



UNIVERSITAS INDONESIA

**KAJIAN PENGARUH KONDISI OPERASI *WET GAS*
CLEANER TERHADAP JUMLAH KANDUNGAN TAR DAN
TEMPERATUR *PRODUCER GAS*
HASIL GASIFIKASI BIOMASSA**

SKRIPSI

Diajukan sebagai salah satu syarat untuk memperoleh gelar Sarjana Teknik

**Hary Daniel Sianipar
0706267061**

**FAKULTAS TEKNIK
PROGRAM STUDI TEKNIK MESIN
DEPOK
JANUARI 2012**

HALAMAN PERNYATAAN ORISINALITAS

**Skripsi ini adalah hasil karya saya sendiri,
dan semua sumber baik yang dikutip maupun dirujuk
telah saya nyatakan dengan benar.**

Nama : Hary Daniel Sianipar

NPM : 0706267061

Tanda Tangan :

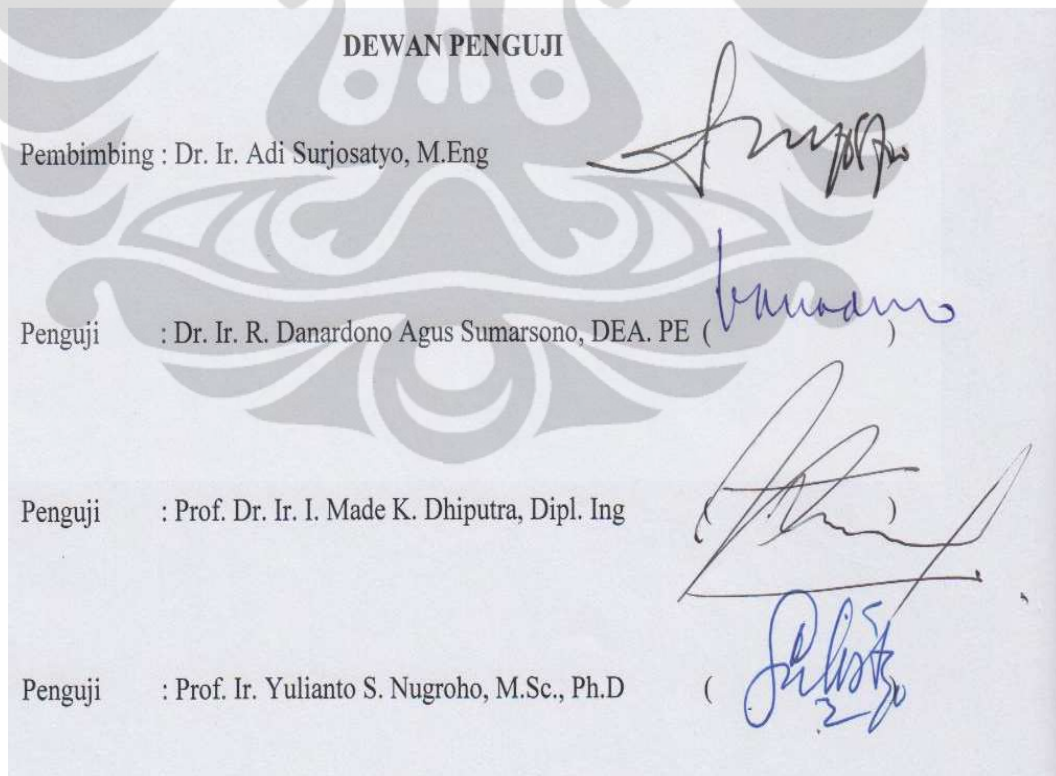


Tanggal : 24 Januari 2012

HALAMAN PENGESAHAN

Skripsi ini diajukan oleh :
Nama : Hary Daniel Sianipar
NPM : 0706267061
Program Studi : Teknik Mesin
Judul Skripsi : Kajian Pengaruh Kondisi Operasi *Wet Gas Cleaner* Terhadap Jumlah Kandungan Tar dan Temperatur *Producer Gas* Hasil Gasifikasi Biomassa

Telah berhasil dipertahankan di hadapan Dewan Penguji dan diterima sebagai bagian persyaratan yang diperlukan untuk memperoleh gelar Sarjana Teknik pada Program Studi Teknik Mesin, Fakultas Teknik, Universitas Indonesia



Ditetapkan di : Depok
Tanggal : 24 Januari 2012

KATA PENGANTAR

Puji syukur penulis panjatkan kepada TUHAN YESUS KRISTUS, karena atas berkat dan rahmat-NYA, penulis dapat menyelesaikan skripsi ini. Penulisan skripsi ini dilakukan dalam rangka memenuhi salah satu syarat untuk mencapai gelar Sarjana Teknik Jurusan Teknik Mesin pada Fakultas Teknik Universitas Indonesia. Penulis menyadari bahwa, tanpa bantuan dan bimbingan dari berbagai pihak, dari masa perkuliahan sampai pada penyusunan skripsi ini, sangatlah sulit bagi penulis untuk menyelesaikan skripsi ini. Oleh karena itu, penulis mengucapkan terima kasih kepada:

1. Kedua orangtua saya, kak Tirta dan Angel yang selalu mendoakan, memberikan dukungan moril dan materiil dan memberikan nasihat yang tak pernah berhenti mengalir untuk penulis;
2. Dr. Ir. Adi Surjosatyo, M. Eng, selaku dosen pembimbing yang telah menyediakan waktu, tenaga dan pikiran untuk mengarahkan penulis dalam penyusunan skripsi ini, dimana skripsi ini merupakan riset unggulan Universitas Indonesia;
3. Fajri Vidian, ST, MT yang telah memberikan masukan berupa ide dan saran untuk mempermudah dalam pengambilan data;
4. Dr. Ir. Harinaldi, M. Eng selaku kepala Departemen Teknik Mesin;
5. Ir. Imansyah Ibnu Hakim, M. Eng selaku Pembimbing Akademis;
6. Para staf pengajar Departemen Teknik Mesin yang telah memberikan ilmu pada penulis selama 9 semester.
7. Rozala Ria Simatupang yang memberikan semangat dan doa dikala penulis menyelesaikan skripsi;
8. Rekan-rekan lab gasifikasi, Bang Jhibril, Reda, Mas Wira, dan Bang Tyan yang telah banyak membantu dalam usaha memperoleh data yang penulis perlukan;

9. Iman, Dika, Bang Ferdi, Dede, Anton dan Refliwanto serta keluarga Mesin 2007 tingkat atas yang telah berjuang 9 semester bersama-sama menyelesaikan kuliah di Teknik Mesin;
10. Pak Suryadi, Pak Syarif dan Pak Wasis serta seluruh staf non-akademik laboratorium di Departemen Teknik Mesin yang telah banyak membantu penulis dalam kerja lapangan selama di laboratorium gasifikasi.

Akhir kata, penulis berharap TUHAN YESUS KRISTUS berkenan membalas segala kebaikan semua pihak yang telah membantu. Semoga skripsi ini membawa manfaat bagi pengembangan ilmu.

Depok, Januari 2012

Penulis

**HALAMAN PERNYATAAN PERSETUJUAN PUBLIKASI TUGAS
AKHIR UNTUK KEPENTINGAN AKADEMIS**

Sebagai sivitas akademik Universitas Indonesia, saya yang bertanda tangan di bawah ini:

Nama : Hary Daniel Sianipar
NPM : 0706267061
Program Studi : Teknik Mesin
Departemen : Teknik Mesin
Fakultas : Teknik
Jenis karya : Skripsi

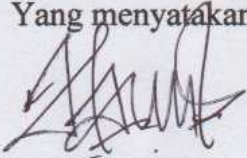
demi pengembangan ilmu pengetahuan, menyetujui untuk memberikan kepada Universitas Indonesia **Hak Bebas Royalti Noneksklusif (*Non-exclusive Royalty-Free Right*)** atas karya ilmiah saya yang berjudul :

**KAJIAN PENGARUH KONDISI OPERASI *WET GAS CLEANER*
TERHADAP JUMLAH KANDUNGAN TAR DAN TEMPERATUR
PRODUCER GAS HASIL GASIFIKASI BIOMASSA**

beserta perangkat yang ada (jika diperlukan). Dengan Hak Bebas Royalti Noneksklusif ini Universitas Indonesia berhak menyimpan, mengalihmedia/formatkan, mengelola dalam bentuk pangkalan data (*database*), merawat, dan memublikasikan tugas akhir saya selama tetap mencantumkan nama saya sebagai penulis/pencipta dan sebagai pemilik Hak Cipta.

Demikian pernyataan ini saya buat dengan sebenarnya.

Dibuat di : Depok
Pada tanggal : 24 Januari 2012

Yang menyatakan

(Hary Daniel Sianipar)

ABSTRAK

Nama : Hary Daniel Sianipar
Program Studi : Teknik Mesin
Judul : Kajian Pengaruh Kondisi Operasi *Wet Gas Cleaner* Terhadap Jumlah Kandungan Tar dan Temperatur *Producer Gas* Hasil Gasifikasi Biomassa

Gas produser merupakan produk dari *downdraft gasifier* mengandung tar dan temperatur tinggi. Tar adalah kontaminan organik yang terbentuk selama proses gasifikasi berlangsung. Kandungan tar dalam gas produser harus dikontrol sehingga dapat digunakan sebagai bahan bakar motor pembakaran dalam. Persyaratan untuk aplikasi pada motor pembakaran adalah 50-100 mg/m³, agar dapat memenuhi persyaratan tersebut maka dilakukan pembersihan dan pengondisian terhadap gas produser. *Venturi scrubber* merupakan aplikasi *wet gas cleaner* yang berfungsi untuk mengurangi kandungan tar dan mengondisikan temperatur pada gas produser. Penelitian ini bertujuan untuk mengurangi kandungan tar dan temperatur gas produser. Hasil penelitian membuktikan bahwa variasi laju aliran udara primer 131.4 lpm dan *scrubbing liquid venturi scrubber* 30 lpm merupakan variasi yang paling optimal dalam mengurangi kandungan tar dan temperatur gas produser.

Kata kunci :

Tar, *Wet Gas Cleaner*, Laju Aliran Udara Primer, Laju Aliran Air

ABSTRACT

Name : Hary Daniel Sianipar
Major : Mechanical Engineering
Title : Analysis the Effect of Wet Gas Cleaner Operational Conditions to the Amount of Tar and Temperature on Gas Producer As A Result Of Biomass Gasification

Producer gas is a product of downdraft gasifier which contains tar and high temperature. Tar is organic contaminants that formed during process of gasification takes place. Deposits of tar in producer gases must be controlled so that it can be used as fuel for internal combustion engines. Requirements for application in internal combustion motors are 50-100 mg/m³, in order to meet these requirements then do the cleaning and conditioning of gas producer. Venturi scrubber is a wet gas cleaner application that serves to reduce the content of tar and conditioning temperature on gas producer. This research aims to reduce the tar and the temperature of the gas producer. Research results prove that the variation of primary air flow rate 131.4 lpm and scrubbing liquid venturi scrubber 30 lpm is the most optimal variation in reducing tar content and temperature of the gas producer.

Keywords:

Tar, Wet Gas Cleaner, Flowrate Primary Air, Scrubbing Liquid

DAFTAR ISI

HALAMAN PERNYATAAN ORISINALITAS.....	ii
HALAMAN PENGESAHAN.....	iii
KATA PENGANTAR	iv
HALAMAN PERNYATAAN PERSETUJUAN PUBLIKASI TUGAS AKHIR UNTUK KEPENTINGAN AKADEMIS	vi
ABSTRAK.....	vii
ABSTRACT.....	viii
DAFTAR ISI.....	ix
DAFTAR GAMBAR	xi
DAFTAR TABEL.....	xiii
DAFTAR GRAFIK.....	xiv
DAFTAR LAMPIRAN.....	xv
1 BAB 1 PENDAHULUAN	1
1.1 Judul Penelitian	1
1.2 Latar Belakang	1
1.3 Perumusan Masalah.....	3
1.4 Tujuan Penelitian.....	4
1.5 Batasan Masalah.....	4
1.6 Metodologi Penelitian	5
1.7 Sistematika Penulisan.....	6
2 BAB 2 TINJAUAN PUSTAKA	8
2.1 Gasifikasi.....	8
2.1.1 Proses Konversi Termal Biomassa	9
2.2 Reaktor Gasifikasi	11
2.2.1 Reaktor Unggun Tetap	11
2.3 Gas Produser.....	14
2.3.1 Gas Sintetik	14
2.3.2 Produk Gasifikasi	14
2.3.3 Proses Pembentukan Tar	15
2.4 Pembersihan dan Pengkondisian <i>Syngas</i>	16
2.4.1 <i>Venturi Scrubber</i>	17

2.4.2	<i>Entrainment Separator</i>	19
2.4.3	Prinsip Pengoperasian	20
3	BAB 3 METODOLOGI PENELITIAN.....	22
3.1	Skematik Alat Pengujian	23
3.2	Modifikasi Sistem Pemipaan Menuju <i>Venturi Scrubber</i>	26
3.2.1	Tangki Air	26
3.2.2	Sistem Aliran Air Masuk Tangki	27
3.2.3	Sistem Pemipaan Air Keluar Tangki.....	27
3.2.4	Sistem Bukaan Katup Pada Tangki Air	29
3.2.5	Sistem Bukaan Katup Pada <i>Venturi Scrubber</i>	30
3.2.6	<i>Water Rotameter</i>	30
3.3	Metodologi Pengujian	31
3.3.1	Persiapan Bahan Bakar	31
3.3.2	Persiapan Alat Pengujian	32
3.3.3	Prosedur pengujian.....	32
3.3.4	Prosedur Pengambilan dan Penimbangan Massa Tar	35
4	BAB 4 HASIL DAN PEMBAHASAN.....	37
4.1	Sebelum Gas Cleaner	37
4.1.1	Hasil Visualisai Tar.....	40
4.2	Sesudah <i>Gas Cleaner</i>	41
4.2.1	Laju Aliran Udara Primer 189.6 lpm	42
4.2.2	Laju Aliran Udara Primer 131.4 lpm	43
4.2.3	Laju Aliran Udara Primer 89.4 lpm	44
4.2.4	Hasil Visualisasi Tar	45
4.3	Perbandingan Tar Sebelum <i>Gas Cleaner</i> dan Sesudah <i>Gas Cleaner</i>	46
4.3.1	Hasil Visualisasi Tar	47
4.4	Efisiensi <i>Wet Gas Cleaner</i>	47
4.5	Pengaruh <i>Wet Gas Cleaner</i> Terhadap Temperatur Gas Produser	49
5	BAB 5 KESIMPULAN DAN SARAN	52
5.1	Kesimpulan.....	52
5.2	Saran	53
	DAFTAR PUSTAKA	54

DAFTAR GAMBAR

Gambar 2.1 Rute Konversi Termal Biomassa.....	10
Gambar 2.2 Skema Reaktor Unggun Tetap Aliran <i>counter-current</i> (kiri) dan <i>co-counter</i> (kanan)	13
Gambar 2.3 Skema Reaksi Gasifikasi dan Pembentukan Tar.....	15
Gambar 2.4 a) Penampang atas <i>venture scrubber</i> , b) <i>Venturi scrubber</i>	18
Gambar 2.5 Contoh Desain <i>Venturi Scrubber</i>	18
Gambar 2.6 Contoh Konfigurasi <i>Venturi</i>	19
Gambar 2.7 <i>Cyclone Separator</i>	20
Gambar 2.8 Skema Aliran Gas pada <i>Venturi Scrubber</i>	21
Gambar 3.1 Diagram alir penelitian sistem <i>gas cleaning</i>	22
Gambar 3.2 Skematik pemipaan aliran air untuk <i>venture scrubber</i>	23
Gambar 3.3 Skematik alat pengujian	26
Gambar 3.4 Tangki air	26
Gambar 3.5 Sistem aliran air masuk tangki	27
Gambar 3.6 Sistem pemipaan keluar tangki	28
Gambar 3.7 Pompa.....	28
Gambar 3.8 Sistem pemipaan menuju <i>venturi scrubber</i>	29
Gambar 3.9 Sistem bukaan tangki air	29
Gambar 3.10 Sistem bukaan katup untuk <i>venture scrubber</i>	30
Gambar 3.11 <i>Water rotameter</i>	30
Gambar 3.12 Bahan bakar (minyak tanah, arang dan tempurung kelapa).....	31
Gambar 3.13 Tahap pengambilan gas.....	35

Gambar 3.14 Tahap perebusan tabung.....	36
Gambar 3.15 Tahap penimbangan	36
Gambar 4.1 Skematik alat pengujian dengan alat ukur tar berada sebelum <i>gas cleaner</i>	37
Gambar 4.2 Termokopel gas produser sebelum <i>gas cleaner</i>	40
Gambar 4.3 Skematik alat pengujian dengan alat ukur tar berada sesudah <i>gas cleaner</i>	41
Gambar 4.4 Termokopel gas produser sesudah <i>gas cleaner</i>	46
Gambar 4.5 Kedua Termokopel a) Sebelum <i>Gas Cleaner</i> b) Sesudah <i>Gas Cleaner</i>	47
Gambar 4.6 Penempatan kedua termokopel a) sebelum <i>gas cleaner</i> b) sesudah <i>gas cleaner</i>	49
Gambar 4.7 Skematik penempatan termokopel pada reaktor dan gas produser ...	50

DAFTAR TABEL

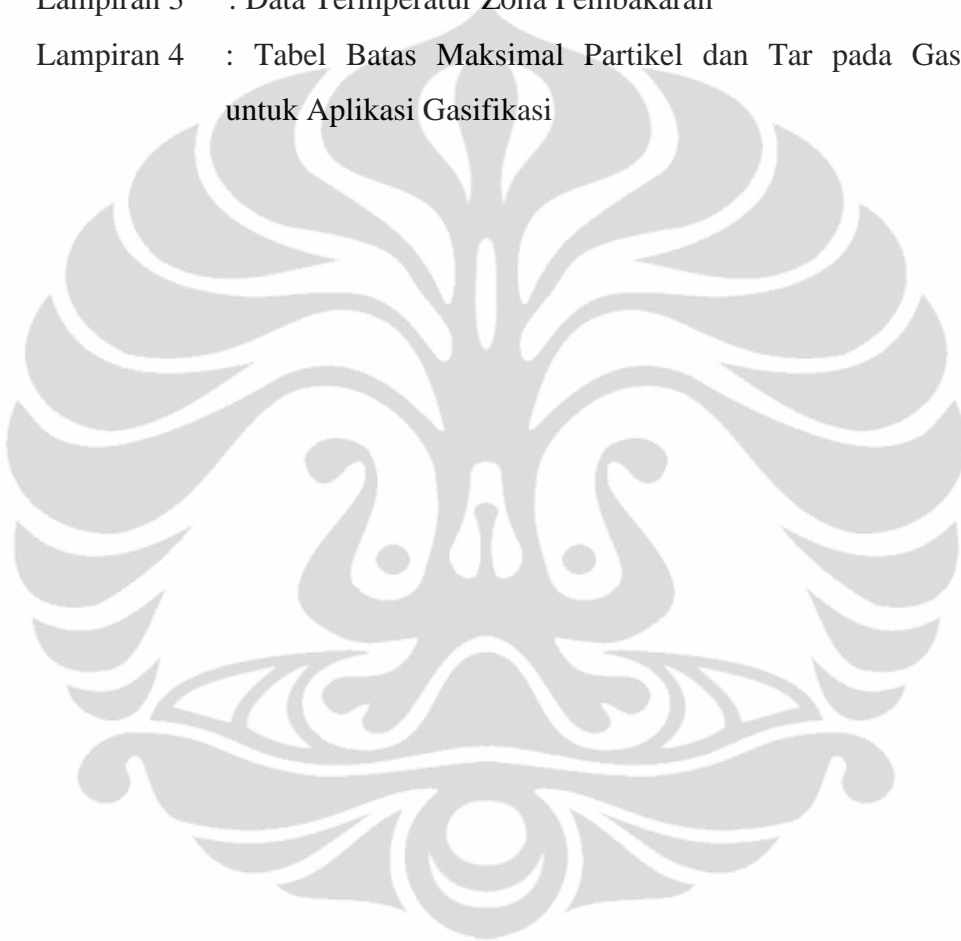
Tabel 2.1 Kualitas gas produser dari gasifier biomassa atmosferik.....	13
Tabel 2.2 Produk gas yang dihasilkan dari proses gasifikasi.....	14
Tabel 4.1 Kandungan tar yang dihasilkan tiap variasi laju aliran udara primer ...	38
Tabel 4.2 Kandungan tar yang dihasilkan laju aliran udara primer 189.6 lpm sesudah <i>gas cleaner</i>	42
Tabel 4.3 Kandungan tar yang dihasilkan laju aliran udara primer 131.4 lpm sesudah <i>gas cleaner</i>	43
Tabel 4.4 Kandungan tar yang dihasilkan laju aliran udara primer 89.4 lpm sesudah <i>gas cleaner</i>	44
Tabel 4.5 Perbandingan kandungan tar sebelum <i>gas cleaner</i> dan sesudah <i>gas cleaner</i>	46
Tabel 4.6 Efisiensi <i>Wet Gas Cleaner</i>	48

DAFTAR GRAFIK

Grafik 4.1 Laju aliran udara primer terhadap kandungan tar sebelum <i>gas cleaner</i>	39
Grafik 4.2 <i>Scrubbing liquid</i> terhadap kandungan tar dengan laju aliran udara primer 189.6 lpm.....	42
Grafik 4.3 <i>Scrubbing liquid</i> terhadap kandungan tar dengan laju udara primer 131.4 lpm	44
Grafik 4.4 <i>Scrubbing liquid</i> terhadap kandungan tar dengan laju aliran udara primer 89.4 lpm.....	45
Grafik 4.5 Perbandingan kandungan tar terhadap variasi <i>scrubbing liquid</i>	46
Grafik 4.6 Temperatur gas produser	50

DAFTAR LAMPIRAN

- Lampiran 1 : Kondisi Tabung Impinger Setelah Pengujian
- Lampiran 2 : Konversi dari Bukaan Derajat Katup Udara Primer ke Ipm
- Lampiran 3 : Data Temperatur Zona Pembakaran
- Lampiran 4 : Tabel Batas Maksimal Partikel dan Tar pada Gas Produser
untuk Aplikasi Gasifikasi



BAB 1

PENDAHULUAN

1.1 Judul Penelitian

Kajian Pengaruh Kondisi Operasi *Wet Gas Cleaner* Terhadap Jumlah Kandungan Tar dan Temperatur *Producer Gas* Hasil Gasifikasi Biomassa

1.2 Latar Belakang

Energi sangat dibutuhkan untuk kehidupan manusia yang mana membantu dalam modernisasi dalam kehidupan masyarakat. Kenaikan harga minyak bumi dunia, berkurangnya sumber minyak bumi dunia dan masalah lingkungan (global warming) telah menjadi perhatian khusus dunia maupun Indonesia. Selain itu masalah keterbatasan distribusi listrik di Indonesia dimana lebih kurang 40% daerah pedesaan belum memiliki listrik menyebabkan diperlukannya suatu energi dan teknologi alternatif untuk memecahkan masalah tersebut.

Untuk mengatasi kebutuhan energi yang meningkat dan sumber energi fosil yang terbatas maka sangat penting untuk mencari sumber energi alternatif yang dapat menyediakan sumber energi secara terus menerus. Sumber energi tersebut adalah sumber energi yang dapat diperbaharui. Sumber energi yang dapat diperbaharui antara lain angin, air, sinar matahari dan biomassa. Selain biomassa, terdapat pula batubara yang dapat dimanfaatkan sebagai sumber energi alternatif yang berasal dari pertambangan. Perlu diketahui bahwa jumlah sumber daya batubara yang ada saat ini sekitar 50 miliar ton dengan cadangan terbukti yang siap dimanfaatkan untuk waktu 50 tahun. Bandingkan dengan minyak bumi (10 tahun) dan gas bumi (30 tahun), maka batu bara menjadi sangat penting sebagai salah satu pengganti minyak (BBM).

Sumber biomassa yang tersedia di Indonesia berupa sekam padi, batok kelapa, batang jagung, cangkang sawit, tandan kosong kelapa sawit, kayu limbah pengergajian dan kayu limbah regenerasi kebun karet.

Program energi mix nasional Indonesia peranan bahan bakar pada batubara dan biomassa memiliki peranan yang sangat dominan dalam penyediaan energi nasional dimana batubara sebesar 33% dan biomassa sebesar 5% memperlihatkan besarnya peranan energi dari batubara dan biomassa.

Teknologi pemanfaatan biomassa dan batubara saat ini dilakukan dengan sistim pembakaran langsung pada boiler memanfaatkan panas untuk menghasilkan uap yang dimanfaatkan untuk menggerakkan turbin uap sebagai pembangkit listrik. Sistim pembakaran langsung kelemahan pada efisiensi pengkompersian yang rendah serta masalah polusi lingkungan yang dihasilkan.

Gasifikasi menawarkan gabungan fleksibilitas, efisiensi, dan keramahan terhadap lingkungan yang kesemuanya penting dalam memenuhi kebutuhan yang akan datang. Gasifikasi adalah suatu proses termokimia yang mengubah bahan bakar padat menjadi gas mampu bakar didalam suatu reaktor yang disebut *gasifier*, gas mampu bakar yang dihasilkan yaitu : karbon monoksida (18-22%), hidrogen (15-20%) dan metana (1-5%). Selain gas mampu bakar yang dihasilkan proses gasifikasi juga menghasilkan partikel dan tar. Tar yang dihasilkan dari proses gasifikasi dapat mencapai 180 g/Nm³.

Teknologi gasifikasi merupakan pemecahan yang kini mulai dipandang sebagai teknologi batubara yang dapat memenuhi keperluan akan pembangkitan tenaga listrik yang bersih dan efisien. Diperkirakan, bahwa pada awal abad ke-21, PLTU batubara dengan teknologi gasifikasi akan mengeluarkan 99 persen lebih sedikit sulfur dioksida (SO₂) dan abu terbang, serta 90 persen kurang nitrogen oksida (NO_x) dari PLTU batubara masa kini. PLTU batubara gasifikasi juga diperkirakan akan menurunkan emisi karbon dioksida (CO₂) dengan 35-40 %, menurunkan buangan padat dengan 40-50% dan menghasilkan penghematan biaya daya 10-20 %.

Pemanfaatan teknologi gasifikasi biomassa sangat cocok untuk listrik pedesaan dengan daya listrik sampai 100 kW (kapasitas gasifikasi 150-200 kg/jam). Sebagai contoh suatu unit gasifikasi sekam padi kira – kira cocok untuk pembangkit listrik di pabrik pengilingan gabah dengan kapasitas 1000 kg/jam. Konfigurasi unit usaha pengilingan gabah dengan mandiri energi ini (Analogi dengan terminologi desa mandiri). Pengoperasian gasifikasi sekam dapat

Universitas Indonesia

menghemat solar untuk PLTD sebanyak kira-kira 70% dan menunjukkan keuntungan ekonomi yang menarik.

Pengotor atau kontaminan partikel dan organik, seperti tar merupakan suatu masalah yang harus dihadapi pada proses gasifikasi yang menggunakan batubara atau biomassa. Tar sangat memengaruhi gas hasil proses gasifikasi terutama untuk aplikasi pada mesin pembakaran dalam (internal combustion engine) adapun persyaratan untuk kandungan tar yang diizinkan adalah 10-100 mg/Nm³.

Tar adalah kontaminan organik yang terbentuk selama proses gasifikasi berlangsung. Tar merupakan suatu campuran yang kompleks dari hidrokarbon yang dapat berkondensasi. Sistem *gas cleaning* yang bertujuan untuk mereduksi jumlah tar, yang sudah ada saat ini pada peralatan *downdraft gasifier* adalah *cyclone* dan *venturi scrubber*. Pada saat penelitian sebelumnya mengenai *gas cleaning system*, tidak diukur jumlah tar (mg) yang dihasilkan dari gas produser per m³. Penelitian untuk saat ini mengukur jumlah tar (mg/m³) dan temperatur yang dihasilkan gas produser setelah mengalami pembersihan dan pengondisian gas melalui *gas cleaner*, mendapatkan *scrubbing liquid* yang tepat yang digunakan untuk mereduksi jumlah tar dan temperatur dari gas produser hasil gasifikasi biomassa dan mengetahui apakah gas produser sudah memiliki persyaratan untuk aplikasi pada mesin pembakaran dalam.

1.3 Perumusan Masalah

Penelitian ini diawali dengan adanya beberapa kesulitan yang ada pada setiap dilakukannya pengujian untuk pengambilan data. Berdasarkan literatur pengujian yang telah dilakukan di laboratorium gasifikasi, terdapat beberapa masalah yang ada pada *venturi scrubber* dan telah diidentifikasi sebagai berikut :

1. Kualitas gas produser masih mengandung partikel-partikel pengotor terutama tar dan temperatur gas produser yang masih tinggi sehingga perlu dilakukan pembersihan dan pengondisian gas.

2. Belum diketahui teknik yang tepat dalam mengurangi kandungan tar yang dihasilkan *downdraft gasifier* pada saat menggunakan sistem *gas cleaning*.
3. Belum adanya pengukuran terhadap banyaknya (mg/m^3) tar yang didapat setelah gas produser melewati *gas cleaner*.
4. Laju aliran air yang masuk ke dalam sistem *venturi scrubber* tidak konstan sehingga variasi aliran air tidak bisa dilakukan dengan baik.
5. Belum diperoleh karakteristik operasional *downdraft gasifier* dilengkapi oleh sistem *gas cleaner* (*cyclone* dan *venturi scrubber*) yang optimal sehingga kestabilan flame terjaga.

1.4 Tujuan Penelitian

Tujuan dari penelitian skripsi ini antara lain :

1. Mendapatkan laju aliran air (*scrubbing liquid*) yang tepat untuk digunakan mereduksi jumlah tar dan temperatur dari gas produser hasil gasifikasi biomassa.
2. Mendapatkan jumlah kandungan tar dari berbagai variasi laju aliran udara primer dan variasi laju aliran air menuju *venturi scrubber*.
3. Mendapatkan nilai efisiensi pengoperasian *gas cleaner*.
4. Mendapatkan karakteristik *downdraft gasifier* yang dilengkapi oleh sistem *gas cleaning* (*cyclone* dan *venturi scrubber*).

1.5 Batasan Masalah

Dalam melakukan penelitian perlu dilakukan pembatasan agar penelitian bisa lebih terfokus. Adapun batasan-batasan tersebut antara lain :

1. Massa bahan bakar yang dipakai per *batch* maupun feeding sebanyak 6 kg.
2. Variasi *flowrate* pada *primary air blower* 189.6 lpm, 131.4 lpm, 89.4 lpm dan variasi *scrubbing liquid* 10 lpm, 20 lpm, dan 30 lpm.

3. Waktu pengambilan sampel gas produser dilakukan selama 20 menit dan laju aliran gas produser yang diambil sebesar 10 lpm.
4. Pengambilan data temperatur dan gas produser pada reaktor *gasifier* dilakukan saat variasi telah dilakukan.
5. Pengambilan temperatur *flame* tidak dilakukan.
6. Tidak dilakukan pengujian komposisi gas mampu bakar untuk tiap kali pengujian.

1.6 Metodologi Penelitian

Metode penelitian yang digunakan dalam penyusunan skripsi ini adalah:

1. Persiapan dan Pendalaman Materi
 - 1.1 Identifikasi masalah yang akan dibahas
 - 1.2 Penelusuran literatur mengenai sistem *gas cleaning*.
2. Perancangan Modifikasi
 - 2.1 Melakukan modifikasi terhadap sistem *gas cleaning* pada *fixed bed downdraft gasifier* yaitu melalui sistem pemipaan untuk aliran air *venturi scrubber*. *Drafting* perancangan modifikasi sistem pemipaan ini menggunakan Ms. Visio.
 - 2.2 Pemasangan *water rotameter*.
 - 2.3 Pemasangan alat uji tar.
3. Pengujian dan Pengambilan Data
 - 3.1 Pengukuran laju aliran udara primer menggunakan *orifice meter* dan manometer U.
 - 3.2 Pengukuran distribusi temperatur pada *gasifier* dan gas produser dengan menggunakan termokopel jenis K.
 - 3.3 Pengukuran jumlah kandungan tar dan pengotor lainnya pada alat ukur tar dengan variasi laju aliran udara primer dan *scrubbing liquid* yang berbeda.

4. Pengolahan Data dan Grafik
 - 4.1 Interpretasi grafik perolehan jumlah tar terhadap kombinasi variasi laju aliran udara primer dan laju aliran air (*scrubbing liquid*)
 - 4.2 Interpretasi grafik perolehan temperatur terhadap kombinasi variasi laju aliran udara primer 131.4 lpm dan laju aliran air (*scrubbing liquid*) 10 lpm, 20 lpm dan 30 lpm.
 - 4.3 Perhitungan terhadap *efisiensi gas cleaner*.
5. Analisis dan Kesimpulan
 - 5.1 Menganalisis hubungan laju aliran air (*scrubbing liquid*) dengan hasil tar yang diperoleh.
 - 5.2 Menganalisis hubungan laju aliran air (*scrubbing liquid*) dengan hasil tar yang diperoleh.
 - 5.3 Menyimpulkan hasil pengujian, pengukuran, modifikasi dan hasil analisis.

1.7 Sistematika Penulisan

Dalam penyusunan tugas akhir ini penulis membagi menjadi lima bab, yang masing-masing terdiri dari sub-bab. Hal tersebut dimaksudkan untuk mempermudah dan mengarahkan pembahasan agar didapatkan informasi secara menyeluruh. Kerangka penulisan tersebut diuraikan sebagai berikut :

BAB I PENDAHULUAN, berisi :

Latar belakang, perumusan masalah, tujuan penelitian, batasan masalah, metode penelitian dan sistematika penulisan.

BAB II DASAR TEORI, berisi :

Pengertian dan jenis-jenis gasifikasi, reaksi-reaksi kimia yang terjadi dalam proses gasifikasi, gas produser, proses pembentukan tar, sistem pembersihan dan pengkondisian gas, dan sistem *gas cleaner (venturi scrubber)*.

BAB III METODOLOGI PENELITIAN, berisi :

Menjelaskan *flowchart* penelitian, sistem gasifier terbaru yang digunakan pada penelitian, modifikasi sistem pemipaan untuk aliran air *venturi scrubber*, *set-up* eksperimen, prosedur eksperimen, metode pengambilan data dari pengujian serta penjabaran data-data eksperimen hasil pengukuran.

BAB IV HASIL DAN ANALISA, berisi :

Data-data yang telah diperoleh saat penelitian diantaranya jumlah banyaknya tar sebelum dan sesudah *gas cleaner*, temperatur gas produser yang dihasilkan sebelum dan sesudah melewati *gas cleaner* dan efisiensi *gas cleaner* serta analisa terhadap data-data tersebut. Bab ini juga didukung dengan adanya tabel dan grafik dari data-data yang diperoleh.

BAB V KESIMPULAN DAN SARAN, berisi :

Pengambilan kesimpulan dari hasil pengolahan data yang dilengkapi dengan usulan serta saran yang diharapkan dapat membantu kesempurnaan penelitian yang akan datang.

BAB 2

TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Gasifikasi

Gasifikasi adalah teknologi yang dikembangkan sejak abad yang lalu. Teknologi Gasifikasi berkembang cukup baik selama Perang Dunia Kedua terjadi. Hal ini terlihat ketika banyak kendaraan menggunakan bahan bakar gas dari proses gasifikasi kayu. Teknologi Gasifikasi mereda ketika bahan bakar cair semakin mudah dan murah dan kemudian mendapatkan popularitas kembali karena fakta lingkungan dan ekonomi.

Kelengkapan sistem gasifikasi terdiri dari unit reaktor, unit pemurnian dan unit energi. Unit Energi dapat berupa gas langsung mesin pembakaran atau turbin gas sintetik. Pembakaran Gas di gasifikasi membakar gas di dalam mesin pembakaran internal dan dapat digunakan untuk kendaraan atau menghasilkan listrik. Sementara itu turbin gas menghasilkan listrik melalui generator. Konsep lain dalam sistem gasifikasi adalah bahan bakar sel yang menerima hidrogen sebagai bahan baku dan mengkonversi menjadi listrik melalui reaksi kimia di dalam tumpukan.

Gasifikasi pada dasarnya adalah sebuah proses kimia termal yang mengubah biomassa menjadi bahan bakar gas melalui media gasifikasi dalam bentuk udara, air atau oksigen. Produk gas di gasifikasi bisa disebut syngas atau gas sintesis. Berdasarkan pada desain reaktor, reaktor gasifikasi dapat dibagi ke dalam portabel dan diam.

Sebuah gasifikasi jenis portabel digunakan sebagai kendaraan yang bergerak seperti mesin mobil. Spesies ini tidak berkembang dengan baik karena efektivitas dan efisiensi yang rendah. Sementara itu, pengembangan gasifikasi diam menjadi cepat seperti pembangkit listrik gasifikasi, produksi gasifikasi gas. Dalam produksi gasifikasi gas, digunakan sebagai bahan bakar untuk mengirim dalam sistem lain seperti sistem bahan bakar sel. Melihat dari jenis bahan baku gasifikasi, bahan organik dapat digunakan sebagai bahan baku dalam reaktor. Hal

ini karena kandungan karbon dalam bahan organik mudah diubah menjadi zat gas. Dalam teori gasifikasi, homogen, bentuk dan ukuran partikel mempengaruhi proses. Proksimat dan analisis akhir harus dilakukan untuk menggolongkan jenis bahan bakar.

Pada prinsipnya, proses gasifikasi mengubah bahan bakar menjadi produk gas di dalam reaktor gasifikasi parsial oksigen. Reaktor tekanan dapat diatur baik tekanan atmosfer atau relatif. Dalam reaktor gasifikasi terjadi reaksi kompleks dan menyederhanakan ke empat tahap: pengeringan, pirolisis, oksidasi dan reduksi.

2.1.1 Proses Konversi Termal Biomassa

Pada dasarnya teknologi konversi biomassa bisa diklasifikasikan menjadi dua, yaitu proses termal dan biologis. Dalam hal ini konversi dilakukan secara termal yang terdiri dari 4 cara yaitu:

- Pembakaran konvensional (*Direct Combustion*)

Pada proses ini material organik (biomassa) dibakar secara langsung. Agar efisiensi pembakaran baik, dilakukan pengeringan (*drying*) untuk menghilangkan kandungan air pada material organik. Salah satu aplikasi dari *direct combustor* adalah kompor masak yang menggunakan kayu bakar.

- Gasifikasi (*Gassification*)

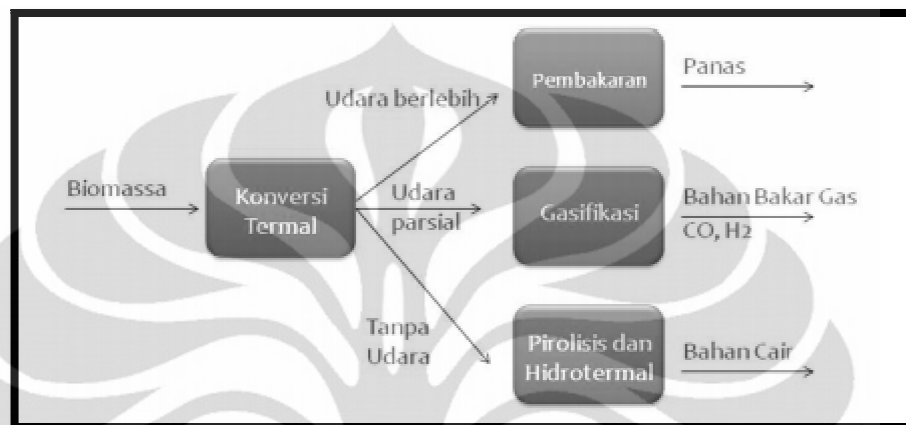
Gasifikasi adalah proses pembentukan gas yang dapat terbakar yang berasal dari material organik, seperti kayu, gabah/sampah pertanian yang direaksikan dengan 0.3 oksigen dari jumlah oksigen yang dibutuhkan untuk pembakaran penuh. Pembakaran dengan jumlah oksigen yang terbatas disebut dengan reaksi pirolisis. Proses ini menghasilkan gas mampu bakar seperti H₂, CH₄, CO, dan gas-gas *inert* lain yang tidak mampu bakar.

- Pirolisis (*Pyrolysis*)

Pirolisis adalah salah satu bagian dari proses gasifikasi. Proses ini terjadi melalui energi panas yang dihasilkan dari proses pembakaran yang memecah biomassa secara endotermik untuk membentuk substansi lain.

- *Liquefaction*

Liquefaction adalah proses pembentukan cairan dari suatu gas. Pembentukan gas ini bertujuan memudahkan transportasi bahan bakar. Pembentukan gas menjadi cair dilakukan dengan pendinginan. LPG adalah salah satu bentuk dari *liquefaction*.

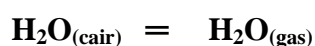


Gambar 2.1 Rute Konversi Termal Biomassa

Gasifikasi merupakan suatu proses penguraian secara kimia yang melibatkan bahan bakar solid seperti batubara dan biomassa yang direaksikan dengan sejumlah udara (oksigen) maupun dengan udara dan uap air yang dikendalikan dalam jumlah terbatas sehingga dihasilkan gas-gas yang mampu bakar.

Proses yang terjadi dalam sebuah reaktor *gasifier* ada beberapa bagian utama yaitu proses pengeringan, pirolisis, pembakaran, dan reduksi (gasifikasi).

Proses pengeringan (*drying*) terjadi pada temperatur 100-150°C. Pada proses ini terjadi perpindahan kalor dari *heat source* dan pemindahan sejumlah uap air yang terkandung dalam bahan bakar sehingga kandungan air dalam bahan bakar akan berkurang. Proses ini tidak melalui penguraian kimia karena hanya mengubah air (*liquid*) menjadi uap air (*vapour*).

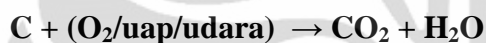


Proses pirolisis (*pyrolysis*) terjadi pada temperatur 150-700°C. Pada proses ini terjadi dekomposisi termal terhadap bahan bakar tanpa adanya udara (oksigen) yang mana struktur bahan bakar dipecah oleh reaksi endotermik secara terus

menerus sehingga akan dihasilkan *steam*, *methanol*, *acetic* dan sejumlah hidrokarbon berat. Sedangkan limbah padat yang dihasilkan pada proses ini berupa arang (*charcoal*) yang akan digunakan selama proses pembakaran dan reduksi.

Bahan kering + *heat source* => limbah carbon (*charcoal*), Tar, H₂O, ash, CO, CO₂, CH₄, H₂, hydrocarbon dan senyawa.

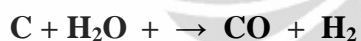
Proses pembakaran (*combustion*) terjadi pada temperatur 700-2000°C. Proses ini merupakan proses utama dari gasifikasi dimana sejumlah karbon dari bahan bakar direaksikan dengan udara sehingga menghasilkan gas karbondioksida dan uap air.



Proses reduksi (*reduction*) terjadi pada temperatur 500-1100°C. Pada daerah ini gas yang tidak bisa menyala (CO₂) yang dihasilkan dari reaksi pembakaran akan diubah menjadi gas yang mudah menyala tanpa menggunakan oksigen. Dari proses reduksi ini akan dihasilkan gas karbon monoksida (CO). Reaksi ini dikenal dengan nama reaksi Boudouard.



Jika pereaksi yang digunakan adalah uap air maka akan dihasilkan gas karbon monoksida (CO) dan gas hidrogen (H₂). Reaksi ini dikenal dengan nama reaksi *water – gas*.



2.2 Reaktor Gasifikasi

Saat ini terdapat 3 (tiga) jenis utama reaktor gasifikasi yaitu reaktor unggun tetap (*fixed bed*), reaktor unggun terfluidakan (*fluidized bed*), dan reaktor *entrained flow*. Ketiga jenis reaktor tersebut memiliki keunggulan dan kelemahan masing-masing yang akan diuraikan sebagai berikut.

2.2.1 Reaktor Unggun Tetap

Di dalam reaktor unggun tetap, biomassa akan mengalir ke bawah (turun) sedangkan gas dapat mengalir ke atas (counter-current) ataupun ke

bawah (co-current). Di dalam aliran counter-current, gas keluaran reaktor memiliki temperatur sekitar 80-100°C dan dihasilkan banyak tar. Oleh karena itu reaktor jenis ini biasanya langsung dipasangkan dengan combustor. Jenis reaktor aliran counter-current ini digunakan oleh Primenergy (PRM) dan Lurgi. Keuntungan penggunaan reaktor unggun tetap counter-current adalah sebagai berikut:

- Sederhana, proses lebih murah
- Dapat menangani biomassa yang memiliki kandungan air dan material anorganik tinggi (misalnya sampah kota).
- Teknologi yang sudah terbukti (*proven*).

Sedangkan kekurangan utama dari penggunaan gasifier jenis ini adalah kandungan tar yang mencapai 10-20% berat, sehingga dibutuhkan proses pembersihan gas yang lebih ekstensif sebelum dilanjutkan ke unit operasi lainnya.

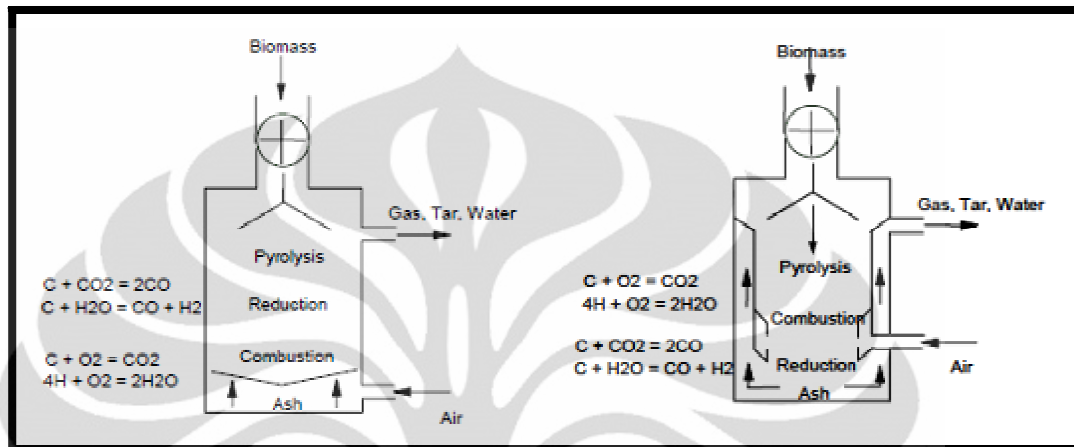
Di dalam reaktor unggun tetap aliran co-current, gas keluaran reaktor umumnya memiliki temperatur 700°C. Di dalam jenis aliran ini, kandungan air harus kurang dari 20% untuk menjaga temperatur tetap tinggi. Kandungan debu harus rendah dan non-slagging. Umpan harus memiliki ukuran partikel yang seragam. Jenis reaktor *co-current* digunakan oleh Community Power BioMAX. Keunggulan reaktor jenis ini adalah sebagai berikut:

- Hampir 99.9% tar yang terbentuk dikonsumsi kembali, sehingga hampir tidak membutuhkan proses pembersihan tar.
- Mineral terbawa dalam *char*/debu, sehingga kebutuhan siklon dapat dikurangi.
- Teknologi *proven*, sederhana, dan biaya yang dibutuhkan lebih murah.

Meskipun demikian, masih terdapat kekurangan teknologi unggun tetap co-current ini, yaitu:

- Membutuhkan pengeringan umpan hingga kandungan airnya <20%.

- Gas sintesis yang keluar dari reaktor memiliki temperatur yang tinggi, sehingga membutuhkan sistem pemanfaatan panas sekunder.
- 4-7% kandungan karbon tidak tekonveksi.



Gambar 2.2 Skema Reaktor Unggun Tetap Aliran *counter-current* (kiri) dan *co-counter* (kanan)

Sumber : Biomass Thermochemical Conversion, Paul Grabowski, 2004

Tabel 2.1 Kualitas gas produser dari gasifier biomassa atmosferik

		Fixed bed cocurrent gasifier	Fixed bed countercurrent gasifier
Fuel moisture	%mf	6-25	
Partikel	Mg/Nm ³	100-8000	100-3000
Tar	Mg/Nm ³	10—6000	10.000-150.000
LHV	MJ/Nm ³	4.0-5.6	3.7-5.1
H ₂	Vol.%	15-21	10-14
CO	Vol.%	10-22	15-20
CO ₂	Vol.%	11-13	8-10
CH ₄	Vol.%	1-5	2-3
C _n H _m	Vol.%	0.5-2	
N ₂	Vol.%	sisanya	Sisanya

Sumber : P. Hasler, (1999), T. Nussbaumer / Biomass and Bioenergy 16

Universitas Indonesia

2.3 Gas Produser

2.3.1 Gas Sintetik

Gas Sintetik atau yang lebih dikenal dengan *Syngas* merupakan campuran hidrogen (H_2) dan karbon monoksida (CO). Kata sintetik gas diartikan sebagai pengganti gas alam yang dalam hal ini terbuat dari gas metana. *Syngas* merupakan bahan baku yang penting untuk industri kimia dan industri pembangkit daya. Zat hidrokarbon yang dihasilkan oleh minyak bumi juga dapat dihasilkan dari pengolahan batubara, kokas, dan biomassa. Namun, seringkali untuk gas yang dihasilkan dari biomassa disebut sebagai *biosyngas*. Hal bertujuan untuk membedakan antara *syngas* yang berasal dari biomassa dan bahan bakar fosil.

Syngas yang diperoleh dari hasil gasifikasi batubara dan biomassa mengandung unsur hidrogen, moister, karbon monoksida, karbon dioksida, metana, hidrokarbon alifatik, benzena, dan toluena, serta sejumlah kecil ammonia, asam klorida, dan hidrogen sulfida. Dari semua campuran ini, karbon monoksida dan hidrogen harus dipisahkan untuk mendapatkan gas sintesis.

2.3.2 Produk Gasifikasi

Untuk dapat digunakan dalam proses industri gas produser yang keluar dari reaktor gasifikasi harus terlebih dahulu dibersihkan dari polutan. Polutan yang dapat muncul seperti zat-zat terbang dan sulfur.

Tabel 2.2 Produk gas yang dihasilkan dari proses gasifikasi

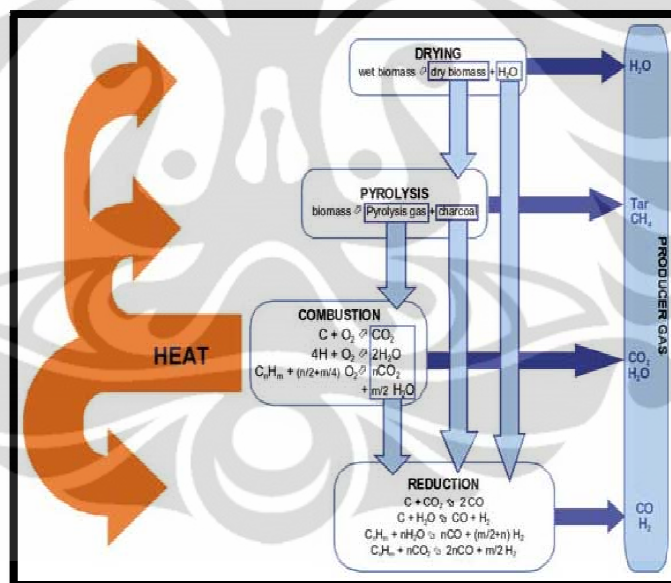
Hasil Gasifikasi	Gas Kotor yang belum dibersihkan	Perlu Dihilangkan sebelum Operasi Sintesa	Komposisi gas bersih
Gas yang dihasilkan	CO , H_2 , CH_4 , H_2S , NH_3 , dan Partikulat	H_2S , NH_3	CO , H_2 , CH_4

Sumber : Koestoer, R.A., et al., *Studi Batubara Indonesia, Potensi, Teknologi, dan Pemanfaatannya* (1997)

2.3.3 Proses Pembentukan Tar

Tar adalah kontaminan organik yang terbentuk selama proses gasifikasi berlangsung. Tar merupakan suatu campuran yang kompleks dari hidrokarbon yang dapat berkondensasi. Jumlah dan komposisi dari tar yang dihasilkan sangat tergantung pada jenis bahan bakar, kondisi proses pirolisis dan reaksi fase gas sekunder.

Tar tidak akan menjadi masalah jika tidak berkondensasi. Ketika proses gasifikasi masuk tahap pirolisis dengan temperatur antara 800-900°C, berdasar analisa, berat tar yang terbentuk berkisar antara 1-2% dari berat bahan bakar kering. Saat temperatur 800°C, tar yang terbentuk utamanya adalah jenis hidrokarbon aromatik. Pada 900°C, banyaknya jenis dan total jumlah tar berkurang lebih lanjut.



Gambar 2.3 Skema Reaksi Gasifikasi dan Pembentukan Tar

Sumber : <http://www.briangwilliams.com/low-energy-strategies/pyrolysis-gasification-and-anaerobic-digestion.html>

Namun bagaimanapun ketika gas didinginkan maka akan timbul permasalahan berupa terjadinya kontaminasi baik pada pendingin gas aliran kebawah maupun peralatan pembersih gas hasil gasifikasi. Oleh karenanya, dalam banyak aplikasi, kandungan tar dalam *gas product* harus

dikontrol untuk mencegah bermacam masalah yang bisa terjadi pada keseluruhan peralatan gasifikasi.

2.4 Pembersihan dan Pengkondisian *Syngas*

Gas yang dihasilkan dari gasifikasi akan direaksikan dengan udara untuk dibakar menjadi energi. Pembakaran *syngas* merupakan reaksi sintesis sehingga gas yang dihasilkan harus lebih murni. Sehingga diperlukan adanya pembersihan gas dari partikel pengotor dan pencemar lainnya.

Syngas mentah yang dihasilkan langsung dari proses gasifikasi biasanya mengandung partikel padat (partikel yang tidak terkonversi), pengotor anorganik (halida, alkali, senyawa belerang, nitrogen), dan kotoran organik (tar, aromatik, karbon dioksida).

Pada temperatur tinggi, reaksi kesetimbangan akan bergeser ke arah hidrogen sehingga gas yang dihasilkan akan mengandung gas hidrogen yang sangat tinggi. Sedangkan abu yang dihasilkan dari gasifikasi akan tertinggal di *gasifier* sebagai terak (*slag*). Namun pada temperatur rendah abu yang dihasilkan akan terbawa dengan *syngas* sebagai abu kering.

Adapun cara untuk membersihkan gas dari debu dan partikel yang tidak paling diinginkan yaitu tar, diantaranya filtrasi (*scrubber*). Sistem filtrasi inipun dibagi menjadi dua yaitu *wet scrubber* dan *dry scrubber*. Prinsip dasar dari semua jenis filtrasi (*scrubber*) adalah sama yaitu membersihkan gas dari unsur-unsur seperti senyawa-senyawa sulphur, senyawa-senyawa nitrogen, debu yang terangkut oleh gas, kelembaban dari gas, Temperatur gas, serta produk dari distilasi yaitu tar, minyak, gas-gas yang tak terkondensasi dan uap air. Sehingga gas yang dihasilkan dari unit filtrasi ini diharapkan telah bersih dan aman untuk dipergunakan kembali seperti menghidupkan mesin penggerak.

Pada laboratorium gasifikasi dan biomassa, jenis sistem filtrasi yang digunakan adalah cara basah dan kering, filtrasi kering yaitu *cyclone* yang digunakan untuk memfiltrasi terlebih dahulu gas sebelum masuk ke dalam *venturi scrubber*, sehingga diharapkan dengan bergerak sentrifugal kebawah partikel-partikel (pengotor) akan jatuh kebawah sehingga yang masuk ke *venturi scrubber*

hanya tinggal partikel-partikel yang berukuran kecil. Kemudian yang kedua adalah *venturi scrubber*, gas hasil pembakaran yang telah keluar dari *cyclone* akan masuk ke dalam *venturi scrubber* lalu masuk ke dalam separator sehingga gas yang keluar diharapkan benar-benar bersih sesuai standar yang ada.

2.4.1 *Venturi Scrubber*

Venturi scrubber didesain secara efektif menggunakan energi dari aliran gas masuk untuk mengatomisasi air yang digunakan untuk menyaring aliran gas.

Venturi scrubber menggunakan prinsip diferensial antara gas yang memiliki kecepatan yang tinggi dan aliran beban dari air untuk membuat droplet-droplet yang akan menangkap pengotor, dan membuat pengotor terkumpul seperti kumpulan lumpur yang akan dialirkan ke pembuangan.

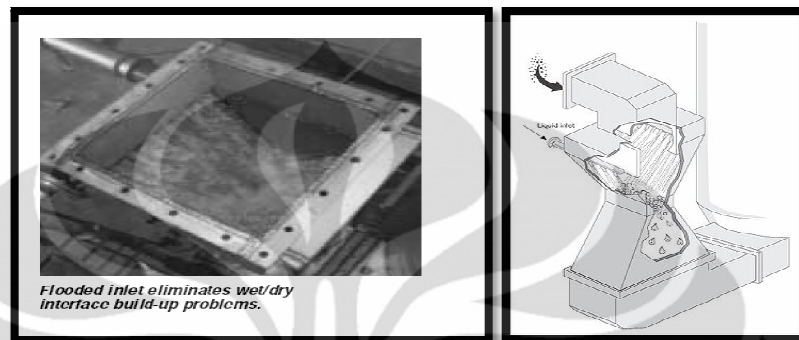
Venturi scrubber terdiri dari tiga bagian, pertama *converging section*, *throat section*, *diverging section*. Aliran gas masuk ke dalam *converging section*, karena bentuk venturi mengecil maka kecepatan gas akan bertambah. Air dimasukkan pada bagian awal *converging section* atau ketika memasuki bagian *throat*. Aliran gas yang masuk yang memiliki kecepatan yang tinggi pada bagian *throat* yang kecil, aliran air yang mengalir pada dinding venturi pada saat mencapai *throat* akan menghasilkan droplet-droplet air dalam jumlah yang banyak. Partikel dan gas buang yang terjadi pada *throat section* karena percampuran aliran gas yang masuk dengan dinding kabut dari droplet-droplet air. Aliran gas yang masuk kemudian keluar melewati *diverging section*. Gambar 2.6 menggambarkan konfigurasi *venturi* klasik.

Venturi scrubber memberikan keuntungan lebih dalam pemisahan dan pembuatan ulang kabut air dibandingkan dengan metode pembersih gas lainnya. *Venturi scrubber* memiliki desain yang sederhana namun memiliki efisiensi yang tinggi.

Keuntungan :

1. Sederhana, dengan mudah disesuaikan dengan pengaturan tekanan pada *throat* untuk efisiensi maksimum.

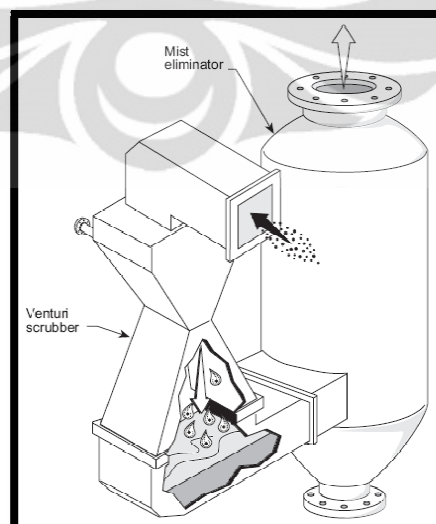
2. Bagian bawah yang berbentuk siku yang berfungsi untuk mengumpulkan droplet-droplet dari pengotor.
3. Mempunyai ketahanan terhadap temperatur dan korosi yang tinggi.
4. Dapat difungsikan pada konsentrasi pengotor yang tinggi sebagai pembuangan air.



Gambar 2.4 a) Penampang atas *venture scrubber*, b) *Venturi scrubber*

Sumber : Venturi scrubber application guide, SLY inc Technology for a Clean Environment

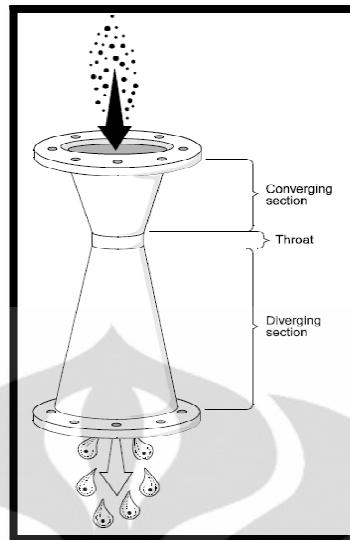
Terdapat banyak konfigurasi *scrubber* dan sistem *scrubber*, semuanya didesain untuk menyediakan kontak yang baik antara *liquid* dan gas kotor. Gambar 2.5 menunjukkan contoh desain *venturi scrubber*, termasuk *entrainment separator*nya.. *Mist eliminator* untuk *venturi scrubber* biasanya adalah alat terpisah yang disebut *cyclonic separator*.



Gambar 2.5 Contoh Desain *Venturi Scrubber*

Sumber : Gerald T. Joseph, Scrubber system operation review Self-instructional manual, North Carolina State University

Universitas Indonesia



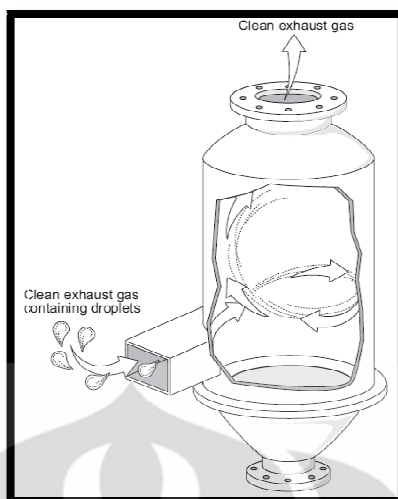
Gambar 2.6 Contoh Konfigurasi *Venturi*

Sumber : Gerald T. Joseph, *Scrubber system operation review Self-instructional manual*, North Carolina State University

2.4.2 *Entrainment Separator*

Seperti telah disebutkan sebelumnya, polutan pertama-tama harus kontak dengan liquid, lalu droplet liquid harus dipisahkan dari gas sebelum gas dapat digunakan. *Entrainment separator* atau disebut juga *mist eliminator* digunakan untuk memisahkan droplet liquid dari gas. Walaupun fungsi utama *entrainment separator* adalah untuk mencegah liquid yang terbawa dalam gas, namun juga sebagai fungsi *scrubber* tambahan dan mengganti cairan *scrubbing*, sehingga dapat menghemat biaya operasi. Oleh karena itu, *entrainment separator* biasanya adalah bagian terintegrasi dari sistem *venturi scrubbing* apapun.

Liquid yang terbawa memiliki ukuran yang bervariasi tergantung bagaimana droplet terbentuk. Droplet yang terbentuk secara fisik dari liquid (air) cukup besar (10-100 μm dalam diameter), sedangkan droplet yang terbentuk akibat reaksi kimia atau kondensasi berdiameter sekitar 5 μm atau kurang. Sejumlah tipe *entrainment separator* mampu memisahkan droplet tersebut, yang paling banyak digunakan untuk tujuan pengendalian polusi udara adalah *cyclonic*, *mesh-pad*, dan *blade separator*.



Gambar 2.7 Cyclone Separator

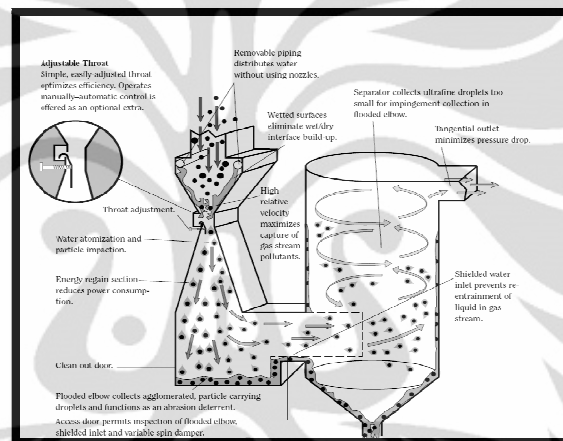
Sumber : Gerald T. Joseph, Scrubber system operation review Self-instructional manual, North Carolina State University

Cyclonic (centrifugal) separator yang biasanya digunakan bersama *venturi scrubber*, adalah sebuah tangki silinder dengan *inlet tangensial* dan vane pembelok. *Inlet tangensial* atau vane pembelok menciptakan gerakan memutar pada campuran arus gas-droplet. Droplet akan terlempar menuju dinding silinder akibat gaya centrifugal. Pada gambar 2.7 terlihat bahwa droplet bersatu dan jatuh turun dari dinding silinder menuju pusat lokasi dan akan didaur ulang. Konstruksi seperti ini tidak memiliki part atau bagian bergerak. Namun, memiliki masalah *plugging* atau penyumbatan bila terus digunakan secara kontinu. Pemisahan yang baik dari droplet berdiameter 10-25 μm dapat dilakukan. *Pressure drop* di sepanjang separator adalah 10-15 cm (4-6 in.) kolom air atau 98 % efisiensi pemisahan droplet pada kisaran ukuran 20-25 μm .

2.4.3 Prinsip Pengoperasian

Gas yang masuk yang memiliki kecepatan yang tinggi sampai pada tenggorokan dari *scrubber* akan kontak dengan air yang masuk sebagai penangkap pengotor. Air akan diatomisasi ke dalam bentuk droplet-droplet yang akan menangkap partikel-partikel pengotor dengan efisiensi yang tinggi. Gas yang telah bersih akan berkurang kecepatannya dan masuk ke dalam separator, sedangkan droplet-droplet yang telah menangkap

pengotor akan jatuh ke bagian bawah dari scrubber yang telah terbanjiri, sehingga mudah untuk dibuang, sedangkan droplet-droplet yang kecil akan terkumpul juga pada saat gas masuk ke dalam separator. Penurunan tekanan pada saat melewati tenggorokan *scrubber*, menjadi suatu ukuran dari energi yang diperlukan untuk mengatomisasi air yang digunakan untuk membuat droplet-droplet dan performa dari pembersihan gas. Penurunan tekanan yang tinggi, menghasilkan efisiensi yang tinggi juga untuk pengumpulan pengotor. Prinsip pengoperasian juga dapat dijelaskan dengan gambar 2.8 di bawah ini.



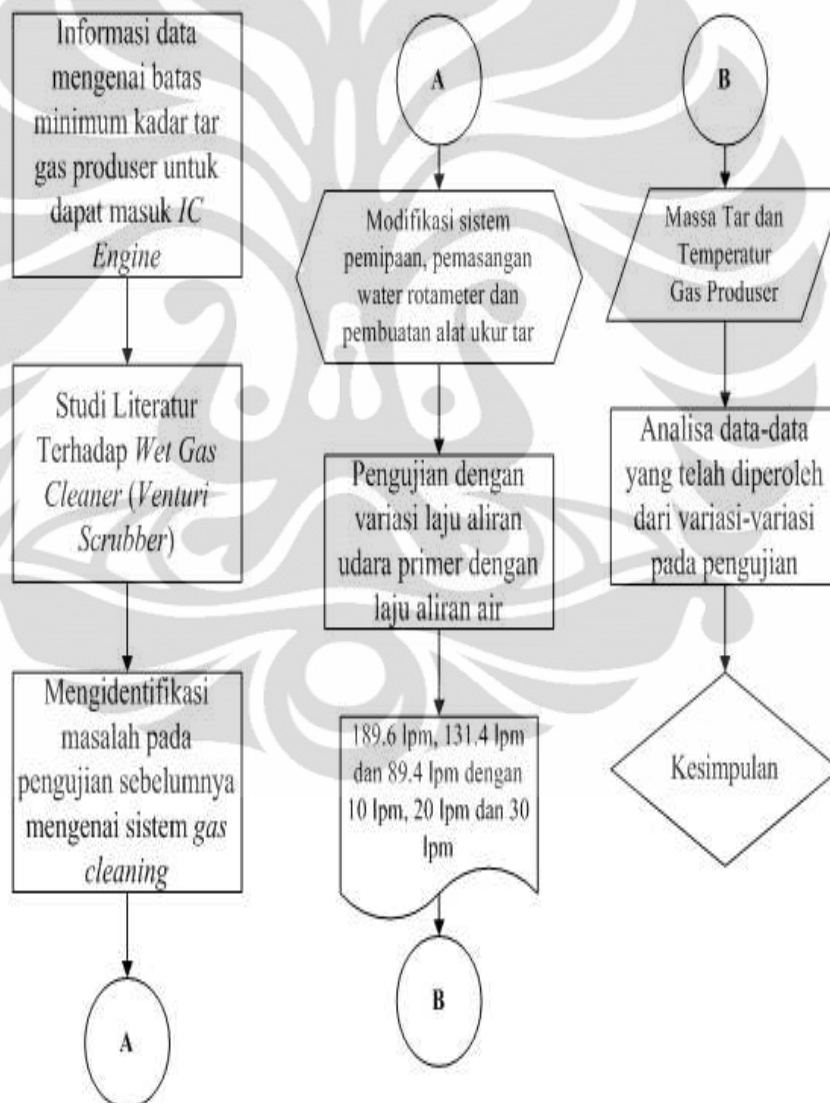
Gambar 2.8 Skema Aliran Gas pada *Venturi Scrubber*

Sumber : Wet scrubber application guide, SLY inc Technology for a Clean Environment

BAB 3 METODOLOGI PENELITIAN

Penelitian ini dilakukan dengan algoritma sebagai berikut :

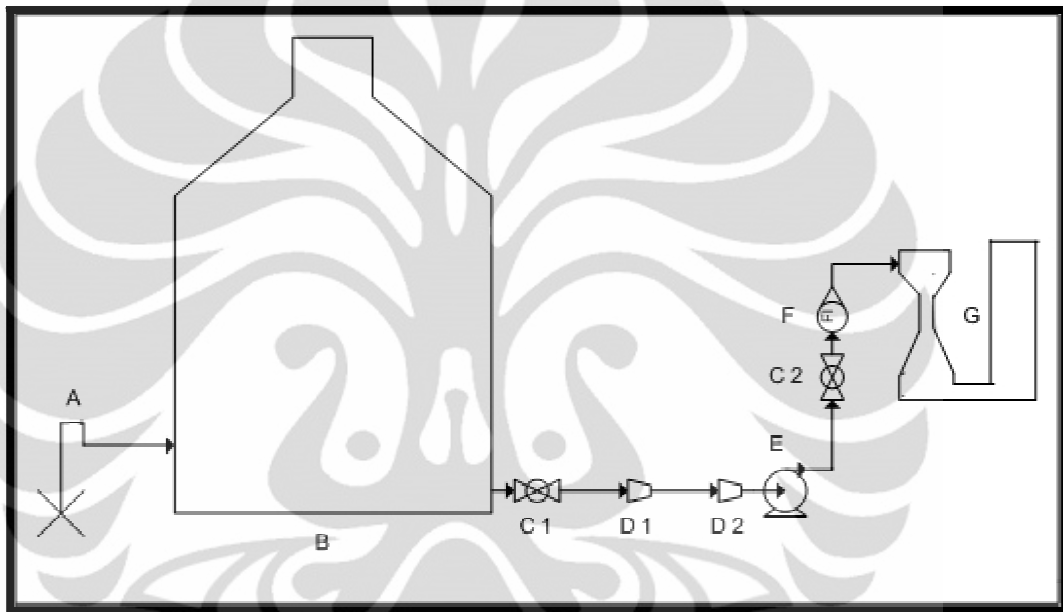
Diagram Alir Penelitian



Gambar 3.1 Diagram alir penelitian sistem *gas cleaning*

Sebelum dilakukan pengujian terhadap reaktor jenis *fix bed downdraft gasifier*, dilakukan beberapa modifikasi dan penambahan komponen.

Modifikasi yang telah dilakukan adalah sistem pemipaan untuk *venturi scrubber*. Modifikasi ini bertujuan mengurangi adanya kebocoran yang terjadi pada penelitian sebelumnya. Penambahan komponen diantaranya alat ukur tar dan *water rotameter* yang bertujuan membuat aliran air *venturi scrubber* dapat mengalir dengan konstan.



Gambar 3.2 Skematik pemipaan aliran air untuk *venture scrubber*

Keterangan gambar 3.2:

A	: Keran	E	: Pompa
B	: Tangki air	F	: <i>Water rotameter</i>
C1-C2	: <i>Ball valve</i>	G	: <i>Venturi scrubber</i>
D1-D2	: <i>Pipa reducer</i>		

3.1 Skematik Alat Pengujian

Pengujian sistem *fixed bed downdraft gasifier* ini dirangkai dengan beberapa komponen pelengkap seperti *blower*, *gas cleaner* berupa *cyclone* dan *venturi scrubber*, serta *burner* sebagai media pembakaran. Pengujian dilakukan di

Laboratorium Gasifikasi Biomassa Departemen Teknik Mesin Universitas Indonesia, Depok.

Komponen yang pertama adalah *blower* hembus yang digunakan untuk mensuplai udara ke dalam *gasifier* untuk kebutuhan pembakaran bahan bakar. *Blower* dipasang pada saluran suplai udara yang dihubungkan dengan katup. Katup tersebut berfungsi untuk mengontrol laju aliran udara gasifikasi yang akan didistribusikan ke dalam *gasifier*. Motor *blower* yang digunakan memiliki spesifikasi dengan *flow rate* udara maksimal $4,5 \text{ m}^3/\text{menit}$, kecepatan putar 2800 rpm, dengan daya 180 W, arus 0.9 A, dan voltase 220 volt.

Komponen kedua adalah reaktor *gasifier*. Reaktor merupakan sebuah wadah yang berbentuk silinder yang berfungsi sebagai tempat terjadinya semua proses gasifikasi seperti pengeringan, pirolisis, reaksi pembakaran, dan reaksi reduksi sehingga biomassa yang dibakar akan diubah menjadi gas mampu bakar. Reaktor yang digunakan memiliki diameter throat 0.12 m. Reaktor ini merupakan hasil perbaikan dari reaktor sebelumnya. Perbaikan dilakukan dengan mengganti *grate* yang berbentuk *cross filter* menjadi *filter* yang berbentuk garis sejajar.

Komponen keempat adalah *Cyclone*. *Cyclone* berfungsi sebagai separator yang memisahkan partikel-partikel pengotor yang terbawa oleh gas produser. Prinsip kerja *cyclone* adalah gas produser dari *gasifier* masuk melalui bagian atas *cyclone* secara tangensial. Gas produser yang masih mengandung partikel pengotor akan bergerak secara tangensial ke arah bawah pada dinding *cyclone*. Pada bagian bawah, partikel dengan ukuran yang lebih besar akan jatuh sedangkan gas produser akan naik kembali pada bagian *core cyclone* menuju saluran yang ada di atasnya.

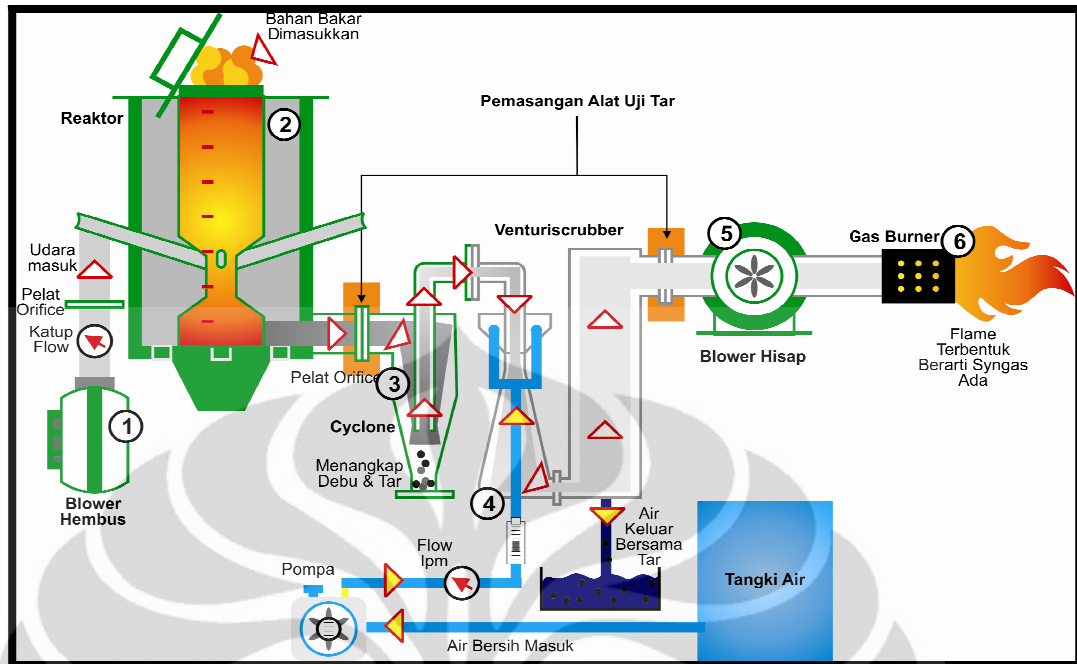
Komponen kelima adalah *venturi scrubber*. *Venturi scrubber* adalah pembersih gas dengan tipe basah. Gas yang masuk akan kontak dengan air yang masuk sebagai penangkap pengotor. Kemudian gas yang telah bersih akan masuk ke dalam separator. Droplet-droplet yang telah menangkap pengotor akan jatuh ke bagian bawah dari *scrubber* yang telah terbanjiri, sehingga mudah untuk dibuang, sedangkan droplet-droplet yang kecil akan terkumpul juga pada saat gas masuk ke dalam separator.

Komponen keenam adalah alat uji tar. Komponen ini berfungsi untuk mengambil sampel gas mampu bakar yang mengandung tar dan partikulat pengotor lainnya. Komponen ini terhubung dengan selang silikon anti panas. Tiap selang silikon tersebut menghubungkan 6 tabung impinger. Satu tabung berisi 50 ml air, 4 tabung berisi 50 ml aseton, 1 tabung diberikan filter. Air dan aseton digunakan sebagai media (*solvent*) pelarut tar. Kemudian tabung-tabung ini dihubungkan dengan pompa vakum yang berfungsi menghisap gas mampu bakar agar mengalir ke dalam tabung-tabung tersebut.

Komponen ketujuh adalah *blower* hisap. *Blower* dipasang disamping reaktor dan dihubungkan dengan pipa dan flange. *Blower* berfungsi sebagai alat penghisap gas mampu bakar yang dihasilkan dari *gasifier* yang kemudian diteruskan ke *cyclone*. Motor yang digunakan pada *blower* merupakan motor jenis 3 *phase* dengan spesifikasi daya sebesar 1.5 hp, arus 25 A, frekuensi 50 Hz, dan tegangan 380 volt. Kecepatan putaran motor pada *blower hisap* dikendalikan oleh inverter. Inverter digunakan sebagai alat bantu untuk mengatur kecepatan putar *blower hisap* dalam satuan rotasi per menit. Tipe motor *blower* yang digunakan adalah motor 3 fasa yang memiliki 3 kabel konduktor dengan warna yang berbeda. Kabel tersebut dipasang pada jalur yang sesuai pada inverter. Kesalahan dalam pemasangan akan mengakibatkan kegagalan fungsi dari inverter bahkan mengakibatkan kerusakan pada alat.

Komponen kedelapan adalah *digital temperature data logger*. Temperatur yang terukur oleh termokopel pada reaktor dan saluran gas produser tersebut akan divisualisasikan melalui sebuah data logger. Data logger digital yang digunakan memiliki 5 *channel* dengan satuan derajat Celcius (°C).

Setelah melalui proses pembersihan dan pengukuran jumlah tar, gas produser akan dibakar secara sempurna dengan udara pada burner untuk mendapatkan nyala api dengan temperatur tertentu. Gambar 3.3 merupakan skematik alat pengujian.



Gambar 3.3 Skematik alat pengujian

3.2 Modifikasi Sistem Pemipaan Menuju *Venturi Scrubber*

3.2.1 Tangki Air

Tangki yang digunakan masih sama dengan pengujian terdahulu (tidak mengalami pergantian). Tangki utama ini berfungsi untuk menampung air yang dialirkan dari sumber utama (keran), sehingga aliran yang masuk ke dalam *venturi scrubber* konstan. Tangki ini memiliki spesifikasi sebagai berikut :

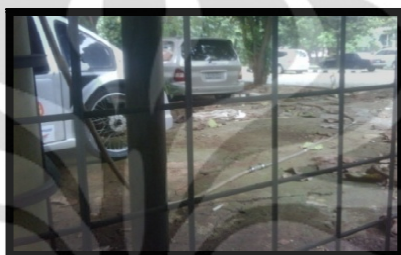
- Panjang = 1 meter
- Lebar = 1 meter
- Tinggi = 1 meter



Gambar 3.4 Tangki air

3.2.2 Sistem Aliran Air Masuk Tangki

Spesifikasi untuk sistem ini hanya menggunakan selang air ukuran $\frac{3}{4}$ inch dengan panjangnya ± 5 meter. Selang ini dihubungkan dengan keran air dekat area Laboratorium Gasifikasi Biomassa Universitas Indonesia. Keran air ini berfungsi sebagai sumber utama air yang akan digunakan *venturi scrubber*.



Gambar 3.5 Sistem aliran air masuk tangki

3.2.3 Sistem Pemipaan Air Keluar Tangki

Sistem ini juga bisa dikatakan sistem pemipaan menuju *venturi scrubber*. Sistem pemipaan ini dibagi menjadi dua yaitu saluran pemipaan sebelum masuk pompa dan setelah keluar pompa. Sistem pemipaan sebelum masuk pompa tersusun secara horizontal sedangkan sistem pemipaan setelah pompa tersusun secara vertikal.

Spesifikasi ukuran pipa yang digunakan pada sistem pemipaan sebelum masuk pompa, sebagai berikut :

1. Pipa = 1 $\frac{1}{2}$ inch, 1 inch, dan $\frac{3}{4}$ inch
2. Pipa *reducer* = 1 $\frac{1}{2}$ inch ke 1 inch dan 1 inch ke $\frac{3}{4}$ inch
3. Sock drat = 1 inch ke $\frac{3}{4}$ inch
4. Elbow = 1 $\frac{1}{2}$ inch (2 buah)



Gambar 3.6 Sistem pemipaan keluar tangki

Pompa ini digunakan untuk membantu air mengalir pada saat melewati pipa yang tersusun secara vertikal sehingga laju aliran air menuju *venturi scrubber* konstan. Spesifikasi pompa yang digunakan sebagai berikut :

- | | | | |
|----------------|------------|-----------|----------|
| 1. Qmax | = 35 l/min | 4. Output | = 125 w |
| 2. Suct. L max | = 9 m | 5. r.p.m | = 2850 |
| 3. Disc. L max | = 24 m | 6. VHz | = 220/50 |



Gambar 3.7 Pompa

Spesifikasi ukuran pipa yang digunakan pada sistem pemipaan setelah keluar pompa, sebagai berikut :

1. Pipa = 1 inch, $\frac{3}{4}$ inch dan $\frac{1}{2}$ inch
2. Pipa *reducer* = $\frac{3}{4}$ inch ke 1 inch
3. Pipa *reducer* = 1 inch ke $\frac{1}{2}$ inch
4. *Sock drat* = $\frac{1}{2}$ inch (2 buah)
5. Elbow = $\frac{1}{2}$ inch (3 buah)
6. Pipa T = $\frac{1}{2}$ inch

7. *Ball valve* = 1 *inch*
8. *Water rotameter*
9. Selang = ½ *inch* (2 buah)



Gambar 3.8 Sistem pemipaan menuju *venturi scrubber*

Sistem untuk aliran air kotor atau air hasil keluaran dari *venturi scrubber* hanya menggunakan selang 1 *inch* dan ditampung dalam botol aqua 1.5 liter.

3.2.4 Sistem Bukaan Katup Pada Tangki Air

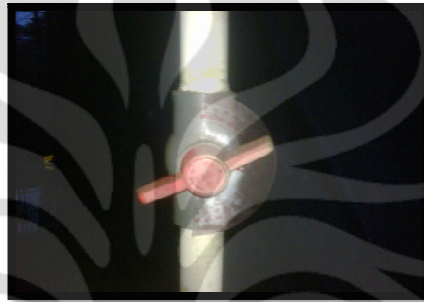
Pada pengujian ini, bukaan katup utama tidak mengalami variasi dikarenakan tidak ada pengaruh dari variasi tersebut. Hal tersebut disebabkan pengujian ini menggunakan pompa. Katup ini dibuka penuh (*full open*).



Gambar 3.9 Sistem bukaan tangki air

3.2.5 Sistem Buka-an Katup Pada *Venturi Scrubber*

Variasi bukaan katup *venturi scrubber* yang digunakan pada pengujian kali ini berdasarkan penunjukan angka pada *water rotameter*. Jika penunjukan angka sudah berada pada *scrubbing liquid* yang diinginkan (10 lpm, 20 lpm dan 30 lpm) maka pengaturan terhadap katup dihentikan.



Gambar 3.10 Sistem bukaan katup untuk *venture scrubber*

3.2.6 *Water Rotameter*

Water rotameter berfungsi menjaga aliran tetap konstan. Penggunaan *water rotameter* juga mempermudah menghitung laju aliran air menuju *venturi scrubber*.

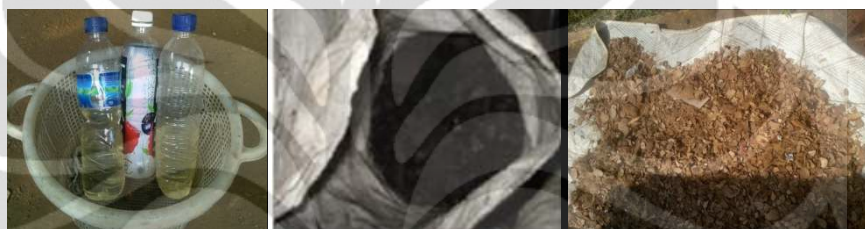


Gambar 3.11 *Water rotameter*

3.3 Metodologi Pengujian

3.3.1 Persiapan Bahan Bakar

Persiapan pengujian yang pertama adalah mempersiapkan bahan bakar. Penggunaan bahan terdiri atas arang jenis kayu, tempurung kelapa dan koran serta minyak tanah. Arang dan koran yang terbakar sebagai pembakaran awal atau *ignisi*. Minyak tanah dan koran mempercepat proses pembakaran tahap selanjutnya, terutama setelah tempurung kelapa dimasukkan ke dalam *gasifier*.



Gambar 3.12 Bahan bakar (minyak tanah, arang dan tempurung kelapa)

Persiapan yang dilakukan pada arang kayu adalah membuat penyesuaian ukuran. Ukuran arang kayu disesuaikan dengan diameter *throat* dari reaktor untuk mempermudah pemasukan arang. Pengisian arang ini sampai mencapai lubang suplai udara primer pada *throat*. Kemudian arang tahap kedua, arang yang ini dicampur dengan minyak tanah. Pengisian arang ini sampai *throat* pada reaktor terisi penuh. Kemudian dibakar menggunakan koran dalam mempermudah membakar arang kayu yang telah dicampur minyak tanah. Dalam melakukan pembakaran terhadap arang kayu, katup inlet udara primer dibuka dan *blower* suplai udara primer dinyalakan. Arang kayu akan menjadi bara baru tempurung kelapa yang sudah dipecahkan menjadi ukuran yang lebih kecil dimasukkan. Untuk menjaga bahan bakar tetap kering, dilakukan teknik penyimpanan di dalam karung-karung yang secara periodik dijemur (sehari sebelum pengujian). Untuk memastikan massa yang dimasukkan ke dalam *gasifier*, dilakukan dahulu penimbangan secara periodik dengan timbangan biasa.

3.3.2 Persiapan Alat Pengujian

Tahapan-tahapan persiapan terhadap alat pengujian :

- Perakitan dan penyambungan keseluruhan komponen utama gasifikasi (*blower* hembus – pipa konektor *blower* – *reactor gasifier* – *cyclone* – *venturi scrubber* – alat ukur tar – *blower* hisap – *burner*). Setiap flens ataupun sambungan pipa direkatkan dengan *seal high temperatur* serta *packing*.
- Pemasangan *inverter* untuk *blower* hisap. Memasang kabel motor *blower* hisap jenis 3 *phase* pada *inverter* sesuai dengan *port* yang telah ditentukan. Kabel dipastikan terpasang pada *port* yang tepat untuk menghindari terjadinya kerusakan alat.
- Pemasangan *pressure tap* untuk udara primer dan gas produser serta menghubungkan selang untuk manometer. Memasang 2 buah selang tahan panas pada *pressure tap* yang ada dekat pelat orifice yang telah dipasang sebelumnya. Ujung selang yang lain dihubungkan dengan tabung manometer U yang berada pada posisi tegak.
- Pemasangan 4 buah termokopel jenis K pada *port* reaktor gasifier.
Tc. 1, 2, 3, 4 : Pengukuran temperatur dalam gasifier.
Menghubungkan termokopel dan *data logger* menggunakan kabel konduktor.
- Pemasangan 2 buah termokopel jenis K pada *port* flens sebelum dan sesudah *gas cleaner*.
- Pemasangan tali asbes pada *feeding door* dan *ash holder* pada reaktor guna mencegah adanya kebocoran pada proses pengujian.
- Pemasangan alat ukur tar dengan komponen-komponennya sehingga berintegrasi dengan skematik alat pengujian lainnya.

3.3.3 Prosedur pengujian

Tahapan-tahapan pengujian dapat dijelaskan sebagai berikut, sebelum melakukan pengujian terlebih dahulu penutupan bagian bawah

reaktor dan memasang tali asbes untuk mencegah terjadinya kebocoran pada reaktor :

1. Pembakaran Awal

- Memasukkan arang kayu pada dasar refraktori reaktor sampai ke tenggorokan (terlihat lubang suplai udara primer) kemudian ditambah arang kayu yang telah disiram/dicampur dengan minyak tanah sampai *throat* tertutupi. Kemudian melalui *feeding door* dimasukkan koran yang telah terbakar.
- Penyalaan awal dengan bantuan koran sebagai penyulut untuk memulai proses pembakaran.
- *Blower* suplai udara primer dihidupkan sehingga terjadinya pembakaran terhadap arang kayu.
- Menunggu sampai arang kayu menjadi bara. Bahan bakar pada pengujian kali ini adalah tempurung kelapa.
- Setelah menjadi bara masukkan tempurung kelapa (± 6 kg). Kemudian dilakukan penutupan terhadap *feeding door* reaktor dan pemasangan tali asbes untuk mencegah terjadinya kebocoran melalui *feeding door*. Selama tempurung dimasukkan, *blower* suplai udara primer dimatikan

2. Pengaturan Suplai Udara Primer

- Setelah melakukan penutupan pada reaktor, *blower* suplai udara primer kembali dinyalakan. Buka katup dibuat 45° dan *blower* hisap dimatikan dengan tujuan membiarkan gas produser terkumpul di zona pirolisis sehingga yang keluar dari burner berupa gas mampu bakar tanpa mengandung uap air.

3. Penyalaan Gas Produser

- Setelah ± 20 menit, *blower* hisap (*inverter*) dinyalakan dengan kisaran ± 700 rpm.
- Lakukan penyulutan (ignisi) dengan pemantik kepada ujung *burner*. Bila belum tersulut, lakukan berulang-ulang.

- Setelah api menyala, dilakukan penyesuaian (penstabilan) nyala api sekitar 10 menit dengan kondisi parameter bukaan katup 45° dan besar *inverter* 700 rpm.

4. Pengaktifan *Venturi Scrubber* dan Alat Ukur Tar

- Setelah api menyala dan stabil, barulah katup *venturi scrubber* diatur dengan variasi 10 lpm, 20 lpm dan 30 lpm.
- Setelah *venturi scrubber* berjalan fungsinya maka katup alat ukur tar dibuka dan diambil sampel gas produser yang mengandung tar dan partikulat pengotor lainnya.

5. Pengukuran

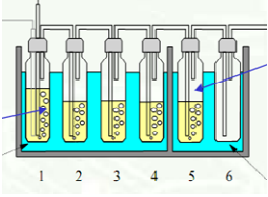
- Setelah api mengalami penstabilan dengan kondisi parameter yang telah diatur maka dilakukan pengukuran. Pengukuran dilakukan sesuai kondisi parameter-parameter yang sudah ditetapkan. Dalam penelitian tugas akhir ini, variasi *blower* hembus dimulai dari katup ditutup 30° (189.6 lpm), 45° (131.4 lpm) dan 60° (89.4 lpm). Setiap pergantian putaran *blower* hembus dilakukan pengecekan terhadap manometer U pada pengukuran laju aliran udara primer. Variasi *venturi scrubber* dimulai dengan katup pada variasi 10 lpm, 20 lpm dan 30 lpm
- Pembacaan dan pencatatan hasil pengukuran distribusi temperatur reaktor pada *data logger* setiap 2 menit sekali. Pencatatan dilakukan setelah variasi telah berjalan.
- Pengambilan gambar air hasil keluaran dari *venturi scrubber* dilakukan tiap variasi dan dilakukan setelah api menyala selama \pm 30 menit.
- Pengukuran dilakukan terus-menerus hingga bentuk dari nyala api mengalami perubahan. Fenomena tersebut menandakan bahwa bahan bakar harus dilakukan pengadukan.
- Dan seterusnya hingga bahan bakar seluruhnya terpakai dan produser gas sudah tidak mampu bakar lagi walaupun bahan bakar telah diaduk.

- Pengambilan sampel gas mampu bakar yang mengandung tar dan partikulan pengotor lainnya hanya berlangsung ± 20 menit. Setelah itu, dilakukan sistem *by-pass* sehingga gas produser tidak lagi melewati alat ukur tar. Pengambilan tersebut dilakukan berdasarkan variasi-variasi yang telah ditetapkan.
- Pengambilan temperatur gas mampu bakar dilakukan setelah pemasukan bahan bakar selesai (*feeding door* tertutup) baik sebelum dan setelah melewati *gas cleaner* sampai pengujian selesai.

6. Selesai pengujian


- Tetap menyalakan *blower primary air* untuk mengeluarkan seluruh asap dan residu yang masih tersisa di dalam reaktor.
- Setelah ± 2 jam, ketika kondisi reaktor mulai dingin dan bara sudah tidak menyala lagi kemudian satu hari sebelum pengujian selanjutnya, abu sisa pembakaran keluar melalui lubang pembuangan (*ash holder*) pada reaktor *gasifier*.
- Melepas semua alat ukur, yaitu termokopel kemudian membersihkan termokopel, manometer U dan selang tahan panas serta mengeluarkan air yang ada pada tabung manometer U.
- Meletakkan *tools kit* yang berkaitan dengan pengujian pada tempat yang dapat diingat sehingga ketika melakukan uji coba selanjutnya tidak memakan waktu yang lama dalam mencari *tools kit* tersebut.

3.3.4 Prosedur Pengambilan dan Penimbangan Massa Tar

Tahap pengambilan gas		Gambar
No	Deskripsi	
1	pengujian dilakukan dengan menggunakan 6 tabung berukuran 250ml	
2	tabung ke 1 diisi dengan air	
3	tabung ke 2 s/d 5 diisi dengan acetone	
4	tabung ke 6 dibiarkan kosong dan ditambahkan filter	
5	temperatur tabung 1 s/d 4 dijaga 20°C	
6	temperatur tabung 5 & 6 dijaga -20°C	
7	pengambilan gas dilakukan selama 20 menit	
8	flow gas saat pengambilan dijaga 10L/menit	

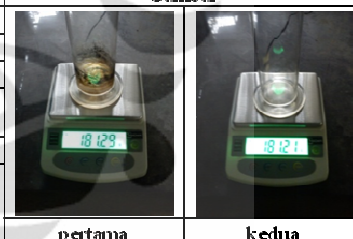
Gambar 3.13 Tahap pengambilan gas

Gambar 3.13 menjelaskan tahap-tahap dalam pengambilan gas mulai dari banyaknya tabung, media *solvent* (aseton dan air) yang digunakan, temperatur dalam tabung dan lamanya pengambilan sampel gas.

Tahap penguapan		
No	Deskripsi	Gambar
1	penguapan dilakukan dengan cara merendam tabung ke air yang dipanaskan	
2	tabung yang berisi acetone diuapkan pada temperatur 80°C	
3	tabung yang berisi air diuapkan pada temperatur >100°C	
4	penguapan dilakukan hingga air ataupun acetone mengering	

Gambar 3.14 Tahap perebusan tabung

Gambar 3.14 menjelaskan tahap-tahap dalam perebusan tabung berisikan sampel tar mulai dari temperatur yang digunakan dalam merebus dan kondisi yang dianggap perebusan telah selesai.

Tahap penimbangan		
No	Deskripsi	Gambar
1	proses penimbangan dilakukan 2 kali	
2	penimbangan pertama adalah saat kondisi tabung berisi tar	
3	penimbangan kedua adalah saat kondisi tabung bersih	
4	massa yang diperoleh merupakan selisih dari 2 penimbangan tersebut	

Gambar 3.15 Tahap penimbangan

Gambar 3.15 menjelaskan tahap-tahap dalam penimbangan. Tabung berisikan tar dan partikulat pengotor lainnya yang ditimbang terlebih dahulu setelah itu dilakukan pembersihan terhadap tabung tersebut kemudian setelah bersih dilakukan penimbangan kembali. Selisih dari dua penimbangan itulah yang merupakan massa.

BAB 4

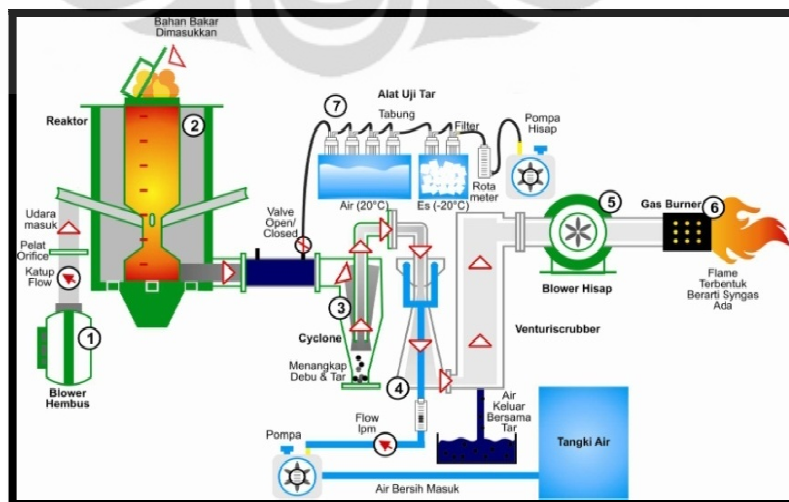
HASIL DAN PEMBAHASAN

Untuk mengetahui performa *venturi scrubber* dalam mengurangi kandungan tar, dimana *venturi scrubber* telah dimodifikasi sistem saluran pemipaannya dan penambahan *water rotameter* sehingga laju aliran air menjadi konstan serta alat uji tar yang diterapkan dalam mengukur tar yang dihasilkan oleh *downdraft gasifier*, dilakukan dengan memvariasikan laju aliran udara primer dan laju aliran air menuju *venturi scrubber*. Kandungan tar yang diperoleh dalam satuan mg/m^3 , dimana maksud dari satuan ini bukanlah ρ (rho) atau massa jenis namun satuan ini menyatakan massa tar (mg) per satuan volume (m^3) gas produser.

4.1 Sebelum Gas Cleaner

Pengujian kali ini, alat ukur tar berada sebelum *gas cleaner*. Adapun variasi yang dilakukan sebagai berikut :

- Variasi laju aliran udara primer 189.6 lpm
- Variasi laju aliran udara primer 131.4 lpm
- Variasi laju aliran udara primer 89.4 lpm



Gambar 4.1 Skematik alat pengujian dengan alat ukur tar berada sebelum *gas cleaner*

Keterangan gambar 4.1 :

- | | | | |
|---|---------------------------|---|-----------------|
| 1 | : Blower hembus | 5 | : Blower hisap |
| 2 | : Reaktor | 6 | : <i>Burner</i> |
| 3 | : <i>Cyclone</i> | 7 | : Alat uji tar |
| 4 | : <i>Venturi scrubber</i> | | |

Tabel 4.1 Kandungan tar yang dihasilkan tiap variasi laju aliran udara primer

No	Laju Aliran Udara Primer (lpm)	Massa Tar (gr)	Laju Aliran Gas Producer (lpm)	Waktu Pengambilan (menit)	Volume Gas Producer (m ³)	Kandungan Tar (g/m ³ satuan volume gas producer)
1	189.6	0.27	10	20	0.2	1.35
2	131.4	0.09	10	20	0.2	0.45
3	89.4	0.05	10	20	0.2	0.25

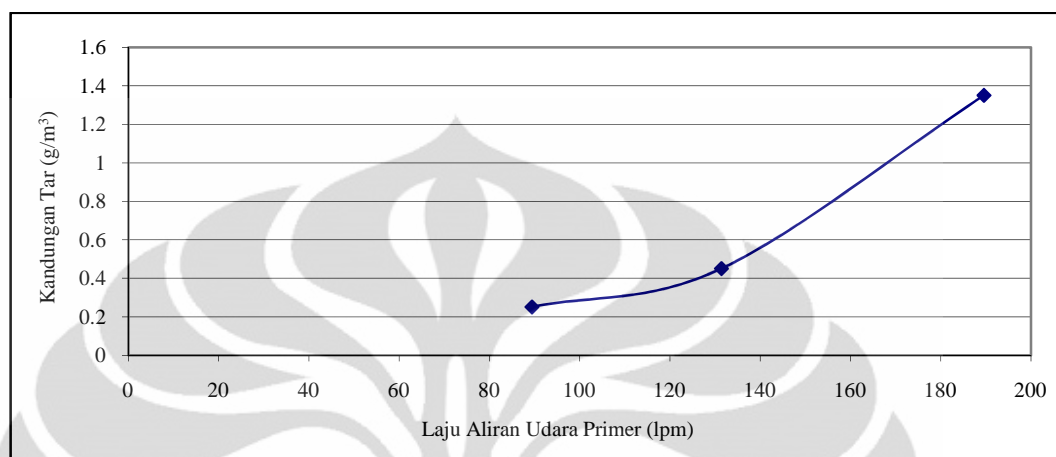
Tujuan pengujian ini untuk mengetahui banyaknya tar yang dihasilkan dari berbagai variasi laju aliran udara primer. Selain itu, tujuannya adalah untuk mengetahui kemampuan gas *cleaner* dalam mengurangi tar yang dihasilkan gas mampu bakar *downdraft gasifier*.

Untuk tiap variasi yang dilakukan, berat bahan bakar yang digunakan sebanyak 6 kg dan setiap variasinya tidak dilakukan penambahan bahan bakar (*feeding*). Gas produser yang mengandung tar diambil sampelnya selama 20 menit dengan laju aliran gas produser 10 lpm. Laju aliran gas produser dijaga konstan dengan menggunakan pompa vakum dan rotameter sebagai penunjuk laju aliran. Kondisi pengambilan sampel gas produser yang berisikan tar seperti ini dilakukan setiap variasi laju aliran udara primer.

Kondisi pengambilan sampel gas produser yang berisikan tar pada pengujian ini dilakukan setelah *downdraft gasifier* menghasilkan gas produser mampu terbakar dengan stabil. Pada laju aliran udara primer 189.6 lpm, tar diambil pada menit ke-52 setelah pembakaran awal, laju aliran udara primer 131.4 lpm tar diambil pada menit ke-46 pembakaran awal, sedangkan pada laju aliran udara primer 89.6 lpm tar diambil pada menit ke-46 setelah pembakaran awal.

Dari hasil pengujian dan setelah dilakukan kalkulasi sederhana, maka didapatkan banyaknya tar dari laju aliran udara primer 189.6 lpm menghasilkan

1.35 g/m³, laju aliran udara primer 131.4 lpm menghasilkan 0.45 g/m³ dan laju aliran udara primer 89.6 lpm menghasilkan 0.25 g/m³. Lebih lanjutnya dijelaskan pada grafik 4.1 di bawah ini.

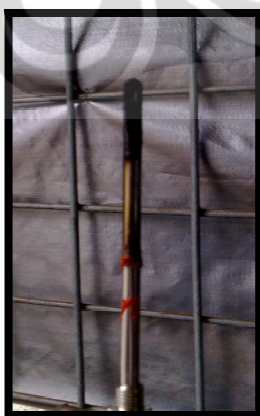


Grafik 4.1 Laju aliran udara primer terhadap kandungan tar sebelum *gas cleaner*

Pada grafik 4.1 terlihat bahwa semakin besar laju aliran udara primer maka semakin besar tar yang dihasilkan karena semakin banyak laju aliran udara primer maka semakin banyak gas produser dihasilkan. Hal ini disebabkan karena dengan bertambahnya suplai udara primer maka jumlah oksigen yang dipergunakan untuk pembakaran pada daerah oksidasi juga semakin meningkat. Selanjutnya semakin banyak pula CO₂ dan arang karbon yang terbentuk pada zona oksidasi. Di daerah reduksi akan semakin banyak reaksi CO₂ dengan H₂O membentuk gas CO dan H₂ serta pada zona pirolisis terjadi dekomposisi termal yang diakibatkan panas secara terus menerus sehingga biomassa (tempurung kelapa) menghasilkan gas metana, arang dan tar. Dengan demikian makin banyak gas produser yang dihasilkan, artinya laju aliran gas meningkat sesuai dengan laju aliran udara primer. Gas produser inilah yang mengandung tar dan semakin banyak gas produser maka semakin banyak tar yang dihasilkan. Fenomena itulah yang sering terjadi selama pengujian. Saat laju aliran udara primer 189.6 lpm, tar sampai merembes ke bagian *feeding door*. Pada saat pengambilan sampel gas produser, rata-rata temperatur pada laju aliran udara primer 189.6 lpm sekitar 673°C, pada laju aliran udara primer 131.4 lpm sekitar 685°C, dan pada laju aliran udara primer 89.6 lpm sekitar 731°C. Variasi laju aliran udara primer dilakukan pengujian pada hari yang

berbeda dan setiap variasinya dilakukan hanya satu *batch* (tidak mengalami penambahan bahan bakar). Pada pengujian sebelum *gas cleaner*, variasi laju aliran udara primer 189.6 lpm merupakan variasi yang pertama kali dilakukan kemudian variasi laju udara primer 131.4 lpm dan variasi 89.4 lpm merupakan variasi laju aliran udara primer yang terakhir kali dilakukan. Kondisi inilah yang menyebabkan temperatur zona pembakaran pada variasi laju aliran udara primer 89.4 lpm lebih tinggi daripada variasi laju aliran udara primer lainnya, dimana kondisi reaktor belum mencapai kondisi temperatur lingkungan. Kondisi temperatur seperti ini juga memengaruhi pembentukan tar tiap laju aliran udara primer karena semakin tinggi temperatur proses gasifikasi maka reaksi pembentukan tar akan lebih kecil terjadi. Seperti pada jurnal : *Experimental Investigation of a Downdraft Biomass Gasifier* yang dilakukan Zaenal, Seetharamu, dkk pada Januari 2003 menyatakan bahwa kandungan tar yang dihasilkan sangat ditentukan sekali oleh temperatur yang terjadi pada daerah pembakaran. Tar akan pecah sempurna pada temperatur daerah pembakaran diatas 1000°C. Namun temperatur pada gasifier di zona pembakaran tidak pernah menyentuh di atas 900°C. Oleh karena itu, temperature pada zona pembakaran tidak memengaruhi kandungan tar yang dihasilkan *downdraft gasifier* dari segi variasi laju aliran udara primer.

4.1.1 Hasil Visualisai Tar



Gambar 4.2 Termokopel gas produser sebelum *gas cleaner*

Gambar 4.2 merupakan hasil dokumentasi termokopel yang penempatannya sebelum *gas cleaner*. Bisa dilihat bahwa tar menempel pada sisi atas termokopel.

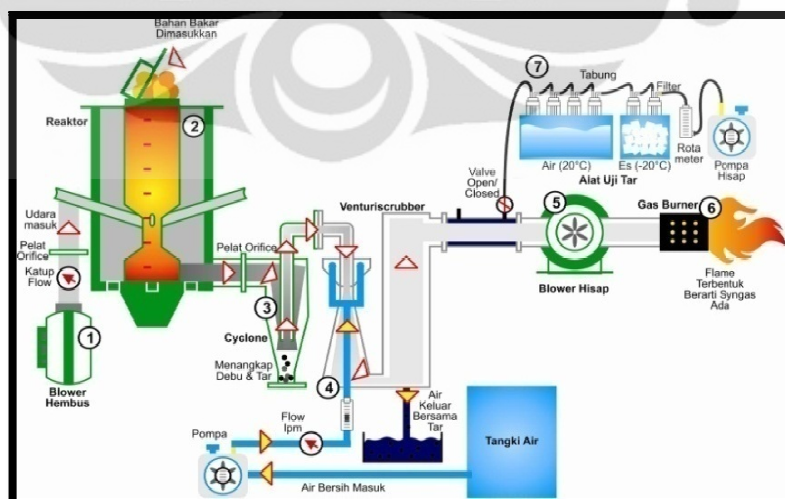
4.2 Sesudah *Gas Cleaner*

Pengujian kali ini, alat ukur tar berada sesudah *gas cleaner*. Adapun variasi yang dilakukan sebagai berikut :

- Satu variasi laju aliran udara primer (189.60 lpm) dengan tiga *scrubbing liquid venturi scrubber* (10, 20, dan 30 lpm).
- Satu variasi laju aliran udara primer (131.40 lpm) dengan tiga *scrubbing liquid venturi scrubber* (10, 20, dan 30 lpm).
- Satu variasi laju aliran udara primer (89.40 lpm) dengan tiga *scrubbing liquid venturi scrubber* (10, 20, dan 30 lpm).

Keterangan gambar 4.3 :

- | | | | |
|---|---------------------------|---|-----------------|
| 1 | : Blower hembus | 5 | : Blower hisap |
| 2 | : Reaktor | 6 | : <i>Burner</i> |
| 3 | : <i>Cyclone</i> | 7 | : Alat uji tar |
| 4 | : <i>Venturi scrubber</i> | | |



Gambar 4.3 Skematik alat pengujian dengan alat ukur tar berada sesudah *gas cleaner*

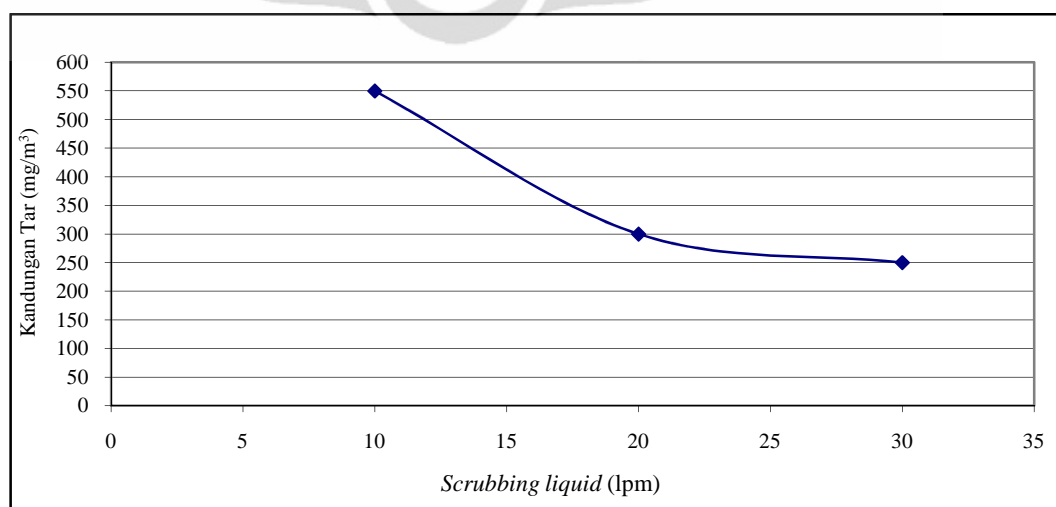
4.2.1 Laju Aliran Udara Primer 189.6 lpm

Berdasarkan kondisi variasi sebelum *gas cleaner*, laju aliran udara primer 189.6 lpm dilakukan terlebih dahulu dikarenakan pada laju aliran udara primer ini mengandung tar lebih banyak dibanding laju aliran udara primer lainnya. Pada laju aliran udara primer 189.6 lpm dan tiga variasi laju aliran air, dilakukan satu tahap pengujian dan dilakukan penambahan bahan bakar (*feeding*). Awal massa bahan bakar 6 kg dan tiap penambahan bahan bakar dimasukkan 3 kg.

Tabel 4.2 Kandungan tar yang dihasilkan laju aliran udara primer 189.6 lpm sesudah *gas cleaner*

No	Scrubbing Liquid (lpm)	Massa Tar (mg)	Laju Aliran Gas Produser (lpm)	Waktu Pengambilan (menit)	Volume Gas Produser (m ³)	Kandungan Tar (mg/m ³)
1	10	110	10	20	0.2	550
2	20	60	10	20	0.2	300
3	30	50	10	20	0.2	250

Dari hasil pengujian yang diperoleh, pada laju aliran air *venturi scrubber* 10 lpm, banyaknya tar yang dihasilkan sebesar 550 mg/m³, untuk laju aliran air *venturi scrubber* 20 lpm banyaknya tar yang dihasilkan gas produser sebesar 300 mg/m³, sedangkan pada laju aliran air *venturi scrubber* 30 lpm banyaknya tar yang dihasilkan sebesar 250 mg/m³. Lebih lanjutnya dijelaskan pada grafik 4.2 di bawah ini.



Grafik 4.2 *Scrubbing liquid* terhadap kandungan tar dengan laju aliran udara primer 189.6 lpm

Pada grafik 4.2 terlihat bahwa semakin besar laju aliran air *venturi scrubber* maka semakin berkurang tar yang dihasilkan. Tanpa menggunakan *venturi scrubber*, pada laju aliran udara primer 189.6 lpm didapatkan kandungan tar 1350 mg/m³. Setelah menggunakan *venturi scrubber* dengan tiga variasi laju aliran air (10 lpm, 20 lpm dan 30 lpm), gas produser mengalami pembersihan dengan jumlah tar yang paling sedikit untuk variasi ini sebesar 250 mg/m³.

4.2.2 Laju Aliran Udara Primer 131.4 lpm

Pada laju aliran udara primer 131.4 lpm dan tiga variasi laju aliran air, dilakukan satu tahap pengujian dan dilakukan penambahan bahan bakar (*feeding*). Awal massa bahan bakar 6 kg dan tiap penambahan bahan bakar dimasukkan 3 kg.

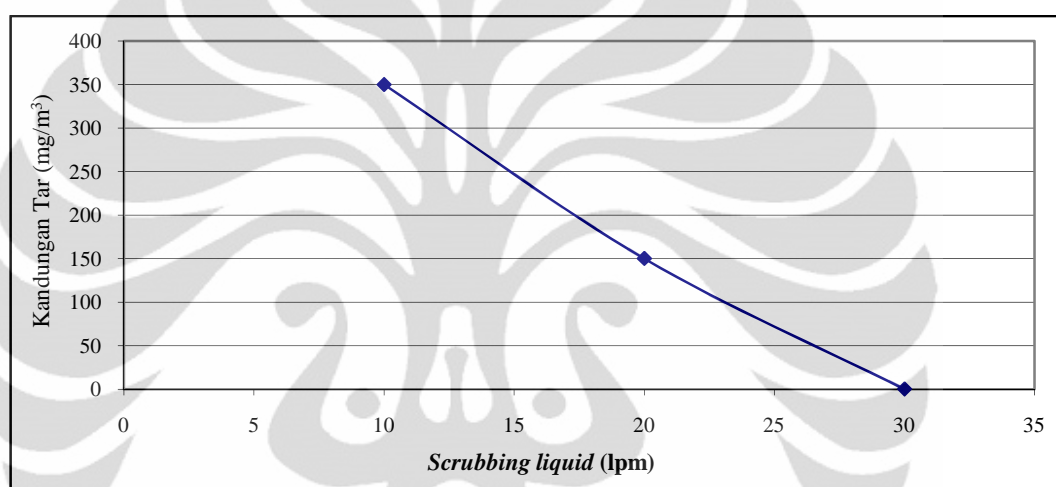
Tabel 4.3 Kandungan tar yang dihasilkan laju aliran udara primer 131.4 lpm sesudah *gas cleaner*

No	<i>Scrubbing liquid</i> (lpm)	Massa Tar (mg)	Laju Aliran Gas Produser (lpm)	Waktu Pengambilan (menit)	Volume Gas Produser (m ³)	Kandungan Tar (mg/m ³)
1	10	70	10	20	0.2	350
2	20	30	10	20	0.2	150
3	30	Tak terdeteksi	10	20	0.2	Tak terdeteksi

Dari hasil pengujian yang diperoleh, pada laju aliran air *venturi scrubber* 10 lpm, banyaknya tar yang dihasilkan sebesar 350 mg/m³, untuk laju aliran air *venturi scrubber* 20 lpm banyaknya tar yang dihasilkan gas produser sebesar 150 mg/m³, sedangkan pada laju aliran air *venturi scrubber* 30 lpm banyaknya tar yang dihasilkan sebesar 0 mg/m³.

Pada grafik 4.3 terlihat bahwa semakin besar laju aliran air *venturi scrubber* maka semakin berkurang tar yang dihasilkan. Tanpa menggunakan *venturi scrubber*, pada laju aliran udara primer 131.4 lpm didapatkan kandungan tar 450 mg/m³. Setelah menggunakan *venturi scrubber* dengan tiga variasi laju aliran air (10 lpm, 20 lpm dan 30 lpm), gas produser mengalami pembersihan dengan jumlah tar yang paling

sedikit untuk variasi ini dianggap sebesar 0 mg/m^3 . Dalam variasi laju udara primer 131.4 lpm dan *scrubbing liquid* 30 lpm, massa tar tidak terbaca (tidak terdeteksi) setelah dilakukan penimbangan. Hal ini disebabkan kurangnya kemampuan timbangan digital dengan tingkat ketelitian 0.01 gram dalam membaca selisih massa tar yang berada dalam tabung impinger sebelum dibersihkan dan sesudah dibersihkan. Namun variasi ini secara visualisasi dinyatakan paling sedikit menghasilkan tar dibandingkan variasi lainnya (hasil dokumentasi terlampir).



Grafik 4.3 *Scrubbing liquid* terhadap kandungan tar dengan laju udara primer 131.4 lpm

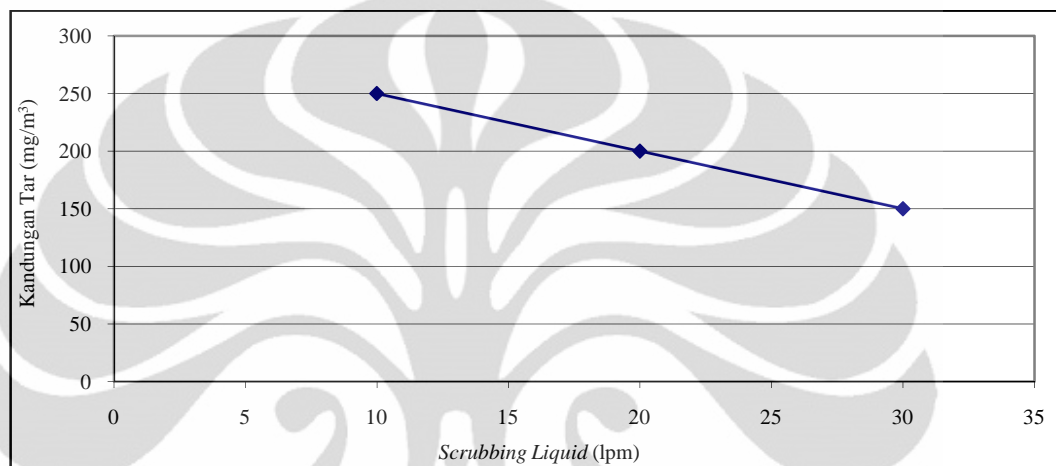
4.2.3 Laju Aliran Udara Primer 89.4 lpm

Pada laju aliran udara primer 89.4 lpm dan tiga variasi laju aliran air, dilakukan satu tahap pengujian dan dilakukan penambahan bahan bakar (*feeding*). Awal massa bahan bakar 6 kg dan tiap penambahan bahan bakar dimasukkan 3 kg.

Tabel 4.4 Kandungan tar yang dihasilkan laju aliran udara primer 89.4 lpm sesudah *gas cleaner*

No	<i>Scrubbing Liquid</i> (lpm)	Massa Tar (mg)	Laju Aliran Gas Produser (lpm)	Waktu Pengambilan (menit)	Volume Gas Produser (m ³)	Kandungan Tar (mg/m ³)
1	10	50	10	20	0.2	250
2	20	40	10	20	0.2	200
3	30	30	10	20	0.2	150

Dari hasil pengujian yang diperoleh, pada laju aliran air *venturi scrubber* 10 lpm, banyaknya tar yang dihasilkan sebesar 250 mg/m^3 , untuk laju aliran air *venturi scrubber* 20 lpm banyaknya tar yang dihasilkan gas produser sebesar 200 mg/m^3 , sedangkan pada laju aliran air *venturi scrubber* 30 lpm banyaknya tar yang dihasilkan sebesar 150 mg/m^3 .



Grafik 4.4 *Scrubbing liquid* terhadap kandungan tar dengan laju aliran udara primer 89.4 lpm

Pada grafik 4.4 terlihat bahwa semakin besar laju aliran air *venturi scrubber* maka semakin berkurang tar yang dihasilkan. Tanpa menggunakan *venturi scrubber*, pada laju aliran udara primer 89.4 lpm didapatkan kandungan tar 250 mg/m^3 . Setelah menggunakan *venturi scrubber* dengan tiga variasi laju aliran air (10 lpm, 20 lpm dan 30 lpm), gas produser mengalami pembersihan dengan jumlah tar yang paling sedikit untuk variasi ini sebesar 150 mg/m^3 .

4.2.4 Hasil Visualisasi Tar

Gambar 4.4 merupakan hasil dokumentasi termokopel yang penempatannya sebelum *gas cleaner*. Bisa dilihat bahwa tar menempel pada sisi atas termokopel namun lebih sedikit dibandingkan termokopel yang penempatannya sebelum melewati *gas cleaner*.



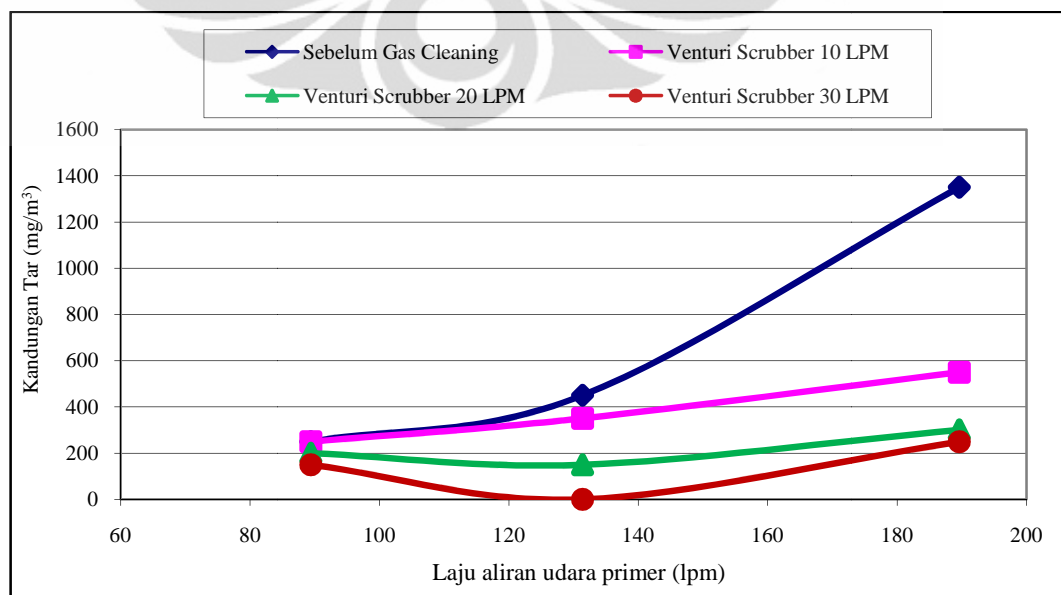
Gambar 4.4 Termokopel gas produser sesudah *gas cleaner*

4.3 Perbandingan Tar Sebelum *Gas Cleaner* dan Sesudah *Gas Cleaner*

Tabel 4.5 Perbandingan kandungan tar sebelum *gas cleaner* dan sesudah *gas cleaner*

No	Laju Aliran Udara Primer	Sebelum Gas Cleaner	10 lpm	20 lpm	30 lpm
1	189.6	1350	550	300	250
2	131.4	450	350	150	0
3	89.4	250	250	200	150

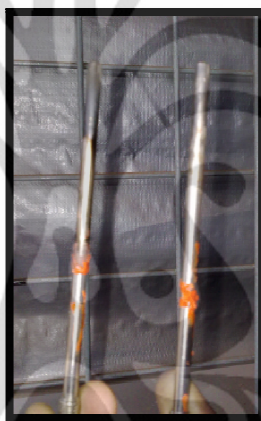
Tabel 4.5 mendeskripsikan bahwa data-data yang ada dalam tabel berisikan perbandingan antara kandungan tar pada kondisi sebelum *gas cleaner* dengan sesudah *gas cleaner*.



Grafik 4.5 Perbandingan kandungan tar terhadap variasi *scrubbing liquid*

Grafik 4.5 menunjukkan bahwa semakin banyak laju aliran air menuju *venturi scrubber* maka semakin banyak tar yang ditangkap dikarenakan berdasarkan literatur yang didapat bahwa jumlah tar dan pengotor lainnya yang terkumpul meningkat seiring bertambahnya jumlah air yang digunakan sampai mencapai keadaan optimum, sedangkan Gerald T. Joseph mengungkapkan bahwa semakin besarnya *scrubbing liquid* suatu venturi scrubber meningkat seiring bertambahnya luas permukaan air yang tercipta untuk bersentuhan dengan partikel tar dan pengotor lainnya dan mampu menangkap partikel-partikel tersebut.

4.3.1 Hasil Visualisasi Tar



Gambar 4.5 Kedua Termokopel a) Sebelum *Gas Cleaner* b) Sesudah *Gas Cleaner*

Gambar 4.5 merupakan hasil dokumentasi termokopel yang penempatannya sebelum dan sesudah *gas cleaner*. Bisa dilihat perbandingan diantara kedua termokopel tersebut. Perbedaan menunjukkan bahwa tar berkurang saat melewati *gas cleaner*.

4.4 Efisiensi *Wet Gas Cleaner*

Efisiensi kinerja *wet gas cleaner* bertujuan untuk mengetahui kemampuan *venturi scrubber* dalam mengurangi kandungan tar yang dihasilkan *downdraft gasifier*. Efisiensi kinerja *wet gas cleaner* akan dipengaruhi oleh parameter-parameter kondisi operasi *downdraft gasifier*. Efisiensi terbesar dihasilkan saat

wet gas cleaner bekerja pada kondisi yang optimal dalam mengurangi kandungan tar yang dihasilkan *downdraft gasifier*.

% efisiensi

$$= \frac{(\text{Massa tar sebelum menggunakan gas cleaner} - \text{massa tar setelah menggunakan gas cleaner})}{\text{Massa tar sebelum menggunakan gas cleaner}} \times 100\%$$

Tabel 4.6 Efisiensi *Wet Gas Cleaner*

No	Laju Aliran udara primer	Kandungan Tar Sebelum Gas Cleaner (mg/m ³)	Scrubbing Liquid	Kandungan tar Sesudah Gas Cleaner (mg/m ³)	% Efisiensi
1	189.6 lpm	1350	10 lpm	550	59.26
2	189.6 lpm	1350	20 lpm	300	77.78
3	189.6 lpm	1350	30 lpm	250	81.48
4	131.4 lpm	450	10 lpm	350	22.22
5	131.4 lpm	450	20 lpm	150	66.67
6	131.4 lpm	450	30 lpm	0	100
7	89.4 lpm	250	10 lpm	250	0
8	89.4 lpm	250	20 lpm	200	20
9	89.4 lpm	250	30 lpm	150	40

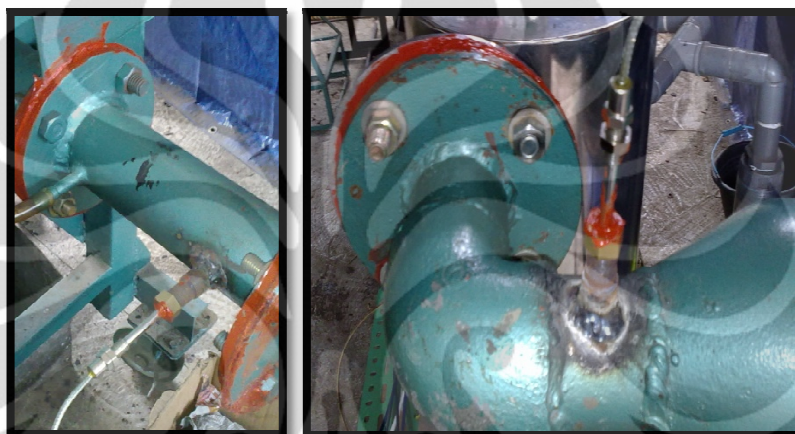
Dari semua variasi yang ada, didapatkan data banyaknya tar yang dihasilkan sebelum *gas cleaner* dan sesudah *gas cleaner*. Efisiensi kinerja *wet gas cleaner* yang terbesar diperoleh dari variasi laju aliran udara primer 131.4 lpm dan laju aliran air *venturi scrubber* 30 lpm sebesar 100%. Semakin banyak tar yang ditangkap oleh *scrubbing liquid* dari *venturi scrubber* maka semakin besar efisiensi kinerja dari *wet gas cleaner*. Efisiensi *wet gas cleaner* sebesar 100% dapat dikatakan *unpredictable efficiency* dikarenakan pada parameter ini ada faktor lain yang memengaruhi hasil efisiensi yang didapat. Faktor yang dimaksud adalah timbangan digital yang kurang mampu membaca massa tar pada variasi laju aliran udara primer 131.4 lpm dan *scrubbing liquid* 30 lpm.

Berdasarkan tabel efisiensi *wet gas cleaner* di atas, dapat disimpulkan bahwa *venturi scrubber* yang digunakan mampu menurunkan kandungan tar yang ada dalam gas produser.

4.5 Pengaruh *Wet Gas Cleaner* Terhadap Temperatur Gas Produser

Selain kandungan tar dalam gas produser (gas mampu bakar) menjadi permasalahan dan menjadi syarat untuk masuk *engine*, temperatur gas produser (gas mampu bakar) menjadi salah satu syarat yang harus dipenuhi.

Pengukuran temperatur dilakukan untuk mengetahui pengaruh temperatur gas mampu bakar yang dihasilkan *downdraft gasifier* sesudah melewati *gas cleaner*. Peletakanudukan termokopel berada sebelum *gas cleaner* dan sesudah *gas cleaner* dapat dijelaskan pada gambar 4.6.



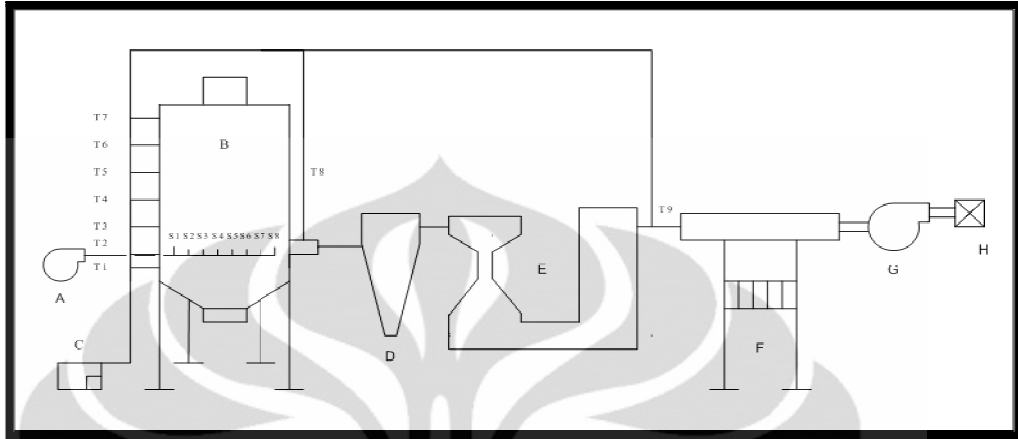
Gambar 4.6 Penempatan kedua termokopel a) sebelum *gas cleaner* b) sesudah *gas cleaner*

Adapun variasi pengujian yang dilakukan adalah pada kondisi *gas cleaner* bekerja dengan optimum dalam mengurangi kadar tar, dimana variasi tersebut adalah laju aliran udara primer 131.4 lpm dengan laju aliran air *venturi scrubber* 30 lpm.

Gambar 4.7 merupakan gambar skematik penempatan termokopel pada reaktor dan gas produser. T1-T7 merupakan termokopel yang digunakan untuk reaktor dan T8 dan T9 merupakan termokopel yang digunakan untuk mengukur temperatur gas produser yang dihasilkan *downdraft gasifier*.

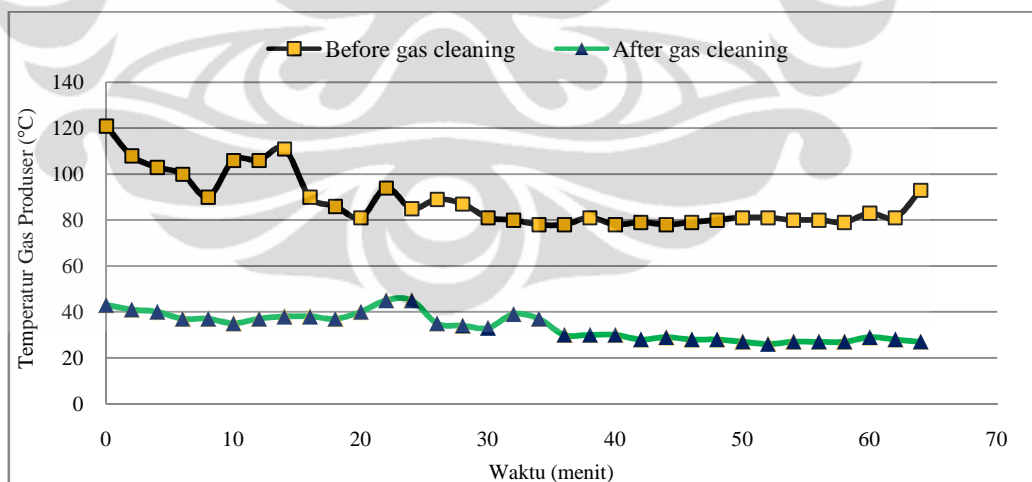
Variasi ini dilakukan di hari yang sama, penambahan (*feeding*) bahan bakar (tempurung kelapa) dilakukan ketika *gasifier* tidak menghasilkan gas mampu bakar. Ketika dilakukan *feeding* maka variasi laju aliran air *venturi scrubber* berubah. Selama melakukan penambahan bahan bakar, termokopel yang diletakkan sesudah *gas cleaner* dilepas dari dudukannya. Hal ini dilakukan untuk

meyakinkan tidak adanya pengaruh dari variasi *scrubbing liquid* yang dilakukan sebelumnya.



Gambar 4.7 Skematik penempatan termokopel pada reaktor dan gas produser

Grafik di bawah ini menjelaskan hubungan laju aliran udara primer 131.4 lpm pada saat *scrubbing liquid venturi* 30 lpm terhadap temperatur gas produser. Sumbu x menandakan waktu (menit) pengambilan sampel gas produser.



Grafik 4.6 Temperatur gas produser

Ada dua *trendline* pada grafik 4.6, *trendline* atas dengan tanda kotak berwarna kuning merupakan *trendline* temperatur gas mampu bakar sebelum melewati *gas cleaner* sedangkan *trendline* bawah dengan tanda segitiga berwarna hijau merupakan *trendline* temperatur gas mampu bakar sesudah melewati *gas cleaner*.

Pengukuran temperatur gas mampu bakar untuk laju aliran air *venturi scrubber* 30 lpm dilakukan setelah *scrubbing liquid venturi scrubber* 20 lpm dan 10 lpm. Saat memulai variasi ini, terlebih dahulu dilakukan penambahan bahan bakar, pengisian terhadap tangki air dan termokopel setelah *gas cleaner* dilepas dari dudukannya. Pengukuran temperatur gas mampu bakar pada variasi ini dimulai setelah temperatur termokopel setelah *gas cleaner* menunjukkan temperatur lingkungan. Pengukuran temperatur gas mampu bakar dilakukan sampai satu *batch* bahan bakar tidak lagi mampu menghasilkan gas mampu bakar (*producer gas*).

Dari variasi ini, tercatat temperatur gas mampu bakar sebelum melewati *gas cleaner* terukur yang tertingginya 121°C. Setelah gas mampu bakar melewati *gas cleaner* terjadi penurunan temperatur sampai 26°C. Penurunan ini disebabkan oleh hilangnya sebagian unsur pengotor (tar dan partikulat lainnya) yang memiliki kontribusi temperatur terhadap gas mampu bakar.

Dari pengukuran temperatur yang telah dilakukan untuk variasi laju aliran udara primer 131.4 lpm dan *scrubbing liquid venturi scrubber* 30 lpm dapat dilihat terjadi penurunan temperatur gas produser setelah gas produser melewati *venturi scrubber*. Penurunan temperatur gas produser dikarenakan banyaknya air yang terdistribusi ke dalam *throat venturi scrubber* sehingga panas yang dibawa oleh gas mampu bakar diserap oleh banyaknya air yang mengalir menuju *venturi scrubber*. Penurunan ini juga disebabkan oleh hilangnya sebagian unsur pengotor (tar dan partikulat lainnya) yang memiliki kontribusi temperatur terhadap gas mampu bakar.

BAB 5

KESIMPULAN DAN SARAN

5.1 Kesimpulan

Dari keseluruhan proses penelitian dan pengujian yang telah dilakukan, maka dapat diambil kesimpulan sebagai berikut :

1. Variasi laju aliran udara primer 131.4 lpm dan laju aliran air *venturi scrubber* 30 lpm merupakan variasi yang paling optimal karena memiliki kecenderungan menghasilkan tar paling sedikit.
2. Efisiensi *wet gas cleaner* yang dipakai pada penelitian ini dapat mengurangi kandungan tar dari gas mampu bakar sampai 100%. Efisiensi sampai 100% ini bisa disebut *unpredictable efficiency*, hal ini dipengaruhi faktor eksternal yaitu kurangnya ketelitian dari timbangan digital dalam membaca massa.
3. *Venturi scrubber* juga bekerja dengan baik dalam menurunkan temperatur gas mampu bakar dengan mampu mengurangi temperatur gas produser sampai 26°C.
4. *Wet gas cleaner* tidak memengaruhi kinerja *downdraft gasifier* dalam menghasilkan gas mampu bakar secara berkelanjutan.

5.2 Saran

Agar penelitian mengenai sistem pembersihan terhadap tar dan partikulat lainnya pada gas mampu bakar dapat memberikan hasil yang lebih optimal, hendaknya dilakukan hal-hal sebagai berikut :

1. Melakukan pengujian kembali variasi laju aliran udara primer 131.4 lpm dengan laju aliran air *venturi scrubber* 30 lpm.
2. Menggunakan timbangan yang lebih akurat sehingga ketika melakukan pengukuran dan penimbangan, hasil massa tar (mg) yang didapatkan lebih optimal.
3. Pembersihan pada saluran yang dilewati gas mampu bakar agar mendapatkan hasil yang lebih optimal.
4. Pembelian Data Akuisisi (DAQ) wajib dilakukan untuk mempermudah dalam pencatatan temperatur.
5. Pembelian termokopel yang baru untuk menunjang identifikasi temperatur pada reaktor *gasifier*.

DAFTAR PUSTAKA

- Basu, P. (2010). *Biomass Gasification and Pyrolysis: Practical Design and Theory*. Elsevier.
- Bridgewater, A. V. (2003). Thermal Processing of Biomass for Fuels and Chemical. *6th Asia-Pacific International Symposium on Combustion and Energy Utilization*.
- Energy Power*. (2002, Januari 15). Dipetik Juli 26, 2011, dari Energy Power: <http://energynewspaper.com/gasification-process-and-technology.html>
- Hasler, P. (1999). Gas cleaning for IC engine applications from fixed bed biomass gasification. *Biomass and Bioenergy* , 385-395.
- Herwi, S. P., & Susanto, H. (2010). Potensi Penerapan Teknologi Gasifikasi Tongkol Jaging Sebagai Sumber Energi Alternatif Di Pedesaan. *Seminar Nasional Energi Terbarukan 1 (SNETI)*.
- Hoque, M. M., & Bhattacharya, S. C. (2001). Fuel characteristics of gasified coconut shell in a fluidized and a spouted bed reactor. *Energy* , 101-110.
- Howson, J. H., & Casnello, K. (2002). *Risk reduction measures for the development of biomass rotary kiln gasification*. United Kingdom: Energy Technology Support Unit.
- Joseph, G. T. (1998). *Scrubber system operation review self-instructional manual*. United State of America: North Carolina State University.
- Koestoer, R. A. (1997). Dalam *Studi Batubara Indonesia, Potensi, Teknologi, dan Pemanfaatannya* (hal. 1-2). Depok: Laboratorium Perpindahan Kalor DTM FTUI.

Nair, S. A., Pemen, A., Yan, K., Van Combel, F., Van Leuken, H., & Van Heeseeti, E. (2003). Tar Removal from Biomass Derived Fuel Gas by Pulsed Corona Discharge. *Fuel Processing Technolgy*. Elivisier.

Sivakumar, S. *Design and Analysis of Downdfrat Biomass Gasifier using Computational Fluid Dynamics*. India: Anna University.Chennai-25.

Susanto, H. (2004, Agustus). *Biomass Gasification*. Dipetik Juli 21, 2011, dari <http://esptk.fti.itb.ac.id/herri/index.html>

Susanto, H. (2009). Utilization of Biomass via Gasification for Rural Electricity. *8th Asia Biomass Seminar*.




U.S., D. (2006). *2005 Assessment of Advanced Integrated Gasification Combined Cycle (IGCC) Power Plants*. Draft Report Section 8.

Wet Scrubber. (2011, Juli 15). Dipetik September 18, 2011, dari Wikipedia: http://en.wikipedia.org/wiki/Wet_scrubber




Yulistiani, F. (2009). *Kajian tekno ekonomi pabrik konversi biomassa menjadi bahan bakar Fisher-Tropsch melalui proses gasifikasi*. Bandung: Institut Teknologi Bandung.







LAMPIRAN

Lampiran 1 : Kondisi Tabung Impinger Setelah Pengujian (Sebelum *Gas Cleaner*)

Kondisi impinge sesaat setelah pengujian		
		
Primary Air (30°) 189.6 lpm	Primary Air (45°) 131.4 lpm	Primary Air (60°) 89.4 lpm

Gambar 1. Kondisi Tabung Impinger Kondisi Sebelum *Gas Cleaner*

Kondisi impinger sesaat setelah pengujian		
		
Primary Air (30°) 189.6 lpm dan Venturi Scrubber 10 lpm	Primary Air (30°) 189.6 lpm dan Venturi Scrubber 20 lpm	Primary Air (30°) 189.6 lpm dan Venturi Scrubber 30 lpm

		
Primary Air (45°) 131.4 lpm dan Venturi Scrubber 10 lpm	Primary Air (45°) 131.4 lpm dan Venturi Scrubber 20 lpm	Primary Air (45°) 131.4 lpm dan Venturi Scrubber 30 lpm
		
Primary Air (60°) 89.4 lpm dan Venturi Scrubber 10 lpm	Primary Air (60°) 89.4 lpm dan Venturi Scrubber 20 lpm	Primary Air (60°) 89.4 lpm dan Venturi Scrubber 30 lpm

Gambar 2. Kondisi Tabung Impinger Kondisi Setelah *Gas Cleaner*

Lampiran 2 : Konversi dari Buka-an Katup Udara Primer ke Liter/Menit¹

$$Q = C_d Q_{ideal} = C_d A_2 \sqrt{\frac{2(P_1 - P_2)}{\rho(1 - \beta^4)}}$$

di mana ;

A_2 = $\pi d^2 / 4$ (luas lubang pada pelat orifis)

C_d = Discharge coefficient $\rightarrow 0,6$ [ASME MFC-14M-2001]

$P_1 - P_2$ = Perbedaan tekanan akibat orifis (kg/m^2)

ρ_{mix} = massa jenis gas produser (kg/m^3)

β = d/D (rasio diameter orifis dengan diameter pipa)

Jadi :

A_2 = 0.00024 m^2

C_d = 0.6

$D_{orifice}$ = 0.0175 m

D_{pipa} = 0.035 m

ρ = massa jenis gas produser (kg/m^3)

β = 0.5

Tabel 1. Perhitungan Konversi Dari Satuan (m ke m^3/s)

katup	Δh (meter)	Δp (N/m^2)	Laju Aliran Udara (m^3/s)
closed 30°	2.70E-02	264.87	0.00316
closed 45°	1.30E-02	127.53	0.00219
closed 60°	6.00E-03	58.86	0.00149

Tabel 2. Perhitungan Konversi Dari Satuan (m^3/s ke lpm)

katup	Laju aliran udara (m^3/s)	waktu (min)	waktu (s)	jumlah udara (m^3)	jumlah udara (L)	lpm
closed 30°	0.00316	20	1200	3.79	3792.00	189.60
closed 45°	0.00219	20	1200	2.63	2628.00	131.40
closed 60°	0.00149	20	1200	1.79	1788.00	89.40

¹ Astilla Anggy. 2011. Studi Karakteristik dan Perhitungan Heat Release Rate dari Gas Produser pada Gasifikasi Tempurung Kelapa dengan Sistem Fix Bed Downdraft Gasifier. Universitas Indonesia

Lampiran 3 : Temperatur Zona Pembakaran

Tabel 3. Temperatur Zona Pembakaran

Menit	Flowrate Udara Primer (lpm)		
	189.6	131.4	89.4
50	694	587	642
52	690	595	679
54	677	600	695
56	676	623	740
58	670	649	755
60	685	681	754
62	689	669	760
64	685	676	760
66	682	684	761
68	680	692	757
70	645	701	753
72	630	721	787
74	651	735	682
76	653	766	697
78	672	781	735
80	689	800	739

Lampiran 4 : Tabel Batas Maksimal Partikel dan Tar Pada Gas Produser Untuk Aplikasi Gasifikasi

Tabel 4. Tabel batas maksimal partikel dan tar pada gas produser untuk aplikasi gasifikasi

Aplikasi	Partikel (g/m ³)	Tar (mg/m ³)
Direct Combustion	No limit	No limit
Syngas Production	0.02	0.1
Gas Turbine	0.1-120	0.05-5
IC Engine	30	50-100
Pipeline Transport	-	50-500 for compressor

Sumber: Basu, Prabir *Biomass Gasification and Pyrolysis: Practical Design and Theory*