bahan bakar, dan produksi gas yang fleksibel. Kelemahan tipe ini ialah sensitivitas yang tinggi terhadap pembentukan residu dan memiliki penurunan tekanan yang tinggi.

d. *Fluidized Bed Gasifier*

Pada *Fluidized Bed Gasifier*, udara dan bahan bakar masuk ke reaktor melalui bagian samping gasifier tetapi melalui jalur yang berbeda. Pemasukan bahan bakar diatur dalam jumlah tertentu disesuaikan dengan suplai udara yang masuk. Gas hasil pembakaran kemudian bergerak ke atas menuju pipa keluaran gasifier seperti terlihat pada Gambar 2.6.

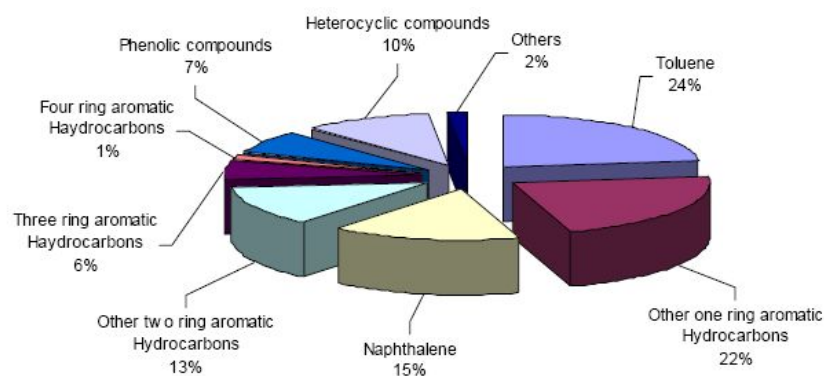


Gambar 2.6. Skema *Fluidized bed gasifier*

Keuntungan dari *Fluidized Bed Gasifier* adalah cocok digunakan untuk gasifikasi dalam skala besar. Misalnya gasifikasi batubara yang dimanfaatkan untuk PLTU (Pembangkit Listrik Tenaga Uap).

2.8. TAR

Tar dapat didefinisikan sebagai semua material organik dalam producer gas yang dapat terkondensasi tidak termasuk gas hidrokarbon (C_1-C_6) dan benzene. Gambar 2.7. menunjukkan komposisi tar biomasa selama proses gasifikasi.



Gambar 2.7. Komposisi tar biomasa selama proses gasifikasi. (Coll R., 2001)

Komponen tar dapat dipisahkan dan diklasifikasikan menjadi 5 kelas berdasarkan unsur kimia, kondensasi dan daya kelarutan yang ditunjukkan pada Tabel 2.2.

Tabel 2.2. Klasifikasi tar (Padban, 2001)

Kelas	Nama kelas	Komponen tar	Contoh senyawa
1	<i>GC Undetectable tars</i>	Tar paling berat, tidak dapat dideteksi oleh GC	-
2	<i>Heterocyclic</i>	Tar mengandung hetero atom, senyawa yang mudah larut dengan air	Pyridine, phenol, cresols, quinoline, soquinoline, dibenzophenol
3	<i>Light Aromatic Hydrocarbons (LAH)</i>	Komponen aromatic hidrokarbon ringan dengan rantai tunggal.	<i>Toluene, ethylbenzene, xylenes, styrene</i>
4	<i>Light Poly Aromatic Hydrocarbons (LPAHs)</i>	Senyawa dua dan tiga rantai, terkondensasi pada temperature rendah dan konsentrasinya sangat rendah	<i>Indene, naphthalene, methylnaphthalene, biphenyl, acenaphthalene, fluorine, phenanthrene, anthracene</i>
5	<i>Heavy Poly Aromatic Hydrocarbons (HPAHs)</i>	Lebih besar dari tiga rantai, terkoindensasi pada temperature tinggi dan konsentrasi rendah	<i>Fluoranthene, pyrene, chrysene, perylene, coronene</i>

Dalam proses gasifikasi adanya tar menimbulkan permasalahan. *Producer gas* yang akan dipakai dalam mesin dan turbin gas harus mempunyai kadar tar yang rendah. Tar akan sangat mengganggu pada pemakaian mesin dan akan

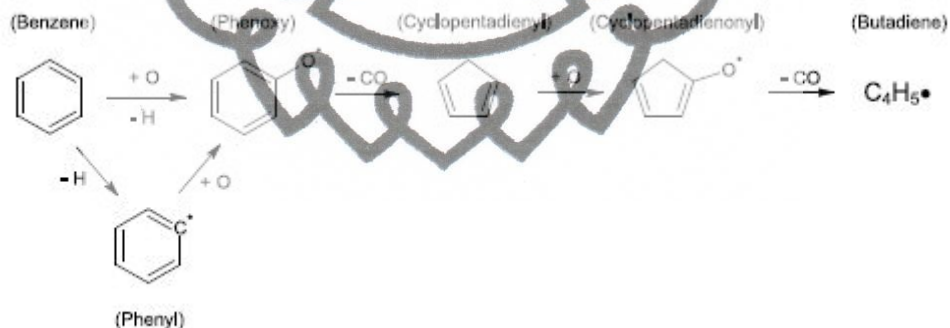
membutuhkan biaya yang besar untuk perawatan. Oleh karena itu tar harus dihilangkan.

Ada dua metode yang digunakan dalam penghilangan tar, yaitu metode fisika dan metode kimia. Adapun metode fisika yang sering digunakan adalah cyclone dan scrubber. Sedangkan metode kimia yang biasa digunakan adalah menggunakan katalis, oksidasi parsial dan reactor plasma.

Pada penelitian ini, penghilangan tar dilakukan dengan menggunakan metode oksidasi parsial. Oksidasi parsial merupakan metode penghilangan tar dengan cara menambahkan udara (oksigen) terbatas pada producer gas sehingga dapat bereaksi dengan tar. Adapun reaksi dari oksidasi parsial adalah sebagai berikut: (Safitri, 2005)



Pada reaksi oksidasi parsial tar direaksikan dengan oksigen (udara) dibantu dengan percikan api dari busi akan menghasilkan gas CO dan H₂O. Gambar dibawah ini merupakan skema pemecahan benzene dengan menggunakan oksidasi parsial.



Gambar 2.8. Skema pemecahan benzene dengan menggunakan oksidasi parsial (Hoeven, 2007)

BAB III

METODE PENELITIAN

3.1. Tempat penelitian.

Penelitian dilakukan di Laboratorium Termodinamika dan Perpindahan Panas Jurusan Teknik Mesin Fakultas Teknik Universitas Sebelas Maret Surakarta.

3.2. Alat dan Bahan Penelitian

Alat dan bahan yang digunakan dalam penelitian ini sebagai berikut :

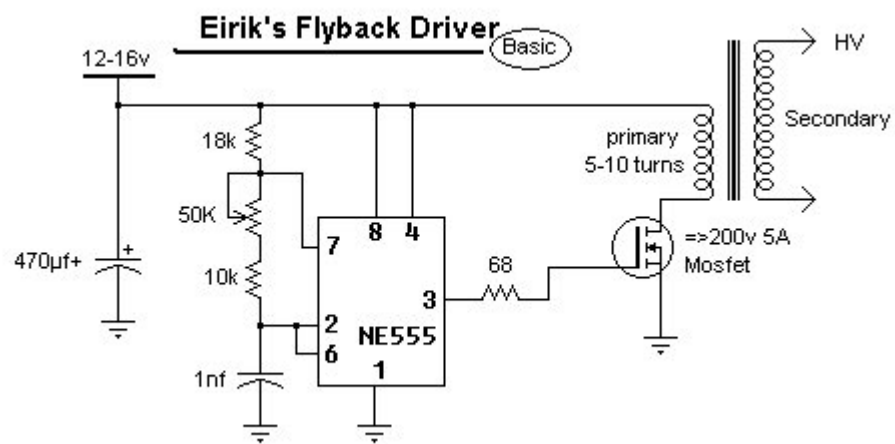
1. *Updraft gasifier*

- Dimensi :
 - Diameter dalam : 20 cm
 - Diameter luar : 25 cm
 - Tinggi : 60 cm

2. Peralatan oksidasi parsial

- Bahan : pipa besi ukuran 1 inch
- Busi
- *Flayback*

Flayback merupakan komponen yang biasa terdapat dalam televisi CRT. Disini *Flayback* digunakan sebagai sumber loncatan api pada busi. Adapun skema rangkaiannya sebagai berikut:



Gambar 3.1. Skema rangkaian *Flayback*

3. **Anemometer**

Anemometer digunakan untuk mengetahui kecepatan aliran udara yang melewati gasifier.



Gambar 3.2. Anemometer

4. **Stopwatch**

Stopwatch digunakan untuk mencatat waktu pengujian.



Gambar 3.3. Stopwatch

5. **Moisture analyzer**

Moisture analyzer digunakan untuk mengukur kadar air pada sekam padi sebelum dilakukan pengujian.



Gambar 3.4. Moisture Analyzer

6. **Timbangan digital**

Timbangan digital digunakan untuk mengukur berat sekam padi, tar dan saringan partikel.

commit to user



Gambar 3.5. Timbangan digital

7. **Blower**

Blower digunakan untuk mengalirkan udara ruangan menuju gasifier.



Gambar 3.6. Blower

8. **Dimmer**

Alat ini disebut juga dengan rheostat dimana peralatan tersebut digunakan untuk mengatur kecepatan putaran fan.



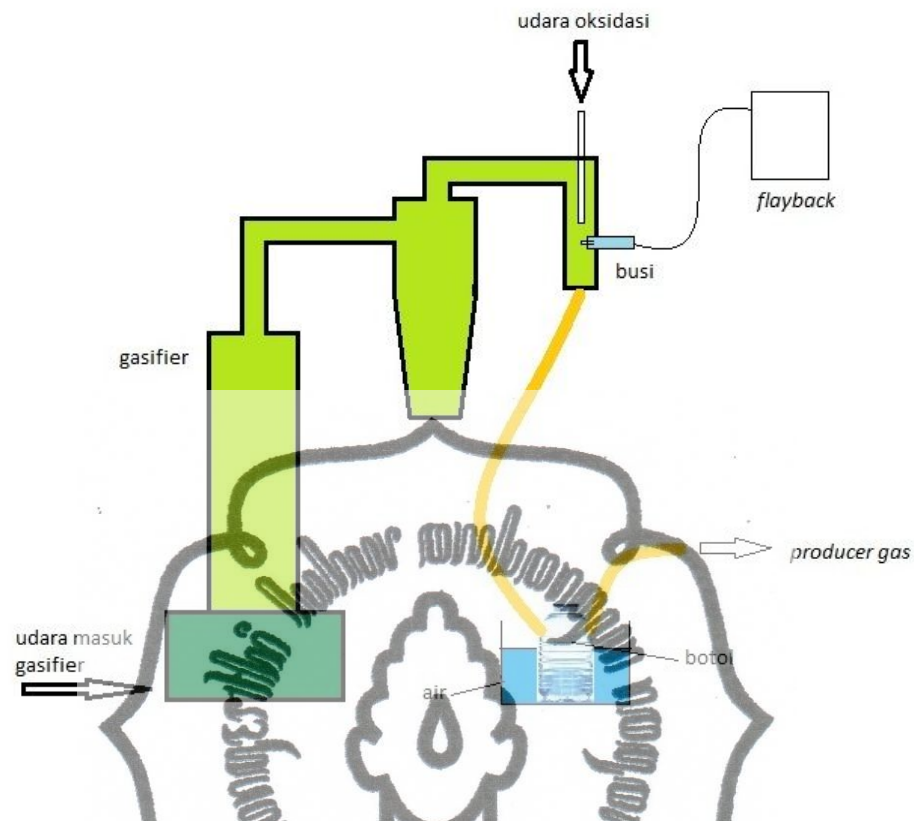
Gambar 3.7. Dimmer

9. **Botol plastik**

Botol plastik digunakan untuk menampung tar yang terkondensasi.



Gambar 3.8. botol plastik



Gambar 3.9. Skema peralatan gasifikasi dan pengujian

3.3. Prosedur Penelitian

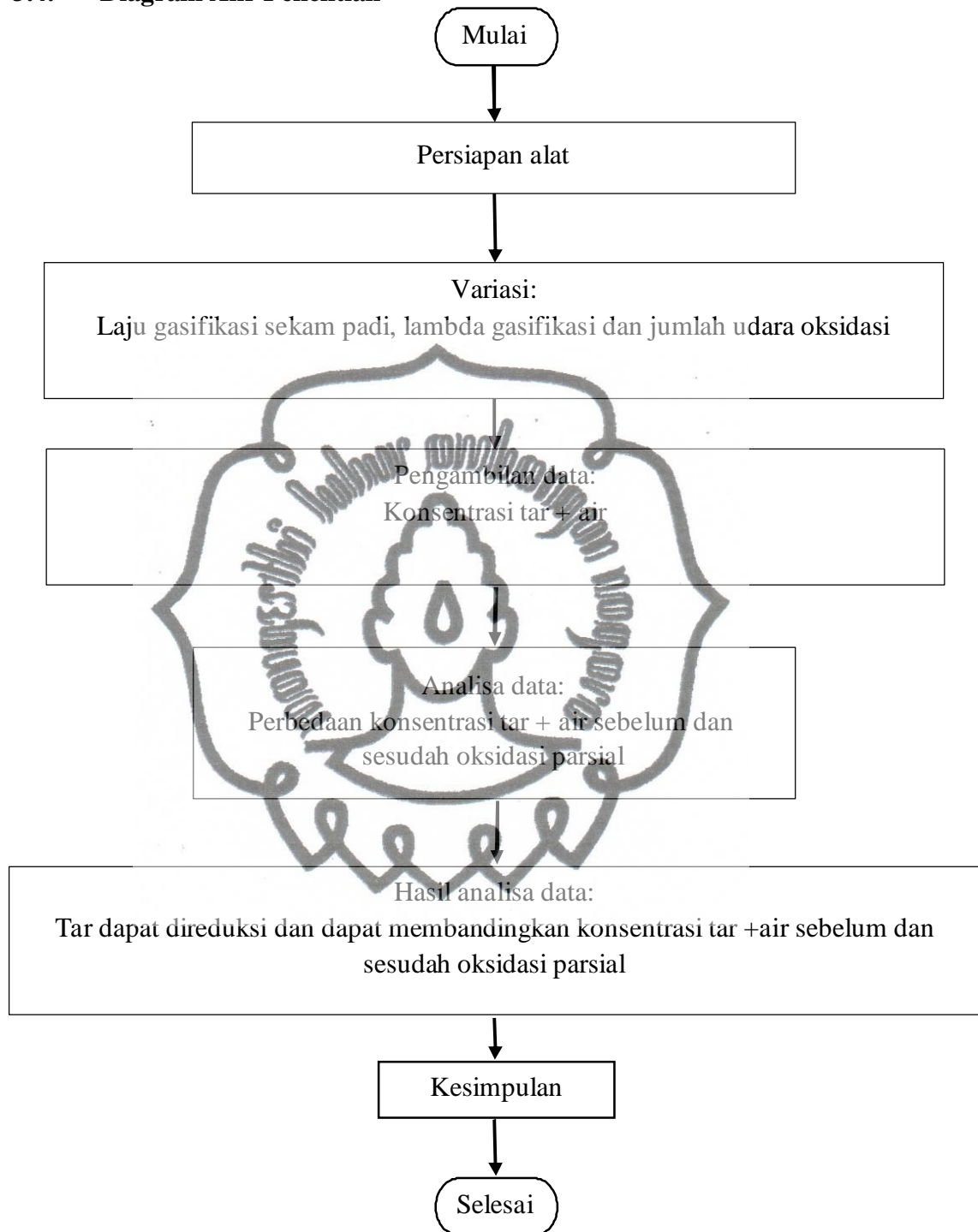
Prosedur yang dilakukan dalam pengambilan data penelitian berdasarkan variasi laju pembakaran sekam, variasi lambda dan variasi udara oksidasi terbatas adalah sebagai berikut:

- **Pengujian sebelum menggunakan oksidasi parsial**
 1. Memasukkan sekam padi kedalam gasifier.
 2. Membuat bara api sekam padi dalam gasifier dengan laju gasifikasi sekam padi 5 kg/jam. Untuk laju gasifikasi 5 kg/jam bara api diletakkan pada bagian atas gasifier sampai rata.
 3. Menyalakan blower.
 4. Mengatur lambda gasifikasi sebesar 0,3 dengan dimmer.
 5. Menimbang botol supaya dapat mengetahui berat awal botol.
 6. *Producer gas* dari gasifier dimasukkan dalam botol untuk mengambil tar yang terkondensasi. Pengambilan data dilakukan selama 20 menit.

commit to user

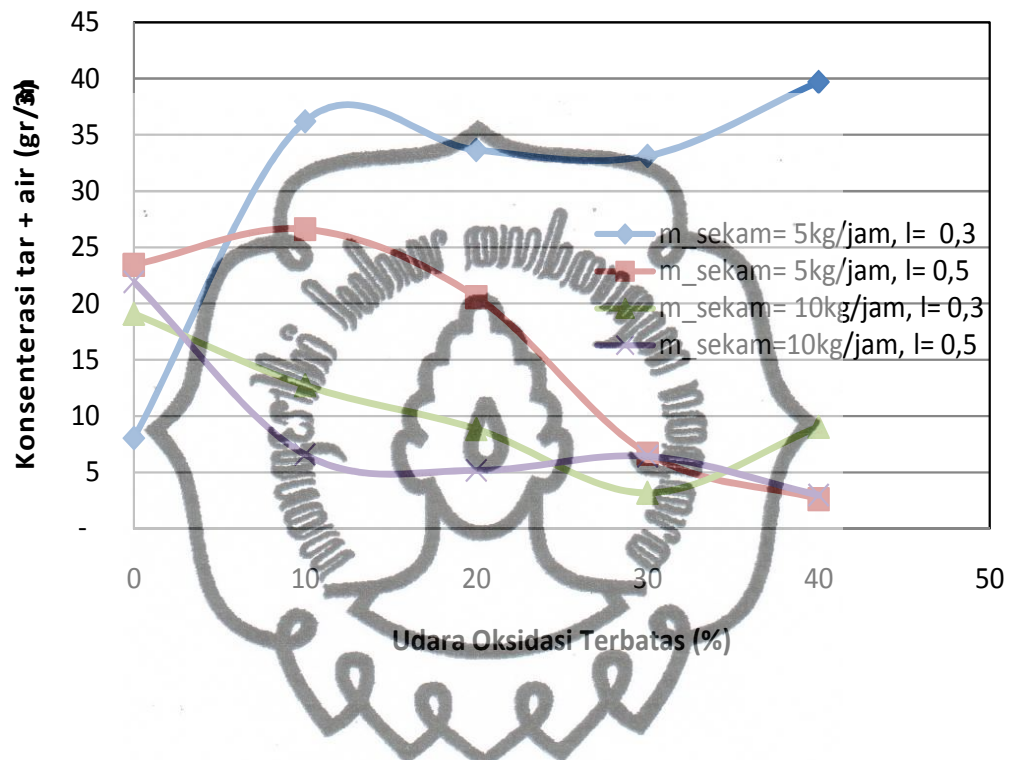
7. Menimbang botol dengan hasil tar yang terkondensasi dan mencatat hasilnya.
 8. Mematikan blower.
 9. Mengulangi langkah 1 sampai 8 dengan variasi lambda gasifikasi 0,5.
 10. Mengulangi langkah 1 sampai 9 dengan variasi laju gasifikasi sekam padi 10 kg/jam. Untuk laju gasifikasi 10 kg/jam bara api ditambahkan sebanyak 4 titik api. Caranya dengan memasukkan sekam padi sebanyak 25% kemudian diberi bara api sampai rata. Lalu dimasukkan lagi sekam padi sebanyak 25% kemudian diberi bara api lagi sampai berjumlah 4 titik api.
- **Pengujian dengan menggunakan oksidasi parsial**
 1. Memasukkan sekam padi kedalam gasifier.
 2. Membuat bara api sekam padi dalam gasifier dengan laju gasifikasi sekam padi 5 kg/jam.
 3. Menyalakan blower.
 4. Mengatur lambda gasifikasi sebesar 0,3 dengan dimmer.
 5. Mengatur debit udara oksidasi sebesar 10% dari debit *producer gas*.
 6. Menimbang botol supaya dapat mengetahui berat awal botol.
 7. Menyalakan reaktor oksidasi parsial.
 8. *Producer gas* dari gasifier dimasukkan reaktor oksidasi parsial.
 9. *Producer gas* yang sudah melewati reaktor oksidasi parsial dimasukkan dalam botol untuk mengambil tar yang terkondensasi. Pengambilan data dilakukan selama 20 menit.
 10. Menimbang botol dengan hasil tar yang terkondensasi dan mencatat hasilnya.
 11. Mematikan blower.
 12. Mengulangi langkah 1 sampai 11 dengan variasi lambda gasifikasi 0,5.
 13. Mengulangi langkah 1 sampai 12 dengan variasi laju gasifikasi sekam padi 10 kg/jam.
 14. Mengulangi langkah 1 sampai 13 dengan variasi udara oksidasi 20%, 30% dan 40%.

3.4. Diagram Alir Penelitian



BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN

4.1. Analisis Konsentrasi Tar



Gambar 4.1. Grafik konsentrasi tar + air terhadap jumlah udara oksidasi terbatas dengan waktu pengambilan data 1200 detik

Dari Gambar 4.1 menunjukkan bahwa pada laju sekam rendah, yaitu 5 kg/jam lambda 0,3 terlihat bahwa dengan adanya oksidasi kandungan tar + air pada *producer gas* mengalami peningkatan. Hal ini dapat dijelaskan dari uji GC/MS yang menunjukkan komposisi tar sebelum mengalami oksidasi terdapat etyl alcohol (C_2H_4O) sedangkan komposisi tar pada variasi yang lain tidak terdapat etyl alcohol. Komposisi kimia tar dapat dilihat pada tabel 4.1.

Tabel 4.1 Komposisi kimia tar sebelum dan setelah oksidasi untuk laju sekam 5 kg/jam, lambda 0,3.

Senyawa	m = 5 kg/jam, $\lambda = 0,3$	m = 5 kg/jam, $\lambda = 0,3$, Oksidasi 10%	m = 5 kg/jam, $\lambda = 0,3$, Oksidasi 20%	m = 5 kg/jam, $\lambda = 0,3$, Oksidasi 30%	m = 5 kg/jam, $\lambda = 0,3$, Oksidasi 40%
acetic acid	30,280	33,089	29,551	13,791	22,029
ethyl alcohol	16,874				
2-propane,1-hydroxy	12,687	14,076	12,114	13,530	
2-furancarboxaldehyde	10,955	8,656	10,854	12,238	
Phenol		7,667	8,979	23,828	38,466
Lain-lain	29,204	36,512	38,502	36,613	39,505
Total	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0

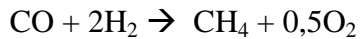
Pada tabel 4.1 laju sekam 0,5 kg/jam dan lambda 0,3 dalam tar terdapat senyawa ethyl alcohol (C_2H_6O) sebesar 16% sedangkan pada variasi yang lain tidak ada ethyl alcohol. Karena ethyl alcohol ini mudah menguap dan mudah terbakar maka pada saat melewati reaktor oksidasi terbatas, setelah dioksidasi ethyl alcohol akan bereaksi dengan oksigen sebagai berikut:



Ethyl alcohol (C_2H_4O) bereaksi dengan udara menghasilkan gas CO_2 dan H_2O . Dari reaksi diatas kemudian H_2O terkondensasi dan menambah konsentrasi tar + air dalam *producer gas*.

Pada oksidasi terbatas lambda 0,5 tar + air yang terbentuk semakin berkurang dengan meningkatnya udara oksidasi terbatas. Hal ini dikarenakan tar dapat bereaksi dengan udara sehingga konsentrasinya menjadi turun. Pada udara oksidasi 40% konsentrasi tar + air turun sampai 89% dari nilai awal (sebelum oksidasi parsial). Ini terlihat dari pengujian GC/MS yang menunjukkan bahwa komposisi kimia dari tar berubah. Komposisi tar dapat dilihat pada tabel 4.3.

Selain terjadi perubahan komposisi kimia tar, kadar gas CO dan hydrogen (H_2) pada *producer gas* juga mengalami penurunan. Dapat dilihat pada tabel 4.2. Hal ini disebabkan karena gas CO bereaksi dengan hydrogen yang menghasilkan gas metana (CH_4) dan oksigen (O_2) dan reaksi kimianya sebagai berikut:



Tabel 4.2. Komposisi gas pada *produce gas* pada laju gasifikasi 5kg/jam lambda 0,5.

	Sebelum oksidasi	Oksidasi 10%	Oksidasi 20%	Oksidasi 30%	Oksidasi 40%
CO	7.7%	1.0%	1.3%	2.7%	0.2%
CO2	0.0%	0.0%	1.1%	3.4%	0.0%
CH4	1.2%	2.6%	2.8%	2.1%	2.1%
CH	0.0%	4.1%	2.1%	0.1%	5.7%
H2	12.1%	0.0%	0.2%	3.3%	0.2%
O2	11.8%	17.9%	15.9%	9.8%	19.9%
N2	67.3%	74.3%	76.6%	78.8%	71.9%

Tabel 4.3. Komposisi kimia tar sebelum dan setelah oksidasi parsial untuk laju gasifikasi sekam 5 kg/jam lambda 0,5.

Senyawa	m = 5 kg/jam, $\lambda = 0,5$	m = 5 kg/jam, $\lambda = 0,5$, Oksidasi 10%	m = 5 kg/jam, $\lambda = 0,5$, Oksidasi 20%	m = 5 kg/jam, $\lambda = 0,5$, Oksidasi 30%	m = 5 kg/jam, $\lambda = 0,5$, Oksidasi 40%
acetic acid	30,543	29,216	27,236	20,574	14,033
Acetic acid dihidroxi	6,648				
2-propane,1-hydroxy	10,131	12,026	11,008	14,570	9,687
2-furancarboxaldehyde	16,287	8,099	10,404	9,502	4,933
Phenol	7,638	9,169	8,046	13,229	8,325
Lain-lain	29,204	36,512	38,502	36,613	39,505
Total	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0

Pada laju gasifikasi sekam 10 kg/jam lambda 0,3 konsentrasi tar turun sampai 83% dari nilai awal (sebelum oksidasi parsial). Hal ini menandakan bahwa tar dapat bereaksi dengan udara yang mengakibatkan konsentrasi tar +air menurun. Ini terlihat dari pengujian GC/MS yang menunjukkan terjadi perubahan komposisi kimia tar. Perubahan komposisi tar tepat dilihat pada tabel 4.5.

Selain perubahan komposisi tar juga terjadi perubahan komposisi gas pada *producer gas* yang dapat dilihat pada table 10. Pada tabel 4.4 gas CO dan H₂

mengalami penurunan sama seperti variasi gasifikasi 5 kg/jam λ 0,5. Hal ini membuktikan bahwa gas CO dan H₂ bereaksi.

Tabel 4.4. Komposisi gas pada *produce gas* pada laju gasifikasi 10 kg/jam λ 0,3.

	Sebelum oksidasi	Oksidasi 10%	Oksidasi 20%	Oksidasi 30%	Oksidasi 40%
CO	5.1%	1.1%	2.6%	1.9%	0.7%
CO ₂	0.0%	0.0%	2.8%	2.6%	1.0%
CH ₄	2.2%	2.8%	3.1%	3.4%	2.5%
C	2.2%	5.4%	0.2%	0.6%	3.0%
H ₂	3.2%	0.0%	1.7%	0.6%	0.0%
O ₂	14.3%	18.5%	12.2%	12.0%	18.1%
N ₂	72.9%	72.1%	77.5%	78.9%	74.6%

Tabel 4.5. Komposisi kimia tar sebelum dan setelah oksidasi parsial untuk laju gasifikasi sekam 10 kg/jam λ 0,3.

Senyawa	m = 10 kg/jam, $\lambda = 0,3$	m = 10 kg/jam, $\lambda = 0,3$, Oksidasi 10%	m = 10 kg/jam, $\lambda = 0,3$, Oksidasi 20%	m = 10 kg/jam, $\lambda = 0,3$, Oksidasi 30%	m = 10 kg/jam, $\lambda = 0,3$, Oksidasi 40%
acetic acid	29,757	43,411	24,497	18,738	26,368
2-propane,1-hydroxy	16,693	16,267	13,790	14,272	15,663
2-furancarboxaldehyde	8,419		16,802		
Phenol	7,919	8,661	11,609	11,312	8,932
Acetic acid dihidroxy	5,384				
Lain-lain	29,204	36,512	38,502	36,613	39,505
Total	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0

Pada laju sekam 10 kg/jam λ 0,5 konsentrasi tar + air juga mengalami penurunan. Konsentrasi tar + air turun sampai 87% dari nilai awal (sebelum oksidasi parsial). Dari pengujian GC/MS komposisi kimia tar juga mengalami perubahan. Perubahan komposisi tar dapat dilihat pada tabel 4.7. Hal ini menandakan bahwa tar dapat bereaksi dengan udara.

Sama seperti variasi gasifikasi 5 kg/jam λ 0,5 dan gasifikasi 10kg/jam λ 0,3, selain perubahan komposisi tar juga terjadi perubahan

komposisi gas pada *producer gas* yang dapat dilihat pada tabel 4.6. Pada tabel 4.6 gas CO dan H₂ mengalami penurunan. Hal ini membuktikan bahwa gas CO dan H₂ bereaksi.

Tabel 4.6. Komposisi kimia *producer gas* pada gasifikasi 10 kg/jam lambda 0,5.

	Sebelum oksidasi	Oksidasi 10%	Oksidasi 20%	Oksidasi 30%	Oksidasi 40%
CO	6.7%	1.4%	2.3%	1.7%	1.3%
CO ₂	1.0%	1.5%	2.6%	2.8%	0.0%
CH ₄	1.5%	3.4%	3.4%	3.7%	1.6%
C	0.0%	3.6%	0.8%	0.0%	5.1%
H ₂	5.5%	0.2%	1.0%	0.0%	1.5%
O ₂	10.6%	15.6%	13.2%	12.0%	19.0%
N ₂	74.6%	74.3%	76.7%	79.8%	71.6%

Tabel 4.7. Komposisi kimia tar sebelum dan setelah oksidasi parsial untuk laju gasifikasi sekam 10 kg/jam lambda 0,3.

Senyawa	m = 10 kg/jam, $\lambda = 0,5$	m = 10 kg/jam, $\lambda = 0,5$, Oksidasi 10%	m = 10 kg/jam, $\lambda = 0,5$, Oksidasi 20%	m = 10 kg/jam, $\lambda = 0,5$, Oksidasi 30%	m = 10 kg/jam, $\lambda = 0,5$, Oksidasi 40%
acetic acid	29,772	38,749	31,302	25,289	26,361
2-propane,1-hydroxy	14,922	16,049	15,959	12,737	14,659
2-furancarboxaldehyde	9,555				6,374
Phenol	7,731	7,886	10,107	7,821	6,640
2-propanone, 1-acetiloxy	5,396	6,716	9,390	6,376	
Lain-lain	29,204	36,512	38,502	36,613	39,505
Total	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0

BAB V

PENUTUP

5.1. Kesimpulan

Dari penelitian tentang pencucian *producer gas* dengan menggunakan metode oksidasi parsial, dapat diambil beberapa kesimpulan yaitu:

1. Metode pencucian *producer gas* dengan menggunakan oksidasi parsial mampu mereduksi tar sampai 89% pada laju gasifikasi 5 kg/jam, lambda 0,5 dan jumlah udara oksidasi 40%.
2. Semakin besar laju gasifikasi dan lambda yang digunakan maka semakin kecil jumlah konsentrasi tar + air yang diperoleh.
3. Semakin besar jumlah udara oksidasi parsial yang digunakan maka semakin kecil jumlah konsentrasi tar + air yang diperoleh.
4. Pada laju gasifikasi 5 kg/jam lambda 0,3 ethyl alcohol bereaksi dengan udara sehingga terjadi peningkatan konsentrasi tar + air.

5.2. Saran

Berdasarkan pengalaman yang diperoleh dari penelitian ini, direkomendasikan saran sebagai berikut:

1. Perlu dikembangkan lagi metode pencucian *producer gas* sehingga dapat mereduksi tar lebih sempurna.
2. Perlu memodifikasi gasifier supaya lebih rapat sehingga gas yang dihasilkan tidak banyak terbuang.

DAFTAR PUSTAKA

- Belonio, A.T, 2005, *Rice Husk Gas Stove Handbook* .- IloiloCity, Philippines.
- Brandt, P., Larsen, E., Henriksen, U., 2000, *High Tar Reduction in a Two-Stage Gasifier*. Energy & Fuels, 14. – 2000. – pp. 816-819.
- Borman, G.L. Ragland, K.W., 1998, *Combustion Engineering*, McgrawHill Publishing Co, New York.
- Coll, R., et al., 2001, *Steam Reforming Model Compounds of Biomass Gasification Tars: Conversion at Different Operating Conditions and Tendency towards Coke Formation*. Fuel Processing Technology, 2001. 74(1): p. 19-31.
- DEPTAN, 2008, *Sekam Padi Sebagai Sumber Energi Alternatif dalam Rumah Tangga Petani*. [http://www.litbang.deptan.go.id/artikel/one/210/pdf/Sekam Padi Sebagai Sumber Energi Alternatif dalam Rumah Tangga Petani.pdf](http://www.litbang.deptan.go.id/artikel/one/210/pdf/Sekam_Padi_Sebagai_Sumber_Energi_Alternatif_dalam_Rumah_Tangga_Petani.pdf) - 4807 bytes - 2008-07-10 17:52:48 WIT
- Gaur, S., Reed T., 1998, *Thermal Data for Natural and Syntetic Fuels* [Book].- [s.1.]: Marcel Dekker.
- Houben, M.P., 2004, *Analysis of Tar Removal in a Partial Oxidation Burner*, Technische Universiteit Eindhoven, The Netherlands.
- Hoeven, T.A., 2007, *Partial Product Gas Combustion for Tar Reduction*. Technische Universiteit Eindhoven, The Netherlands.
- Knoef, H.A.M., 2005, *Handbook Biomass Gasification*. BTG biomass technology group, The Netherlands.
- Ledesma, E.B., Kalish, M.A., Nelson, P.F., Wornat, M.J., Macki, J.C., 2000, *Formation and Fate of PAH During the Pyrolysis and Fuel-rich Combustion of Coal Primary Tar*. Fuel 79 (14), pp. 1801-1814.
- Padban, N., 2001, *Tars in Biomass Thermochemical Conversion Processes. Progress Report SDE Project Primary Measures for Reduction of Tars during Fluidized Bed Gasification of Biomass*. 2001, Department of Thermal Engineering, University of Twente: Enschede, The Netherlands.

Pan, Y.G., Velo E., Puigjaner L., 1999 , *Removal of Tar by Secondary Air in Fluid-ised Bed Gasification of Residual Biomass and Coal*. Fuel 78, 1999, pp. 1703-1709.

Safitri Anisa, 2005, *Biomass Gasification Using Bubbling Fluidized-bed Gasifier: Investigation of the Effect of Different Catalysts on Tar Reduction*. Technische Universiteit Eindhoven, The Netherlands.

Vanarparti, 2004, “*Alternatives in Power Generation: Biomass the New Source of Energy*”.

