



UNIVERSITAS INDONESIA

**IMPLEMENTASI PENGUKURAN TAR PADA *FIXED BED*
*DOWNDRAFT GASIFIER***

SKRIPSI

**JHIBRIL
0906604874**

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



UNIVERSITAS INDONESIA

**IMPLEMENTASI PENGUKURAN TAR PADA *FIXED BED*
*DOWNDRAFT GASIFIER***

SKRIPSI

Diajukan sebagai salah satu syarat untuk memperoleh gelar Sarjana Teknik

**JHIBRIL
0906604874**

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

HALAMAN PERNYATAAN ORISINALITAS

Saya menyatakan dengan sesungguhnya bahwa tugas akhir dengan judul :

IMPLEMENTASI PENGUKURAN TAR PADA *FIXED BED DOWNDRAFT GASIFIER*

yang dibuat untuk melengkapi sebagian persyaratan menjadi Sarjana Teknik pada Program Studi Teknik Mesin Departemen Teknik Mesin Fakultas Teknik Universitas Indonesia, bukan merupakan tiruan atau duplikasi dari tugas akhir yang sudah dipublikasikan dan atau pernah dipakai untuk mendapatkan gelar kesarjanaan di lingkungan Universitas Indonesia maupun di Perguruan Tinggi atau Instansi manapun, kecuali bagian yang sumber informasinya dicantumkan sebagaimana mestinya.

Nama : **Jhibril**
NPM : **0906604874**

Tanda Tangan : 
Tanggal : **24 Januari 2012**

HALAMAN PENGESAHAN

Skripsi ini diajukan oleh :
Nama : Jhibril
NPM : 0906604874
Program Studi : Teknik Mesin
Judul Skripsi : IMPLEMENTASI PENGUKURAN TAR
PADA *FIXED BED DOWNDRAFT*
GASIFIER

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

DEWAN PENGUJI

Pembimbing : Dr. Ir. Adi Surjosatyo, M.Eng.

Penguji : Dr. Ir. R. Danardono A. Sumarsono, DEA.PE.

Penguji : Prof. Dr. Ir. I Made K. Dhiputra, Dipl.Ing.

Penguji : Prof. Ir. Yulianto S. Nugroho, M.Sc., Ph.D.

Ditetapkan di : Depok

Tanggal : 24 Januari 2012

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

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

Nama : Jhibril
NPM : 0906604874
Program Studi : Teknik Mesin
Departemen : Teknik Mesin
Fakultas : Teknik
Jenis karya : Skripsi

demikian 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 :

**IMPLEMENTASI PENGUKURAN TAR PADA
FIXED BED DOWNDRAFT GASIFIER**

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


(Jhibril)

KATA PENGANTAR

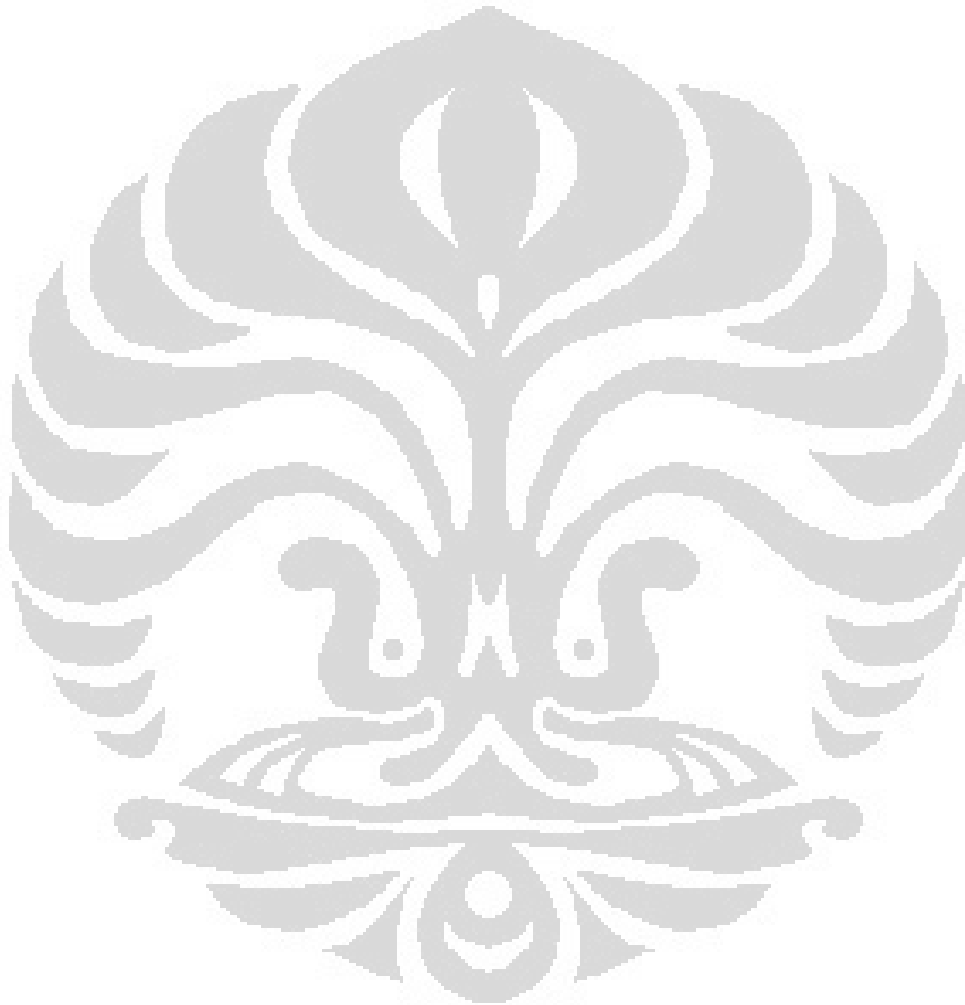
Puji syukur saya panjatkan kepada Allah SWT, karena karunia rahmat-Nya, saya dapat menyelesaikan Tugas Akhir ini. Penulisan Tugas Akhir ini dilakukan dalam rangka memenuhi salah satu syarat untuk mencapai gelar Sarjana Teknik Jurusan Teknik Mesin Fakultas Teknik Universitas Indonesia. Saya menyadari bahwa, tanpa bantuan dan bimbingan dari berbagai pihak, dari masa perkuliahan sampai pada penyusunan Tugas Akhir ini, sangatlah sulit bagi saya untuk menyelesaikan Tugas Akhir ini. Oleh karena itu, saya mengucapkan terima kasih kepada:

1. Kedua orang tua saya yang selalu mendukung dan mendoakan yang terbaik untuk putranya.
2. Dr. Ir. Adi Surjosatyo, M.Eng. selaku dosen pembimbing tugas akhir dan pembimbing akademis yang telah meluangkan waktu, tenaga, pikiran serta bantuan lain baik dorongan moril maupun materil dan skripsi ini merupakan bagian dari riset unggulan Universitas Indonesia beliau.
3. Pak Fajri Vidian yang selalu memberikan ide dan bimbingan dalam menyelesaikan skripsi dan skripsi ini merupakan bagian dari riset disertasi S3 beliau.
4. Seluruh dosen dan staff Departemen Teknik Mesin Universitas Indonesia yang telah memberikan ilmu dan pengetahuan yang bermanfaat kepada saya selama kuliah di Teknik Mesin Universitas Indonesia.
5. Rully Oki dan Lestyant Hutabarat dari tim tar sebagai rekan kerja dan teman yang kompak dalam menyelesaikan skripsi ini.
6. Harry Daniel, Reda Pahlevi dan M Adiwirabrata dari tim downdraft tanpa bantuan mereka pengujian tar di downdraft tidak akan tercapai.
7. Teman-teman Mesin Ekstensi angkatan 2009 yang selalu memberikan semangat serta masukan kepada penulis dan juga sedang berjuang dengan tugas akhirnya.

Akhir kata, saya berharap Allah S.W.T. membalas segala kebaikan semua pihak yang telah membantu. Semoga skripsi ini membawa manfaat bagi pengembangan ilmu pengetahuan.

Depok, 10 Januari 2011

Penulis



ABSTRAK

Nama : Jhibril
Program Studi : Teknik Mesin
Judul : IMPLEMENTASI PENGUKURAN TAR PADA *FIXED BED DOWNDRAFT GASIFIER*

Gas hasil gasifikasi mengandung partikel-partikel dan senyawa organik dalam hal ini disebut tar. Gas yang mengandung tar berlebih pada motor pembakaran dalam dapat mengakibatkan kerusakan mesin. Pada gasifier tipe downdraft yang memiliki kandungan tar rata-rata $<1 \text{ g/m}^3$ akan sulit jika aplikasikan di motor pembakaran dalam dimana kandungan tar dalam gas produser harus $50\text{-}100 \text{ mg/m}^3$. Pengukuran tar adalah langkah awal dalam meminimalisasi kerusakan pada mesin. Metode pengukuran tar menggunakan metode gas sampling dengan tabung impinger dan solvent sebagai penangkap tar. Pengukuran tar ini juga menjelaskan alat yang digunakan, cara pengambilan gas sampling, proses penimbangan hingga diperoleh kandungan tar. Gas sampling dilakukan pada sebelum dan sesudah gas cleaning dengan yang digunakan selama pengujian adalah *flowrate primary air* 189.6 lpm, 131.4 lpm dan 89.6 lpm dan *flowrate air* pada *venturi scrubber* 10 lpm, 20 lpm, 30 lpm. Pengujian ini juga menganalisa karakteristik tar yang terbentuk berdasarkan temperatur pada zona pirolisis.

Kata Kunci : Downdraft, Tar, Gas Sampling

ABSTRACT

Name : Jhibril
Program : Mechanical Engineering
Topic : *TAR MEASUREMENT IMPLEMENTATION IN FIXED BED DOWNDRAFT GASIFIER*

Gas that produces from gasification contains particles and organic compound in this case called tar. Gases that contain high level tar in internal combustion engine would damage the engine. Downdraft type of gasifier who had average mass of tar $<1 \text{ g/m}^3$ will be difficult to apply it in internal combustion engine that the tar contain in gas producer must be $50\text{-}100 \text{ g/m}^3$. Tar measurement is the first step to minimize damage in engine. Tar measurement method using gas sampling with impinger bottles and solvent as tar absorber. This measurement also explain, tool that use on experiment, how to collect gas sampling and how to scale it until gaining mass of tar. Gas sampling collected before and after gas cleaning system with variation on primary air flowrate 189.6 lpm, 131.4 lpm and 89.6 lpm and also water flowrate on venturi scrubber 10 lpm, 20 lpm and 30 lpm. The experiment also analyze tar forming characteristic based on temperature on pyrolysis zone.

Keyword : *Downdraft, Tar, Gas Sampling*

DAFTAR ISI

PERNYATAAN ORISINALITAS.....	ii
HALAMAN PENGESAHAN.....	iii
HALAMAN PERSETUJUAN.....	iv
KATA PENGANTAR.....	vi
ABSTRAK.....	vii
DAFTAR ISI.....	ix
DAFTAR GAMBAR.....	xii
DAFTAR GRAFIK.....	xiv
DAFTAR TABEL.....	xv
BAB 1 PENDAHULUAN	
1.1 Latar Belakang.....	1
1.2 Perumusan Masalah.....	2
1.3 Tujuan Penulisan.....	2
1.4 Pembatasan Masalah.....	2
1.5 Metode Penulisan.....	3
1.6 Sistematika Penulisan.....	4
BAB 2 DASAR TEORI	
2.1 Gasifikasi.....	5
2.2 Proses Pembentukan Tar.....	7
2.2.1 Pirolisis.....	7
2.2.2 Pembentukan Tar Pada <i>Downdraft Gasifier</i>	8
2.3 Pengukuran Tar.....	10

2.3.1 Isokinetik Sampling.....	11
2.3.2 Modul Penangkap Tar	13
2.3.2.1 Tabung-Tabung <i>Impinger</i>	13
2.3.2.2 <i>Box</i> Kondensasi	13
2.2.3.1 <i>Solvent</i>	14
2.3.3 Waktu Pengambilan <i>Gas Sampling</i>	15
2.3.4 Prinsip kerja Pengambilan <i>Gas Sampling</i>	15

BAB 3 METODE PENELITIAN

3.1 Garis Besar Pengujian.....	16
3.1.1 Parameter-parameter Yang Ditentukan	17
3.1.2 Komponen-komponen Alat Pengujian	17
3.2 Deskripsi Alat.....	17
3.2.1 Pipa <i>Gas Sampling</i>	18
3.2.2 <i>Rotameter</i>	19
3.2.3 <i>Box</i> Kondensasi	19
3.2.4 Selang Silikon	20
3.2.5 Pompa Vakum.....	20
3.2.6 Tabung <i>Impinger</i>	21
3.2.7 <i>Solvent</i> (<i>Aseton</i>)	21
3.2.8 Termometer Digital	22
3.2.9 Timbangan Digital.....	22
3.2.10 Kompor Induksi.....	23
3.2.11 <i>Ball Valve</i>	24
3.3 Metodologi Pengujian.....	24
3.3.1 Lokasi Pengujian	24
3.3.2 Persiapan Sebelum Pengujian	25
3.3.3 Pemasangan Alat & Pengujian.....	25
3.3.4 Proses Penguapan <i>Solvent</i>	27
3.3.4 Proses Penimbangan Tar	28
3.3.4 Posisi Pengujian	30

BAB 4 ANALISA DAN PENGOLAHAN DATA

4.1 Pengolahan Data	31
4.2 Kondisi Tabung <i>Impinger</i> Setelah Pengujian	31
4.2.1 Kondisi Tabung <i>Impinger</i> Setelah Pengujian Tahap 1	31
4.2.2 Kondisi Tabung <i>Impinger</i> Setelah Pengujian Tahap 2	32
4.3 Laju Penguapan	33
4.3.1 Laju Penguapan Aseton Pada Temperatur 66°C	33
4.4. Penimbangan Tabung <i>Impinger</i>	34
4.3.1 Penimbangan Tabung <i>Impinger</i> Tahap 1	34
4.3.1 Penimbangan Tabung <i>Impinger</i> Tahap 2	36
4.5. Kandungan tar Sebelum <i>Gas Cleaning</i>	40
4.6. Kandungan tar Setelah <i>Gas Cleaning</i>	41
4.7. Distribusi Temperatur Pada Zona Pirolisis	42

BAB 5 KESIMPULAN

5.1 Kesimpulan	46
5.2 Saran	46

DAFTAR PUSTAKA

LAMPIRAN

DAFTAR GAMBAR

Gambar 2.1 Skema IC Engine berbahan bakar biomassa	5
Gambar 2.2 Sistem <i>Downdraft</i> dan pembagian daerah pembakaran.....	6
Gambar 2.3 Proses dalam Gasifikasi.....	7
Gambar 2.4 Skema Reaksi Gasifikasi dan Distribusi Temperatur Pada <i>Downdraft</i>	8
Gambar 2.5 Konsentrasi Tar Terhadap Kenaikan Temperatur	9
Gambar 2.6 Jenis Tar Terhadap Perubahan Temperatur	10
Gambar 2.7 Skematika Alat Pengukur Tar	10
Gambar 2.8 Ilustrasi Perbandingan antara Isokinetic Sampling dan Non-isokinetik.....	11
Gambar 2.9 Posisi <i>Nozzle</i> terhadap Pipa Utama	12
Gambar 2.10 Skematika <i>Nozzle</i> pada Pipa Utama.....	13
Gambar 2.11 Ilustrasi <i>Box</i> Kondensasi.....	13
Gambar 3.1 Diagram Alir Penelitian	16
Gambar 3.2 Sampling Tar Pipe Set.....	18
Gambar 3.3 Sampling Tar Pipe	18
Gambar 3.4 Rotameter	19
Gambar 3.5 <i>Box</i> Kondensasi	19
Gambar 3.6 Selang Silikon	20
Gambar 3.7 Pompa Vakum.....	20
Gambar 3.8 Tabung Impinger	21

Gambar 3.9 <i>Solvent</i>	21
Gambar 3.10 Termometer Digital	22
Gambar 3.11 Timbangan Digital	23
Gambar 3.12 Kompor Induksi.....	23
Gambar 3.13 <i>Ball Valve</i>	24
Gambar 3.14 Laboratorium Termodinamika Proyek Gasifikasi	24
Gambar 3.15 <i>Fixed Bed Downdraft Gasifier</i>	25
Gambar 3.16 Memasukkan <i>Solvent</i> ke Tabung Impinger.....	25
Gambar 3.17 Temperatur <i>Box</i> kondensasi 2	26
Gambar 3.18 Pemasangan Selang Silikon.....	26
Gambar 3.19 Kondisi saat semua alat-alat terpasang	27
Gambar 3.20 <i>Flowrate</i> pada rotameter	27
Gambar 3.21 Proses penguapan solvent	28
Gambar 3.22 Proses penimbangan.....	29
Gambar 3.23 Posisi Pengujian di <i>Downdraft</i>	30
Gambar 4.1 Konstruksi Reaktor <i>Downdraft Gasifier</i>	44

DAFTAR GRAFIK

Grafik 4.1 Grafik laju penguapan aseton pada temperatur air 66°C.....	5
Grafik 4.2 Grafik Hubungan Kandungan tar dengan <i>Primary Air Flowrate</i>	40
Grafik 4.3 Grafik Temperatur Zona Pirolisis pada <i>Flowrate</i> 189.6 lpm.....	42
Grafik 4.4 Grafik Temperatur Zona Pirolisis pada <i>Flowrate</i> 131.4 lpm.....	42
Grafik 4.5 Grafik Temperatur Zona Pirolisis pada <i>Flowrate</i> 89.4 lpm.....	43
Grafik 4.6 Grafik Hubungan <i>Flowrate Primary Air</i> , Kandungan tar dan Temperatur.....	43
Grafik 4.8 Grafik hasil penelitian Phuphuakra, dkk.....	44

DAFTAR TABEL

Tabel.1.1 Batas Maksimal Partikel dan Tar untuk Gas Hasil Gasifikasi Biomassa.	2
Tabel.2.1 Konsentrasi Tar Pada Beberapa Tipe <i>Gasifier</i>	9
Tabel.2.2 Jenis-Jenis <i>Cooling Bath</i> Yang Biasa Digunakan.	14
Tabel.2.3 Jenis-Jenis <i>Solvent</i>	14
Tabel.4.1 Visualisasi Kondisi Tabung <i>Impinger</i> Sesaat Setelah Pengujian Tahap 1.	31
Tabel.4.2 Visualisasi Kondisi Tabung <i>Impinger</i> Sesaat Setelah Pengujian Tahap 2.	32
Tabel.4.3 Perubahan Massa Aseton Terhadap Waktu.	33
Tabel.4.4 Visualisasi Penimbangan Tabung <i>Impinger</i> Tahap 1.	34
Tabel.4.5 Visualisasi Penimbangan Tabung <i>Impinger</i> Tahap 2.	36
Tabel.4.6 Kandungan tar Sebelum <i>Gas Cleaning</i>	40
Tabel.4.7 Tabel Kandungan tar Pada <i>Primary Air Flowrate</i> 189.6 lpm.	41
Tabel.4.8 Tabel Kandungan tar Pada <i>Primary Air Flowrate</i> 131.4 lpm.	41
Tabel.4.9 Tabel Kandungan tar Pada <i>Primary Air Flowrate</i> 89.4 lpm.	41
Tabel.4.10 Tabel Hubungan <i>Flowrate Primary Air</i> , Kandungan tar dan Temperatur.	44
Tabel.4.11 Perbandingan Laju Udara Primer dengan Temperatur Gas Produser.	45

BAB 1

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Teknologi gasifikasi telah lama dikenal di berbagai belahan dunia. Ada banyak aplikasi yang digunakan untuk memanfaatkan gas hasil gasifikasi, seperti contohnya: *Direct-combustion systems*, *Internal Combustion Engine*, *Syngas productions*, dll. Gas yang dihasilkan dari proses gasifikasi tidak hanya mengandung zat yang mampu bakar seperti (H_2 , CO, CH_4 , dll), akan tetapi terdapat hasil sampingan yaitu berupa partikel-partikel dan senyawa pencemar organik yang dalam hal ini disebut sebagai tar.

Senyawa pencemar organik atau disebut dengan tar, merupakan hasil sampingan yang akan selalu timbul dalam proses gasifikasi. Tar memiliki ciri-ciri: cairan hitam pekat, memiliki viskositas yang tinggi saat telah terkondensasi pada temperatur keluar gasifier yang rendah. Gas hasil gasifikasi apabila diaplikasikan pada motor pembakaran dalam yang menggunakan sistem piston/torak, tar dapat menyebabkan kematecan pada kinerja piston dan mengganggu kinerja mesin secara keseluruhan.

Pada beberapa aplikasi yang menggunakan gas hasil gasifikasi sebagai sumber energi, terdapat standar untuk jumlah tar yang diijinkan sebelum masuk ke mesin seperti pada tabel 1.1 dibawah. Untuk mengetahui jumlah tar yang dihasilkan, maka dibutuhkan alat ukur atau pengukuran pada gas yang dihasilkan dari proses gasifikasi. Pengukuran tar yang dilakukan pada laboratorium gasifikasi di departemen Teknik Mesin Universitas Indonesia adalah untuk mengukur jumlah tar yang dihasilkan pada alat *Fixed Bed Downdraft Gasifier*. Pengukuran ini juga dimaksudkan untuk mengetahui berapa banyak tar yang dapat diminimalisasi oleh *cyclone* dan *venturi scrubber* pada konfigurasi-konfigurasi tertentu.

Tabel 1.1 Batas Maksimal Partikel dan Tar untuk Gas Hasil Gasifikasi Biomassa^[3]

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

1.2 Perumusan Masalah

Permasalahan yang ada selama ini pada alat *Fixed Bed Downdraft Gasifier* adalah tidak pernah dilakukannya pengukuran tar dengan berpegang pada suatu standar tertentu, sehingga tidak diketahui secara pasti berapa jumlah tar yang dihasilkan dalam satuan tertentu.

1.3 Tujuan Penulisan

Tujuan dari penulisan tugas akhir ini adalah:

1. Melakukan pengukuran tar pada *Fixed Bed Downdraft Gasifier* dengan berpegangan pada suatu standar.
2. Mengetahui jumlah tar yang dihasilkan pada sebelum dan sesudah *cyclone* dan *venturi scrubber (gas cleaning)*.

1.4 Pembatasan Masalah

Pembatasan masalah yang akan dibahas pada pengukuran tar dalam tugas akhir ini adalah pengukuran tar dilakukan pada *Fixed Bed Downdraft Gasifier* dengan variasi *flowrate* pada *primary air blower* 189.6 lpm, 131.4 lpm, 89.4 lpm dan variasi *flowrate* pada *venturi scrubber* 10 lpm, 20 lpm, dan 30 lpm.

1.5 Metode Penulisan

Dalam penulisan tugas akhir ini, penulis menggunakan beberapa metode antara lain :

1. Persiapan eksperimental
 - Identifikasi masalah yang akan dibahas
 - Studi literatur
2. Pengujian dan pengambilan data
 - Pengukuran *flowrate* pompa vakum dengan menggunakan *rotameter*.
 - Penguapan pelarut (*solvent*) hasil sampling dengan menggunakan kompor induksi dengan temperatur tertentu.
 - Pengukuran massa tar dengan menggunakan timbangan digital dengan ketelitian tertentu.
3. Hasil dan Analisa
 - Grafik variasi *flowrate* pada *primary air blower* dengan kandungan tar.
 - Grafik variasi *flowrate* pada *primary air blower* dengan *flowrate* pada *venturi scrubber* dan kandungan tar.
 - Grafik penguapan larutan sampling.
 - Analisa grafik variasi *flowrate* pada *primary air blower* dengan kandungan tar.
 - Analisa grafik variasi *flowrate* pada *primary air blower* dengan *flowrate* pada *venturi scrubber* dan kandungan tar.
 - Analisa grafik penguapan larutan sampling.
 - Analisa perbandingan kandungan tar antara sebelum dan sesudah *gas cleaning*.
4. Kesimpulan

1.6 Sistematika Penulisan

Penulisan ini dibagi menjadi lima bab dengan sistematika sebagai berikut :

BAB 1 PENDAHULUAN

Menjelaskan mengenai latar belakang, pokok permasalahan, tujuan, pembatasan masalah, metode penulisan dan sistematika penulisan.

BAB 2 DASAR TEORI

Menjelaskan secara umum tentang tar dan cara pengukuran tar menurut standar tertentu.

BAB 3 METODE PENELITIAN

Menjelaskan mengenai rangkain alat, skema alat, prosedur pengujian, hasil pengujian, dan bagan alur pengujian.

BAB 4 PENGOLAHAN DATA DAN ANALISA

Mengolah dan menganalisa data yang telah diperoleh.

BAB 5 KESIMPULAN

Membuat kesimpulan dari hasil analisa pengukuran tar pada *Bed Downdraft Gasifier*

DAFTAR PUSTAKA

LAMPIRAN

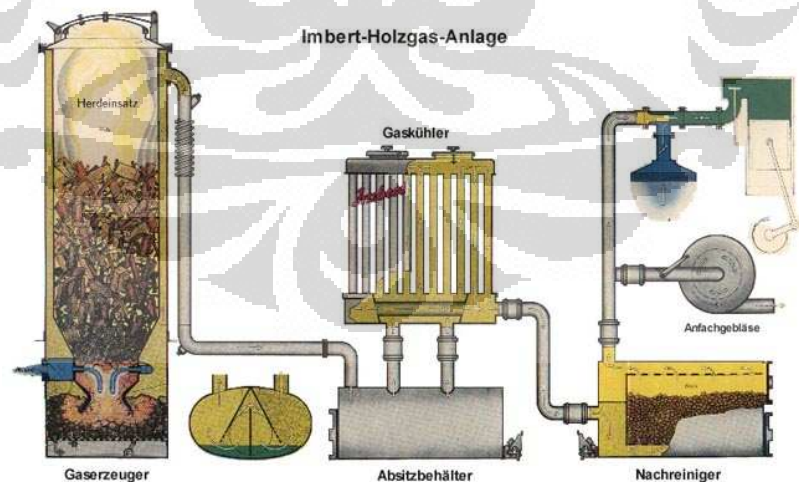
BAB 2

DASAR TEORI

Bab ini menjelaskan tentang teori dari pembahasan yang diangkat penulis. Beberapa dasar teori digunakan sebagai dasar pengujian dan analisa, sedangkan beberapa dasar teori yang lain hanya dijelaskan karena bahasan tersebut termasuk dari hal-hal yang terjadi pada pengujian yang penulis lakukan, selengkapnya dibahas dibawah ini.

2.1 Gasifikasi

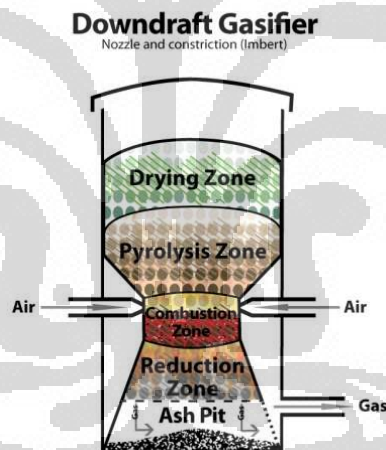
Gasifikasi sudah dieksplorasi sejak abad ke-19, pada awalnya batu bara yang telah digasifikasikan digunakan untuk menyediakan penerangan, pemanas dan bahan bakar untuk memasak. Ketika motor pembakaran dalam mulai dikenal, gasifikasi batu bara pernah menjadi bahan bakar standar untuk industri. Perkembangan masif dari bahan bakar jenis minyak bumi pada awal abad ke-20 membuat penggunaan gasifikasi mengalami penurunan. Akan tetapi seiring dengan makin langka dan makin mahalnya bahan bakar jenis minyak bumi, teknologi gasifikasi kembali banyak dikembangkan untuk penggunaan yang lebih baik dan efisien.



Gambar 2.1 Skema IC Engine Berbahan Bakar Biomassa
(Sumber: <http://gekgasifier.com/gasification-basics/>)

Gasifikasi secara sederhana disebut sebagai pembakaran cekik atau pembakaran tidak sempurna, yaitu membakar bahan bakar padat seperti kayu atau batu bara dengan menggunakan sedikit udara sehingga tidak terjadi pembakaran sempurna. Gas hasil dari pembakaran tidak sempurna tersebut masih memiliki potensi untuk dibakar. Gas yang hasil gasifikasi tersebut memiliki nama penyebutan yang beranekaragam, antara lain: *wood gas*, *syngas*, *gas producer*, *town gas*, *generator gas* dll.

Sistem gasifikasi yang digunakan pada Laboratorium Termodinamika Proyek Gasifikasi adalah sistem downdraft dimana gas hasil pembakaran dilewatkan pada bagian oksidasi dari pembakaran dengan cara ditarik mengalir ke bawah sehingga gas yang dihasilkan akan lebih bersih karena tar dan minyak akan terbakar sewaktu melewati bagian tadi. Dibawah ini adalah gambar jenis sistem downdraft dan pembagian daerah pembakaran.



Gambar 2.2 Sistem Downdraft dan pembagian daerah pembakaran
(Sumber: <http://gekgasifier.com/gasification-basics/gasifier-types/>)

Pembagian daerah pembakaran yang terjadi pada proses gasifikasi^[1] :

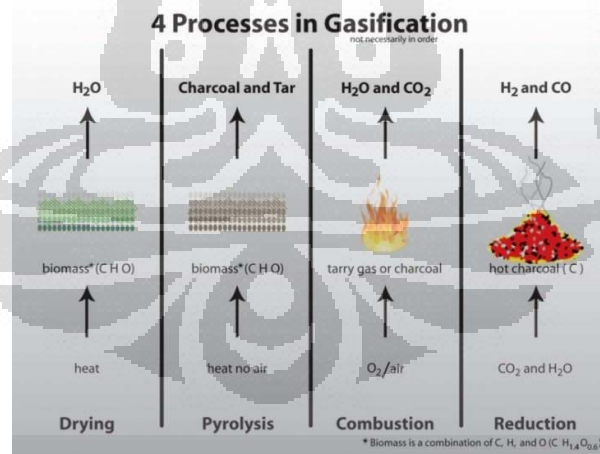
- Zona Pengerinan, Bahan bakar pada daerah ini akan melepaskan kandungan air dan menjadi kering karena pengaruh panas dari pembakaran yang berlangsung di bagian bawah daerah ini. Pada zona pengerinan ini terjadi perubahan fasa air menjadi uap air yang akan mengalami proses kimia selanjutnya

- Zona Pirolisis Terdiri atas distilasi dan dekomposisi, dimana pada bagian ini bahan bakar akan mengalami pemanasan yang lebih tinggi sehingga bahan bakar mengalami dekomposisi menjadi arang, tar, minyak, gas-gas seperti CO, CO₂, CH₄, H₂O serta produk-produk ikutan lainnya.
- Zona Pembakaran, Bahan bakar yang telah mengalami pirolisa akan direaksikan dengan oksigen yang diambil dari udara luar hingga terjadi pembakaran lanjut dengan produk utama berupa karbon.
- Zona Reduksi Proses pembakaran lanjutan dari hasil oksidasi, dimana reaksi pokok yang terjadi di sini adalah reaksi pertukaran air dan metan.

2.2 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.

2.2.1 Pirolisis



Gambar 2.3 4 Proses dalam Gasifikasi

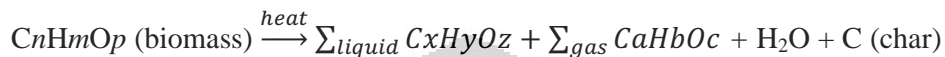
(Sumber: <http://gekgasifier.com/gasification-basics/how-it-works/>)

Seperti yang telah disebutkan sebelumnya, proses pirolisis merupakan proses dekomposisi atau pemecahan molekul-molekul besar dan kompleks

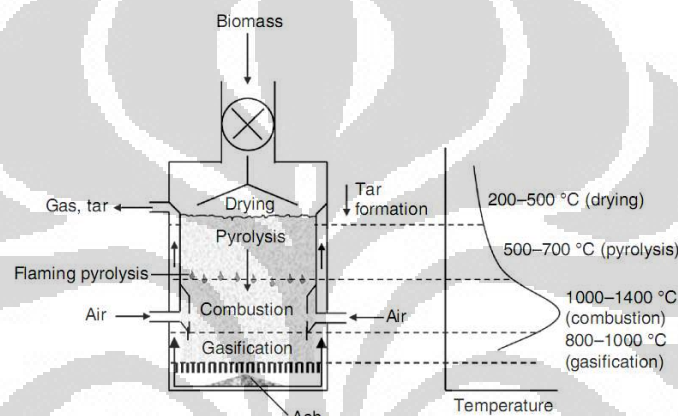
menjadi molekul-molekul yang kecil. Dalam hal ini, molekul-molekul itu diklasifikasikan menjadi tiga bagian:

- Solid (sebagian besar berupa arang dan karbon)
- Cairan (tar, hidrokarbon dan air)
- Gas (CO, CO₂, CH₄, dll)

Reaksi kimia pada proses pirolisis pada umumnya adalah sebagai berikut^[1]:



2.2.2 Pembentukan Tar Pada Downdraft Gasifier



Gambar 2.4 Skema Reaksi Gasifikasi dan Distribusi Temperatur Pada Downdraft

(Sumber: Basu, Prabir *Biomass Gasification and Pyrolysis: Practical Design and Theory*. Elsevier, 2010)

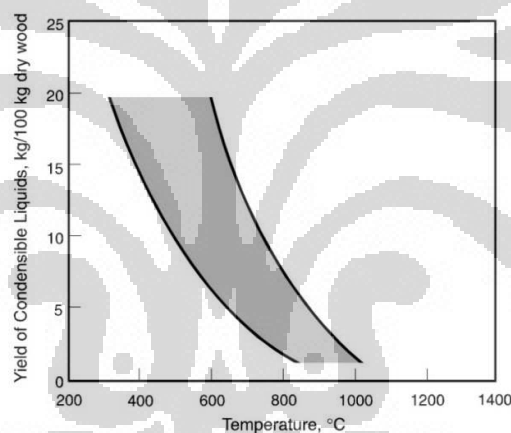
Gambar diatas menunjukkan produksi tar pada downdraft gasifier, baik gas maupun bahan bakar (biomassa) bergerak ke arah bawah. Temperatur tertinggi ada pada zona pembakaran, tar diproduksi setelah zona pengeringan pada temperatur rendah (200–500 °C), oksigen dalam udara bersama dengan tar bergerak ke arah bawah menuju ke zona yang lebih panas. Oleh karena ketersediaan oksigen dan temperatur yang tinggi pada zona pembakaran, tar terbakar dalam *flame* hingga meningkatkan temperatur *gas producer* dari 1000°C hingga 1400°C. *Flame* terjadi pada celah-celah pada bahan bakar dimana tetap bertahan pada temperatur 500°C hingga 700°C. Fenomena ini disebut dengan *flaming pyrolysis*. Oleh karena tar yang diproduksi oleh pirolisis kontak dengan oksigen ketika melalui zona dengan temperatur tertinggi, tar mempunyai kesempatan besar untuk berubah menjadi gas tak terkondensasi, itulah alasan mengapa downdraft gasifier memiliki produksi tar yang terendah (<1 g/Nm³)^[3].

Tabel 2.1 Konsentrasi Tar Pada Beberapa Tipe Gasifier

(Sumber: Basu, Prabir *Biomass Gasification and Pyrolysis: Practical Design and Theory*. Elsevier, 2010)

Tipe Gasifier	Konsentrasi tar rata-rata dalam Gas Producer (g/Nm^3)	Tar dalam % massa bahan bakar kering
Downdraft	< 1.0	< 2.0
Fluidized Bed	10	1-5
Updraft	50	10-20

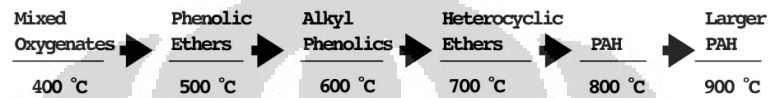
Menurut Milne pada tabel 2.1, konsentrasi tar pada tipe-tipe gasifier dapat dihitung berdasarkan % massa bahan bakar kering yang dimasukkan kedalam gasifier. Downdraft gasifier memiliki konsentrasi rata-rata tar dalam *gas producer* yang terendah dibandingkan dengan tipe gasifier yang lain yaitu dibawah $1 \text{ g}/\text{Nm}^3$. Sedangkan untuk konsentrasi tar tertinggi ada pada gasifier tipe updraft yaitu $50 \text{ g}/\text{Nm}^3$.

**Gambar 2.5 Konsentrasi Tar Terhadap Kenaikan Temperatur**

(Sumber: T.A. Milne and R.J Evans *Biomass Gasifier "Tars": Their Nature, Formation and Conversion*. National Renewable Energy Laboratory 1998.)

Tar tidak akan menjadi masalah jika tidak berkondensasi. Ketika proses gasifikasi masuk tahap pirolisis dengan temperatur antara $500 - 700^\circ\text{C}$, berdasar analisa, berat tar yang terbentuk berkisar antara $1 - 2\%$ dari berat bahan bakar kering. Saat temperatur 500°C , tar yang terbentuk utamanya adalah jenis hidrokarbon aromatic dan membentuk jenis-jenis lainnya seiring dengan kenaikan temperatur. Hingga pada temperatur 900°C , banyaknya jenis dan total jumlah tar berkurang lebih lanjut^[3] seperti yang ditunjukkan pada gambar 2.5 dan gambar 2.6. Berikut pengelompokan tar berdasarkan temperatur dan jenis-jenis tar yang dikandung dalam kelompok tersebut^[1]:

- **Primary Tars (200-500°C)**
phenols, alcohols, ketones, aldehydes, carbon acids, monoaromatics
- **Secondary Tars (500-800 °C)**
alkylated mono and diaromatics, pyridine, furans, thiophene, dioxin
- **Tertiary Tars >800C**
benzene, naphthalene, phenanthrene, pyrene, benzopyrene, polynuclear aromatic hydrocarbons (PAHs)

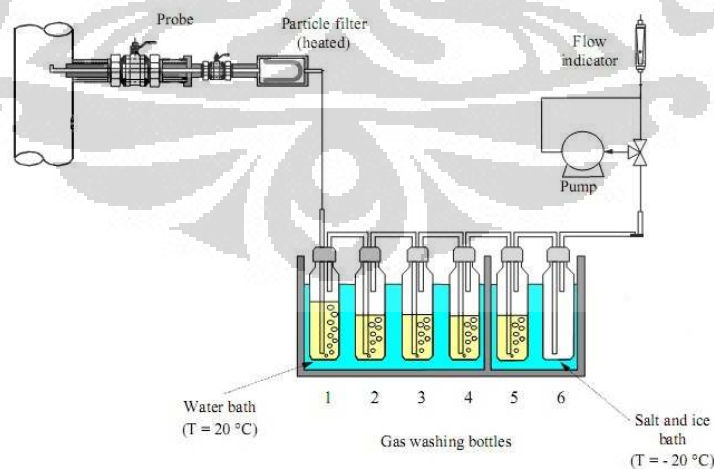


Gambar 2.6 Jenis Tar Terhadap Perubahan Temperatur

(Sumber: T.A. Milne and R.J Evans *Biomass Gasifier "Tars": Their Nature, Formation and Conversion*. National Renewable Energy Laboratory 1998.)

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. Untuk itulah diperlukan suatu instrumen untuk mengukur kadar tar pada gas produser.

2.3 Prinsip Kerja Pengambilan *Gas Sampling*



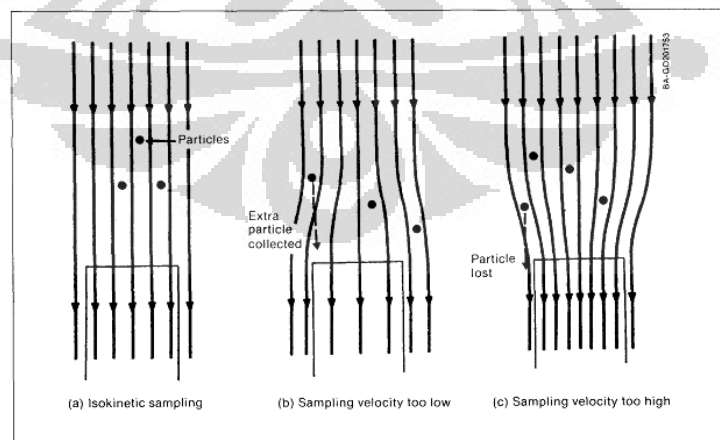
Gambar 2.7 Skematika Alat Pengukur Tar

(Sumber: J.P.A. Neeft, H.A.M. Knoef, U. etc *Guideline for Sampling and Analysis of Tar and Particles in Biomass Producer Gases* Version 3.3)

Pengukuran tar dimaksudkan untuk mengetahui massa tar per satuan volume gas dan jenis tar yang dihasilkan oleh suatu gasifier. Banyak metode untuk mengetahui kadar atau konsentrasi tar pada gas producer, seperti contohnya melakukan sampling terhadap gas dengan menggunakan tabung-tabung impinger, analisa spektrografi dengan menggunakan photo-ionization detector, ataupun dengan metode-metode lainnya. Banyak metode untuk mengukur konsentrasi tar namun demikian, kami memutuskan untuk menggunakan metode *gas sampling* yang telah terstandarisasi yaitu berpegang pada *Guideline for Sampling and Analysis of Tar and Particles in Biomass Producer Gases* yang telah mendapat CEN (*Comité Européen de Normalisation*) standar dan pada prinsipnya mempunyai range ukur yang besar yaitu 1 mg/m^3 - 300 g/m^3 satuan volume gas producer. Pada metode ini ada beberapa hal penting dalam proses pengukuran tar, yaitu isokinetik *sampling*, *tar collector module*, *volume sampling module*.

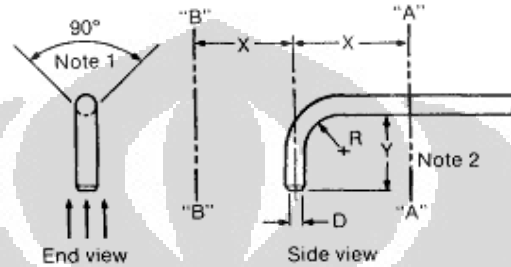
2.3.1 Isokinetik Sampling

Prinsip kerja pengambilan sampel gas pada pengukuran tar adalah dengan Isokinetik *sampling*. Isokinetik *sampling* adalah pengambilan sample gas dimana kecepatan gas saat diluar nozzle sama dengan kecepatan saat masuk kedalam nozzle. Isokinetik *sampling* digunakan apabila polutan yang ada dalam gas tidak tercampur secara homogen dalam gas. Non-isokinetik *sampling* dapat digunakan pada temperatur gas producer diatas 350°C dimana tar secara keseluruhan masih dalam bentuk gas.



Gambar 2.8 Ilustrasi Perbandingan antara Isokinetic Sampling dan Non-isokinetic
(Sumber: *Handbook of Biomass Downdraft Gasifier Engine System*. US Department of Energy. 1988)

Agar diperoleh isokinetik sampling yang ideal, posisi pemasangan nozzle tidak boleh dekat dengan tekukan atau dekat dengan katup-katup, pemasangan nozzle harus ditengah pipa utama, seperti pada gambar 2.8 diameter minimal pipa utama adalah 2X dimana X adalah 4 kali diameter nozzle sedangkan jarak bibir nozzle terhadap bibir pipa utama adalah adalah 5 kali diameter dalam pipa utama tersebut.



Gambar 2.9 Posisi Nozzle terhadap Pipa Utama

(Sumber: *Handbook of Biomass Downdraft Gasifier Engine System*. US Department of Energy. 1988)

Untuk mendapatkan diameter nozzle yang sesuai dengan isokinetik sampling, digunakan rumus berikut^[8]:

$$Dn^2 = \frac{V \sqrt{\frac{Ms(T+273)}{Ps}}}{(5.9195 \times 10^{-4}) \times Cp \times \Phi (1 - Bwo) \times \sqrt{\Delta P}}$$

Dimana:

Dn = Diameter dalam nozzle (mm)

V = Volume gas yang diinginkan (m^3)

Ms = Mol berat gas producer (g/gmol)

T = Temperatur pada pipa utama ($^{\circ}C$)

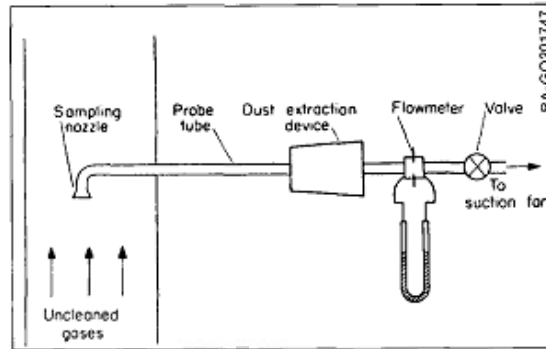
Ps = Tekanan pada pipa utama (mmHg)

Cp = Konstanta pitot tipe S (0.84)

Φ = Waktu pengambilan sample (s)

Bwo = perbandingan uap air dalam volume gas

$\sqrt{\Delta P}$ = akar pangkat dari tekanan dinamik



Gambar 2.10 Skematika Nozzle pada Pipa Utama

(Sumber: *Handbook of Biomass Downdraft Gasifier Engine System*. US Department of Energy. 1988)

Untuk mendapatkan diameter nozzle yang isokinetik, diperlukan serangkaian percobaan-percobaan berupa *trial and error*. Namun menurut *Guideline for Sampling and Analysis of Tar and Particles in Biomass Producer Gases* dengan diameter 5 mm dan maksimal flowrate sampling gas hingga 10 lpm maka dapat diperoleh isokinetik sampling dengan kecepatan gas maksimal hingga 8.5 m/s.

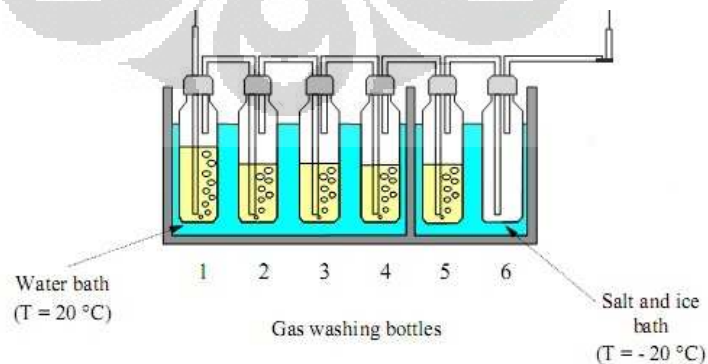
2.3.2 Modul Penangkap Tar

Modul penangkap tar atau *module tar collector* terdiri dari tabung-tabung impinger, box kondensasi dan solvent dan akan dijelaskan satu persatu dasar pemilihan atau dasar teori pemilihan jenis dari alat-alat tersebut.

2.3.2.1.1 Tabung-tabung impinger

Tabung-tabung impinger yang digunakan adalah 6 buah tabung impinger standar dengan kapasitas 100 ml atau 250 ml dan harus mampu mengalirkan gas antara 0.1-0.6 m³/h.

2.3.2.1.2 Box Kodensasi



Gambar 2.11 Ilustrasi Box Kondensasi

Box kondensasi digunakan untuk mengkondensasikan gas sampling didalam tabung-tabung impinger. Pada box pertama diisi dengan air dan dijaga temperturnya pada 20°C. Pada box kedua diisi dengan material yang mampu membuat temperatur hingga -20°C, untuk hal ini ada beberapa pilihan diantaranya adalah:

Tabel 2.2 Jenis-jenis cooling bath yang biasa digunakan^[6]

Mixture	T (°C)
CaCl ₂ .6 H ₂ O/ice 1:2.5	-10
NaCl/ice 1:3	-20
carbon tetrachloride/CO ₂	-23
acetonitrile/CO ₂	-42
CaCl ₂ .6 H ₂ O/ice 1:0.8	-40
Acetone/CO ₂	-78
Methanol/N ₂	-98
Liquid N ₂	-196

Campuran es batu dan garam dipilih karena alasan harganya lebih murah dan cara memperolehnya yang mudah.

2.3.2.3.1 Solvent

Solvent atau pelarut digunakan untuk mengendapkan (menangkap) tar yang ada didalam *gas producer*. Dalam *Guideline for Sampling and Analysis of Tar and Particles in Biomass Producer Gases* direkomendasikan beberapa jenis solvent yaitu: isopropanol, aseton, iso-oktan dan dichlorometan.

Tabel 2.3 Jenis-Jenis Solvent

Jenis Solvent	Kelebihan	Kekurangan
Isopropanol (CH ₃) ₂ CHOH	Aman digunakan, titik didih menengah (82°C)	Digunakan untuk mendapatkan tar dalam jumlah banyak.
Aseton CH ₃ COCH ₃	Titik didih yang menengah (56°C), aman digunakan	Mudah terbakar
Iso-oktan (CH ₃) ₃ CCH ₂ CH (CH ₃) ₂	Tidak dapat tercampur dengan air, oleh karena itu	Memiliki titik didih tertinggi (99.3°C) dibandingkan yang lainnya
Dichlorometan CH ₂ Cl ₂	Titik didih yang rendah (43°C), sehingga memudahkan dalam proses penguapan.	Bersifat karsinogen atau penyebab kanker

Berdasarkan tabel diatas, aseton dipilih dengan alasan keamanan dan titik didih yang cukup rendah sebagai solvent atau pelarut yang digunakan untuk pengujian tar di downdraft.

2.3.3 Waktu Pengambilan *Gas Sampling*

Waktu pengambilan gas sampling adalah durasi yang dibutuhkan untuk mengambil gas. Untuk mengetahui durasi waktu yang dibutuhkan, berikut perhitungannya^[9]:

$$t = \frac{Vn}{C_{exp} \times Qa}$$

Keterangan:

t = waktu (menit)

m = massa partikulat (dari percobaan)

C_{exp} = konsentrasi debu (dari percobaan/asumsi)

Qa = flowrate aktual pada nozzle (lpm)

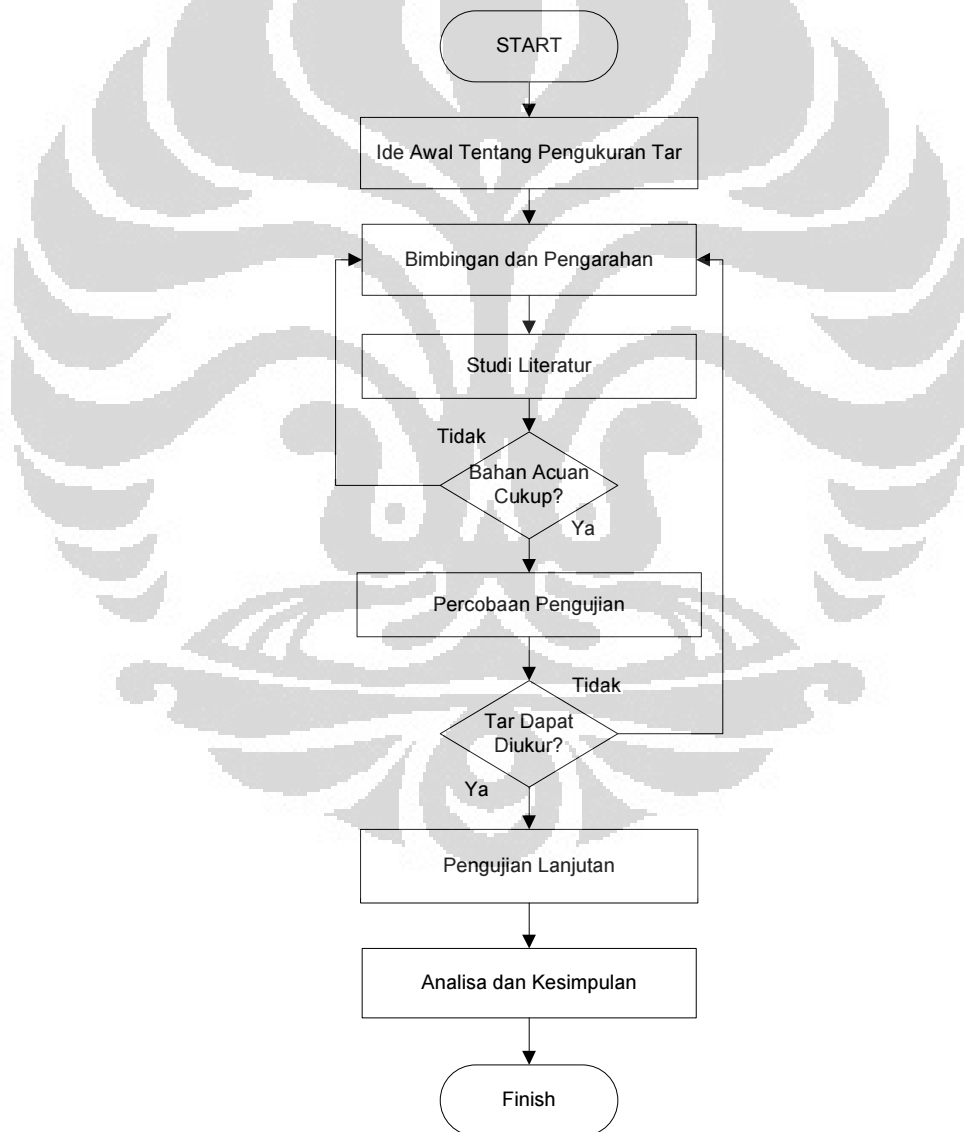
Apabila bergantung pada rumus tersebut, maka harus dilakukan percobaan-percobaan untuk mencari nilai dari variabel-variabel yang tertera diatas. Menurut *Guideline for Sampling and Analysis of Tar and Particles in Biomass Producer Gases* waktu sampling bergantung pada konsentrasi tar pada gas produser, namun waktu sampling < 30 menit dianggap cukup untuk mendapatkan tar dari *gas sampling*.

BAB 3

METODE PENELITIAN

3.1 Garis Besar Pengujian

Selama melakukan pengujian dan penelitian, penulis melakukan bimbingan dengan dosen maupun rekan, serta studi literatur agar diperoleh hasil pengujian yang baik. Secara ringkas metode penelitian yang dilakukan penulis adalah seperti diagram alir dibawah ini.



Gambar 3.1 Diagram Alir Penelitian

3.1.1 Parameter-parameter yang ditentukan

Pengukuran tar pada *fixed bed downdraft gas* ini terdapat parameter-parameter yang telah ditentukan, yaitu berupa debit, dan temperatur, adapun parameter-parameter itu adalah :

- Debit (*flowrate*)
 - Debit pada pompa vakum dijaga 10 lpm.
 - Debit pada *primary air blower* diatur pada 189.6 lpm, 131.4 lpm dan 89.4 lpm.
 - Debit pada *venturi scrubber* diatur pada 10 lpm, 20 lpm dan 30 lpm.
- Temperatur

Ada beberapa Temperatur yang ditentukan dalam pengambilan data ini, yaitu temperatur pada kotak kondensasi 1 adalah 20°C dan temperatur pada kotak kondensasi 2 adalah -15°C s/d 20°C.

3.1.2 Komponen-komponen Alat Pengujian

Pada pengukuran tar ini diusahakan sesederhana mungkin komponen-komponen yang dibutuhkan yang ditunjukkan untuk mempermudah pengujian dan sudah barang tentu penghematan dana yang akan dikeluarkan.

3.2 Deskripsi Alat

Pada pengujian ini sesuai dengan komponen yang dibutuhkan diatas yang kemudian disusun sesuai dengan kebutuhan pengujian. Untuk lebih jelasnya fungsi masing-masing dari alat yang menyusun rangkaian alat pengujian ini dapat dijelaskan pada sub bab dibawah ini.

Komponen-komponen yang digunakan antara lain :

1. Pipa *Gas Sampling*
2. *Rotameter*
3. 2 buah *box*
4. Selang silikon
5. Pompa vakum

6. Tabung *impinger*
7. *Solvent*
8. Termometer digital
9. Timbangan digital
10. Kompor induksi
11. *Ball valve*

3.2.1 Pipa Gas Sampling

Alat ini digunakan untuk mendapatkan *sample* gas yang akan diukur. Fungsi alat ini adalah untuk diharapkan sample yang didapatkan adalah isokinetik. Pada alat Pipa Gas Sampling ini terdapat beberapa bagian, yaitu:

Pipa utama :

- diameter dalam 60 mm
- panjang pipa 400 mm

Nozzle :

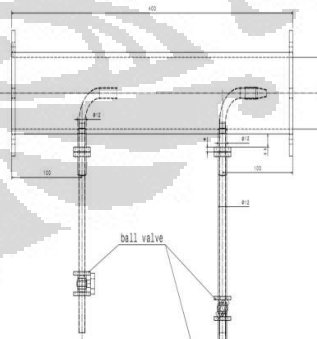
- diameter dalam 5 mm

Pipa perantara :

- diameter dalam 5 mm
- panjang pipa 150 mm



Gambar 3.2 Pipa Gas Sampling



Gambar 3.3 Drawing Pipa Gas Sampling

3.2.2 Rotameter

Rotameter atau disebut juga dengan flowmeter meter digunakan pada pengujian ini untuk mengontrol aliran gas yang dihisap oleh pompa vakum sebesar 10 lpm. *Rotameter* ini mempunyai spesifikasi:

Nama : *Rotameter for Air*

Merk : Muller

Ketelitian : 1 lpm gas

Kapasitas : 5-25 lpm gas



Gambar 3.4 Rotameter

3.2.3 Box Kondensasi

Ada 2 buah box kondensasi yang digunakan dalam pengujian ini, box pertama memiliki 6 sekat dimana akan masukkan air bertemperatur 20°C dan diletakkan 4 buah tabung impinger. Box kedua memiliki dimensi yang sama dengan box pertama, tempat akan dimasukkan campuran es batu dan garam hingga temperaturnya menjadi -20°C dan diletakkan 2 buah tabung impinger. Dimensi dari box kondensasi ini adalah: panjang 400 mm, lebar 225 mm dan tinggi 250 mm.



Gambar 3.5 Box Kondensasi

3.2.4 Selang Silikon

Selang silikon berfungsi untuk mengalirkan gas dari *sampling tar pipe* ke tabung awal impinger, antar tabung impinger dan hingga pompa vakum. Selang silikon yang digunakan memiliki diameter dalam 8 mm dan 6 mm, sedangkan panjangnya disesuaikan dengan kondisi jarak *sampling tar pipe* ke tabung impinger, jarak antar tabung-tabung impinger dan jarak ke pompa vakum.



Gambar 3.6 Selang Silikon

3.2.5 Pompa Vakum

Pompa vakum digunakan untuk menghisap *gas produser* yang melalui *nozzle* dari *sampling tar pipe* lalu diteruskan ke tabung-tabung impinger yang berisi *solvent*. Adapun spesifikasi pompa vakum yang digunakan untuk pengujian ini adalah:



Gambar 3.7 Pompa Vakum

Type	: 1 stage vacuum pump
Merk & Model	: Value VE115N
Air Displacement	: 2 CFM
Ultimate Vacuum	: 150 micron

Voltage : 230 V/50-60Hz
Power : ¼ HP
Oil Capacity : 250 ml

3.2.6 Tabung Impinger

Tabung-tabung impinger ini berfungsi sebagai penangkap gas. Pada pengujian ini digunakan 6 tabung impinger dimana 1 tabung diisi dengan air, 4 tabung diisi dengan *solvent* dan tabung terakhir dibiarkan kosong. Tabung impinger ini mempunyai kapasitas 250 ml.



Gambar 3.8 Tabung Impinger

3.2.7 Solvent (Aseton)

Solvent atau disebut dengan pelarut, pada pengujian ini menggunakan solvent jenis aseton. Solvent digunakan seuntuk menangkap tar yang ada dalam gas producer. Selain itu solvent digunakan untuk membersihkan tabung-tabung setelah proses pengujian. Properties dari solvent jenis aseton ini ada dalam lampiran 1.

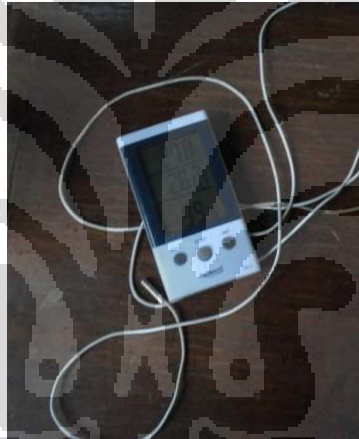


Gambar 3.9 Solvent

3.2.8 Termometer Digital

Untuk mengukur temperatur pada *box* kondensasi 1 dan *box* kondensasi 2 digunakan termometer digital. Termometer digital ini mempunyai display untuk mengukur temperatur luar (pada *probe*) dan temperatur dalam (disekeliling termometer), termometer ini juga mempunyai display untuk mengukur kelembaban. Spesifikasi termometer digital yang digunakan pada pengujian ini adalah sebagai berikut:

Merk	: KI&BNT
Type	: DT-3
Range Temperatur Luar	: -30°C s/d 70°C
Range Temperatur Dalam	: -10°C s/d 60°C
Range Kelembaban	: 0% s/d 100%



Gambar 3.10 Termometer Digital

3.2.9 Timbangan Digital

Timbangan digunakan untuk menimbang massa tar yang didapat dari hasil pengujian, spesifikasi timbangan digital ini adalah sebagai berikut:

Merk & Type	: Sigma DJ620C
Ketelitian	: 0.01g
Kapasitas	: 600g
Power	: AC 220 (dengan adaptor DC 9V)/ 6 baterai AA 1.5V



Gambar 3.11 Timbangan Digital

3.2.10 Kompor Induksi

Kompor induksi digunakan untuk menguapkan *solvent* hasil pengujian, penguapan dilakukan dengan harapan agar *solvent* yang menguap hanya menyisakan tar. Spesifikasi kompor induksi ini adalah sebagai berikut:

Merk : Philips

Pilihan Temperatur : 80°C, 120°C, 160°C, 200°C

Range Daya : 400W s/d 2200W



Gambar 3.12 Kompor Induksi

3.2.11 Ball Valve

Pada pengujian ini *ball valve* yang digunakan ada 2 buah, masing-masing memiliki dimensi yang sama yaitu *ball valve* ¼ inch. *ball valve* yang pertama diletakkan diantara pipa utama dengan pipa perantara (pada *sampling tar pipe set*) sedangkan *ball valve* yang kedua diletakkan setelah pompa vakum. Kedua *ball valve* pada pengujian ini mempunyai fungsi yang sama, yaitu menghentikan aliran (*shut off flow*).



Gambar 3.13 Ball Valve

3.3 Metodologi Pengujian

Metodologi pengujian adalah tata cara yang digunakan untuk melakukan pengujian. Hal ini diperlukan agar setiap pengujian yang dilakukan memiliki tingkat kesalahan yang rendah dan untuk menjamin keselamatan kerja saat pengujian. Adapun isi dari metodologi pengujian adalah lokasi pengujian, persiapan pengujian, proses pengujian, proses penguapan solvent, dan proses penimbangan tar.

3.3.1 Lokasi Pengujian

Pengujian dilakukan dengan menggunakan alat-alat yang telah disebutkan diatas, sedangkan lokasi pengujian adalah di Laboratorium Termodinamika Proyek Gasifikasi Departemen Teknik Mesin Universitas Indonesia dan alat yang diuji tar adalah *Fixed Bed Downdraft Gasifier*.



Gambar 3.14 Laboratorium Termodinamika Proyek Gasifikasi



Gambar 3.15 Fixed Bed Downdraft Gasifier

3.3.2 Persiapan Pengujian

Sebelum pengujian dilakukan beberapa hal terlebih dahulu:

1. Memastikan kebersihan tabung-tabung impinger.
2. Memastikan kondisi pompa vakum melalui *display* oli yang ada apakah masih layak untuk digunakan.
3. Memastikan kebersihan selang-selang silikon.
4. Memeriksa kondisi bandul pada *rotameter*.
5. Memastikan jumlah solvent cukup untuk pengujian.
6. Memastikan batu es dan garam cukup untuk pengujian.

3.3.3 Pemasangan Alat dan Proses Pengujian

1. Masukkan *solvent* berupa aseton sebanyak 50 ml ke dalam 5 buah tabung impinger, yaitu tabung nomor 1, 2, 3, 4, dan 5.



Gambar 3.16 Memasukkan Solvent ke Tabung Impinger

2. Pada tabung impinger nomor 6, dipasang filter kertas. Hal ini untuk menjaga *rotameter* dan pompa vakum agar tidak kotor oleh gas *sample* yang masuk.

3. Isi box kondensasi 1 dengan air hingga setengah dari tinggi box tersebut. Temperatur air dijaga 20°C ($\pm 5^{\circ}\text{C}$).
4. Masukkan tabung impinger nomor 1, 2, 3 dan 4 kedalam box kondensasi 1.
5. Masukkan tabung impinger nomor 5 dan 6 kedalam box kondensasi 2.
6. Masukkan pecahan batu es kedalam box kondensasi 2 dan campur dengan garam hingga didapat temperatur -15 s/d -20°C .



Gambar 3.17 Temperatur box kondensasi 2

7. Sambungkan antara pipa perantara, tabung-tabung impinger dengan menggunakan selang silikon.



Gambar 3.18 Pemasangan Selang Silikon

8. Sambungkan tabung-tabung impinger dengan *rotameter* dan pompa vakum serta *ball valve* dengan menggunakan selang silikon.



Gambar 3.19 Kondisi saat semua alat-alat terpasang

9. Pengujian sistem dengan menjalankan pompa vakum dan set *rotameter* pada 10 lpm untuk mengetahui apakah sistem dapat menghisap gas atau tidak.



Gambar 3.20 Flowrate pada rotameter

10. Pompa vakum kembali dijalankan untuk pengujian saat kondisi gas stabil, dalam hal ini tolak ukur yang digunakan adalah flame.
11. Khusus untuk pengujian setelah gas cleaning, pompa vakum kembali dijalankan saat *venturi scrubber* dinyalakan dan kondisi gas stabil.
12. Pengujian dilakukan selama 20 menit.
13. Setelah pengujian, isi tabung-tabung impinger yang berisi aseton yaitu nomor 3, 4, 5 dicampur kedalam tabung impinger nomor 2.
14. Tabung-tabung nomor 3, 4, 5 dibersihkan dengan menggunakan aseton dan kotorannya dimasukkan tabung impinger nomor 2.

3.3.4 Proses Penguapan Solvent

1. Sebelum dilakukan penguapan, tabung impinger nomor 2 dan 3 ditimbang terlebih dahulu dengan menggunakan timbangan digital.

2. Proses penguapan *solvent* dilakukan dengan cara merendam tabung impinger ke dalam air yang dipanaskan.
3. Tabung impinger nomor 2 diuapkan kedalam air yang dipanaskan pada temperatur pemanas 80°C.



Gambar 3.21 Proses penguapan solvent

4. Setelah proses penguapan dilakukan selama 4 jam, tiap 1 jam selanjutnya dilakukan penimbangan.
5. Proses penguapan dilakukan hingga tidak ada perubahan massa lagi dalam tiap jam penimbangan berikutnya.

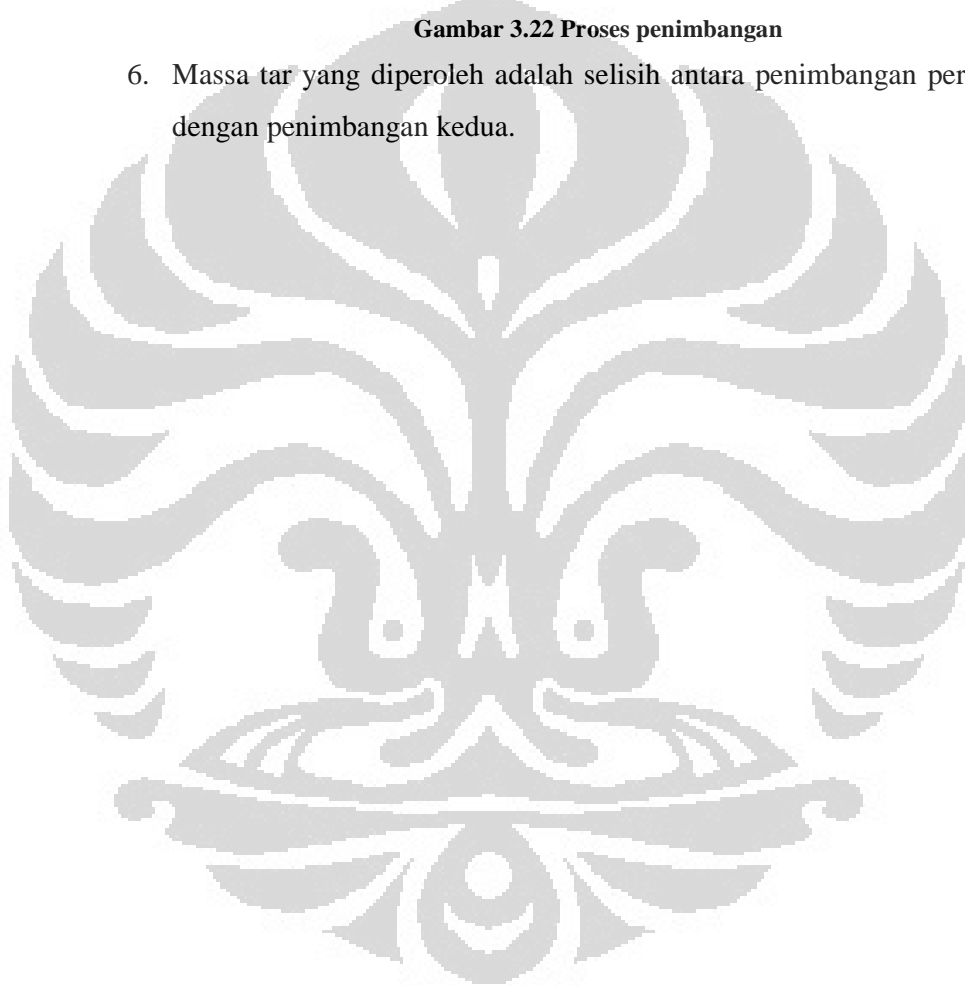
3.3.5 Proses Penimbangan Tar

1. Proses penimbangan dilakukan dua kali dengan menggunakan timbangan digital.
2. Penimbangan pertama dilakukan saat tabung impinger berisi tar.
3. Tabung impiger yang berisi tar, dibersihkan dengan menggunakan aseton hingga bersih.
4. Tabung yang telah dibersihkan dengan aseton kemudian dijemur hingga kering.
5. Tabung impinger yang telah bersih tersebut kemudian ditimbang lagi (penimbangan kedua) dengan menggunakan timbangan digital.



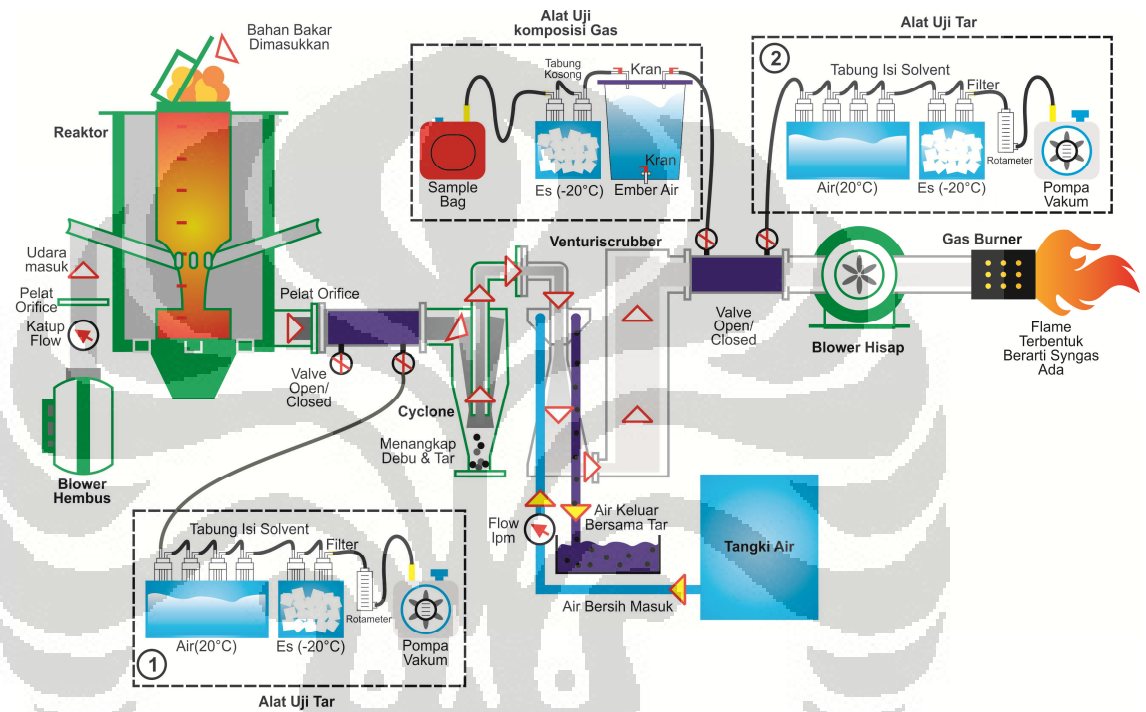
Gambar 3.22 Proses penimbangan

6. Massa tar yang diperoleh adalah selisih antara penimbangan pertama dengan penimbangan kedua.



3.3.6 Posisi pengujian

Seperti yang ditunjukkan oleh gambar dibawah, pengujian dilakukan dua tahap. Tahap pertama (nomor 1 pada gambar) pengambilan *gas sampling* untuk uji tar dilakukan sebelum *gas cleaning*, sedangkan tahap kedua (nomor 2 pada gambar) pengambilan *gas sampling* dilakukan setelah *gas cleaning*.



Gambar 3.23 Posisi Pengujian di Downdraft

BAB 4

ANALISA DAN PENGOLAHAN DATA

Pembahasan bab ini berkisar pada pengolahan sebagian data yang penulis ambil pada saat pengujian, dan penulis hadirkan pada bab ini dalam bentuk tabel dan grafik. Analisa dilakukan pada beberapa perhitungan, namun ada juga yang tidak kami analisa. Grafik dan tabel kami analisa sesuai dengan pokok permasalahan yang diangkat. Selengkapnya tertulis seperti dibawah ini.

4.1 Pengolahan Data

Data yang telah didapat pada saat pengujian, yaitu laju penguapan, massa tar sebelum *gas cleaning* dan massa tar setelah *gas cleaning*, perbandingan antara temperatur, massa tar dan laju udara primer saat pengambilan sample tar digunakan untuk pengolahan data ini sesuai tujuan yang ingin dicapai pada tugas akhir ini. Data tersebut langsung masuk ke sub bab analisa yang langsung diplot dalam bentuk grafik. Penjelasan lebih lanjut dapat dibaca pada sub bab analisa.

4.2 Kondisi Tabung Impinger Setelah Pengujian

Berikut merupakan visualisasi tabung-tabung impinger setelah dilakukan pengambilan gas sampling. Visualisasi tabung-tabung diurutkan berdasarkan tahap pengambilan, *flowrate primary air* dan *flowrate ventury scrubber*.







4.2.1 Kondisi Tabung Impinger Setelah Pengujian Tahap 1

Tabel 4.1 Visualisasi Kondisi Tabung Impinger Sesaat Setelah Pengujian Tahap 1

		
Primary Air (30°) 189.9 lpm	Primary Air (45°) 131.4 lpm	Primary Air (60°) 89.4 lpm

4.2.2 Kondisi Tabung Impinger Setelah Pengujian Tahap 2

Tabel 4.2 Visualisasi Kondisi Tabung Impinger Sesaat Setelah Pengujian Tahap 2

Kondisi impinger sesaat setelah pengujian		
		
Primary Air (30°) 189.9 lpm dan Venturi Scrubber 10 lpm	Primary Air (30°) 189.9 lpm dan Venturi Scrubber 20 lpm	Primary Air (30°) 189.9 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

4.3 Laju Penguapan

Laju penguapan yang dimaksud adalah untuk menentukan waktu yang dibutuhkan untuk menguapkan campuran tar-aseton sehingga dianggap kering. Untuk mengetahui laju penguapan campuran tar-aseton dilakukan serangkaian percobaan. Percobaan yang dilakukan yaitu menguapkan aseton pada temperatur 80°C.

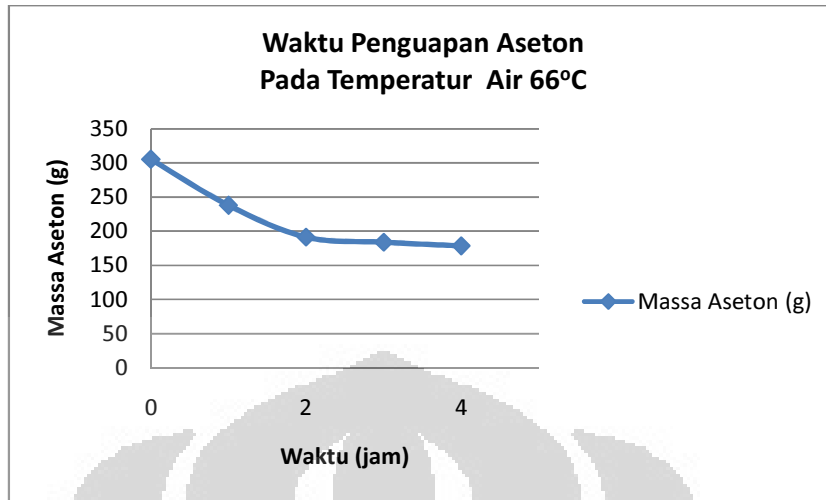
4.3.1 Laju Penguapan Aseton Pada Temperatur Air 66°C

Percobaan untuk mengetahui laju penguapan aseton pada temperatur air yang dipanaskan pada 66°C yaitu dengan cara:

- Timbang massa tabung impinger kosong, dan didapat 178.46g.
- Masukkan aseton hingga terisi setengah dari tinggi tabung impinger.
- Timbang tabung yang telah diisi aseton, massa yang terukur 305.58g.
- Lakukan penguapan, dengan memasukkan tabung impinger kedalam air bertemperatur 66°C.
- Timbang tabung setiap 1 jam sekali untuk mencatat massa yang terukur pada timbangan.
- Hentikan penimbangan bila massa yang terukur sama dengan massa tabung kosong awal, yaitu 178.46g.

Tabel 4.3 Perubahan Massa Aseton Terhadap Waktu

Waktu (jam)	Massa Aseton (gram)
0	305.58
1	237.75
2	191.43
3	183.83
4	178.46



Gambar 4.1 Grafik laju penguapan aseton pada 80°C



Dari tabel 4.3 dan gambar 4.1 dapat disimpulkan bahwa untuk menguapkan aseton sebanyak 127.17 gram pada temperatur air yang dipanaskan adalah 66°C dibutuhkan waktu 4 jam. Waktu penguapan aseton ini menjadi tolak ukur dalam menguapkan solvent yang telah tercampur dengan tar.









4.4 Penimbangan Tabung Impinger



Penimbangan tabung impinger merupakan tahap akhir untuk mengetahui massa tar yang ada dalam suatu satuan volume gas producer. Dalam prosesnya ada beberapa tabung yang massa antara kondisi sebelum dibersihkan (kotor) dengan kondisi setelah dibersihkan (bersih) adalah sama, hal ini dimungkinkan karena ketelitian timbangan digital yang kami miliki adalah 0.01 gram.

4.4.1 Penimbangan Tabung Impinger Tahap 1

Tabel 4.4 Visualisasi Penimbangan Tabung Impinger Tahap 1





No	Primary Air (30°) 189.6 lpm		Keterangan
1			Tabung berisi aseton
	Kondisi Sebelum	Kondisi Sesudah	







2			Tabung berisi Aseton
	Kondisi Sebelum	Kondisi Sesudah	
Primary Air (45°) 131.4 lpm			
1			Tabung berisi Aseton
	Kondisi Sebelum	Kondisi Sesudah	
No	Primary Air (45°) 131.4 lpm		Keterangan
2			Tabung berisi Aseton
	Kondisi Sebelum	Kondisi Sesudah	
Primary Air (60°) 89.4 lpm			
1			Tabung berisi Aseton
	Kondisi Sebelum	Kondisi Sesudah	







2			Tabung berisi Aseton
	Kondisi Sebelum	Kondisi Sesudah	





4.4.1 Penimbangan Tabung Impinger Tahap 2

Tabel 4.5 Visualisasi Penimbangan Tabung Impinger Tahap 2

No	Primary Air (30°) 189.6 lpm dan Water Scrubber 10 lpm		Keterangan
1			Tabung berisi Aseton
	Kondisi Sebelum	Kondisi Sesudah	
2			Tabung berisi Aseton
	Kondisi Sebelum	Kondisi Sesudah	

	Primary Air (30°) 189.6 lpm dan Water Scrubber 20 lpm		
1			Tabung berisi Aseton
	Kondisi Sebelum	Kondisi Sesudah	
No	Primary Air (30°) 189.6 lpm dan Water Scrubber 30 lpm		Keterangan
1			Tabung berisi Aseton
	Kondisi Sebelum	Kondisi Sesudah	
	Primary Air (45°) 131.4 lpm dan Water Scrubber 10 lpm		
1			Tabung berisi Aseton
	Kondisi Sebelum	Kondisi Sesudah	

	Primary Air (45°) 131.4 lpm dan Water Scrubber 20 lpm		
1			Tabung berisi Aseton
	Kondisi Sebelum	Kondisi Sesudah	
No	Primary Air (45°) 131.4 lpm dan Water Scrubber 30 lpm		Keterangan
1			Tabung berisi Aseton
	Kondisi Sebelum	Kondisi Sesudah	
	Primary Air (60°) 89.4 lpm dan Water Scrubber 10 lpm		
1			Tabung berisi Aseton
	Kondisi Sebelum	Kondisi Sesudah	

	Primary Air (60°) 89.4 lpm dan Water Scrubber 20 lpm		
1			Tabung berisi Aseton
	Kondisi Sebelum	Kondisi Sesudah	
No	Primary Air (60°) 89.4 lpm dan Water Scrubber 30 lpm		Keterangan
1			Tabung berisi Aseton
	Kondisi Sebelum	Kondisi Sesudah	

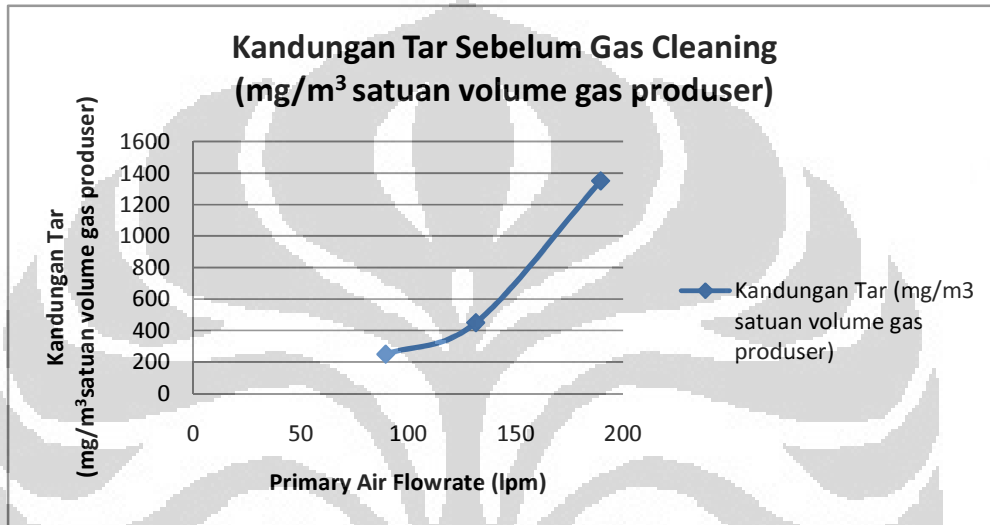
Massa tar yang terukur (dalam satuan gram) kemudian dirubah menjadi massa tar persatuan volume gas produser (g/m^3) karena untuk menyamakan dengan satuan tar yang ada pada standar. Berikut perhitungannya:

$$\frac{\text{gram}}{\text{m}^3} = \frac{\text{Massa Tar Terukur (gram)} \times 1000 \frac{\text{liter}}{\text{m}^3}}{\text{Waktu Hisap (menit)} \times \text{Sample Gas Flowrate} \left(\frac{\text{liter}}{\text{menit}} \right)}$$

4.5 Kandungan tar Sebelum Gas Cleaning

Tabel 4.6 Tabel Kandungan tar Sebelum Gas Cleaning

Primary Air Flowrate (lpm)	Massa Tar (g)	Sample Gas Flowrate (lpm)	Waktu Hisap (menit)	Volume (liter)	Kandungan tar (mg/m^3 satuan volume gas)
189.6	0.27	10	20	200	1350
131.4	0.09	10	20	200	450
89.4	0.05	10	20	200	250



Gambar 4.2 Grafik Hubungan Kandungan tar dengan Primary Air Flowrate

Pada pengujian tar tahap pertama, dilakukan dengan variasi *primary air flowrate* 189.6 lpm, 131.4 lpm dan 89.4 lpm. Kandungan tar meningkat seiring dengan kenaikan *flowrate* pada *primary air*. Kandungan tar maksimal yang terukur adalah $1350 \text{ mg}/\text{m}^3$ satuan volume gas produser pada flowrate 189.6 lpm, kandungan tar minimal yang terukur adalah $250 \text{ mg}/\text{m}^3$ satuan volume gas produser. Berdasarkan hasil percobaan yang dilakukan oleh peneliti lain pada tabel 2.1, rata-rata tar yang dihasilkan oleh *gasifier* jenis *downdraft* adalah $<1 \text{ g}/\text{m}^3$ satuan volume gas produser.

4.6 Kandungan tar Setelah Gas Cleaning

Tabel 4.7 Tabel Kandungan tar Pada Primary Air Flowrate 189.6 lpm

Flowrate Water (lpm)	Massa Tar (g)	Sample Gas Flowrate (lpm)	Waktu Hisap (menit)	Volume (liter)	Kandungan Tar (mg/m ³ satuan volume gas produser)
10	0.11	10	20	200	550
20	0.06	10	20	200	300
30	0.05	10	20	200	250

Tabel diatas menjelaskan bahwa kandungan tar setelah *gas cleaning* pada *flowrate primary air* 189.6 lpm mengalami penurunan dibandingkan dengan pengujian tahap 1 dengan *flowrate primary air* yang sama. Pada *flowrate* air pada *venturi scrubber* 10 lpm, 20 lpm, dan 30 lpm kandungan tar yang terukur adalah 550 mg/m³ satuan volume gas produser, 300 mg/m³ satuan volume gas produser, 250 mg/m³ satuan volume gas produser.

Tabel 4.8 Tabel Kandungan tar Pada Primary Air Flowrate 131.4 lpm

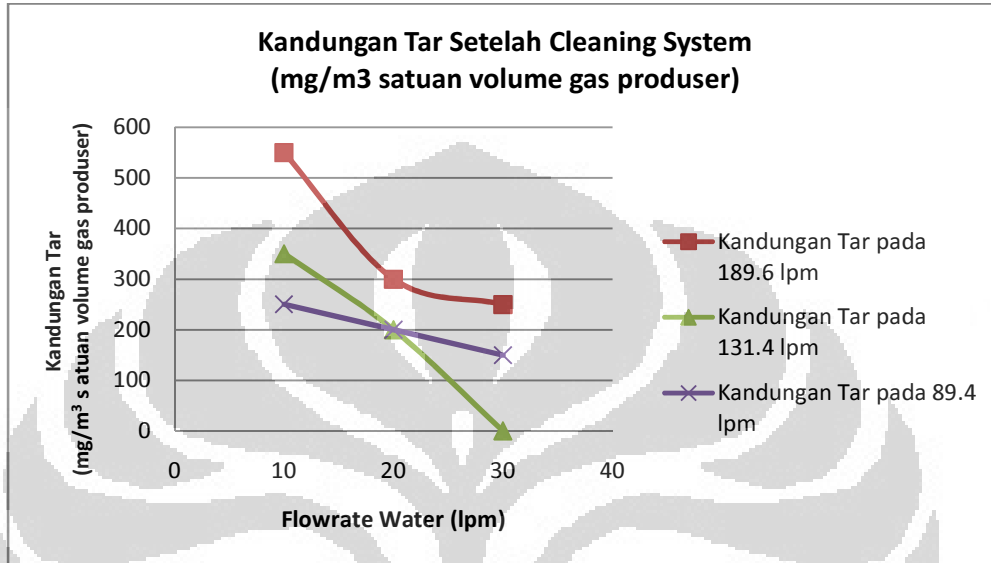
Flowrate Water (lpm)	Massa Tar (g)	Sample Gas Flowrate (lpm)	Waktu Hisap (menit)	Volume (liter)	Kandungan Tar (mg/m ³ satuan volume gas produser)
10	0.07	10	20	200	350
20	0.04	10	20	200	200
30	0	10	20	200	Tidak terdeteksi

Menurut tabel diatas terdapat variasi pada *flowrate* air 30 lpm tar tidak dapat terdeteksi karena kemampuan alat ukur yang memiliki batasan ketelitian dimana selisih antara massa tar sebelum dan sesudah dibersihkan adalah 0 mg/m³ satuan volume gas produser. Untuk meyakinkan lagi, maka khusus variasi *flowrate primary air* 131.4 lpm dengan *flowrate* air 30 lpm dilakukan pengujian sampai 3 kali dan hasil yang didapat adalah sama, baik secara visual seperti terlihat pada tabel 4.2 maupun massa hasil penimbangan.

Tabel 4.9 Tabel Kandungan tar Pada Primary Air Flowrate 89.4 lpm

Flowrate Water (lpm)	Massa Tar (g)	Sample Gas Flowrate (lpm)	Waktu Hisap (menit)	Volume (liter)	Kandungan Tar (mg/m ³ satu volume gas produser)
10	0.05	10	20	200	250
20	0.04	10	20	200	200
30	0.03	10	20	200	150

Tabel 4.9 menjelaskan bahwa kandungan tar setelah *gas cleaning* pada *flowrate primary air* 89.4 lpm mempunyai kandungan tar terendah dengan *flowrate* air pada *venturi scrubber* 10 lpm kandungan tar yang terukur adalah 150 mg/m³ satuan volume gas produser.

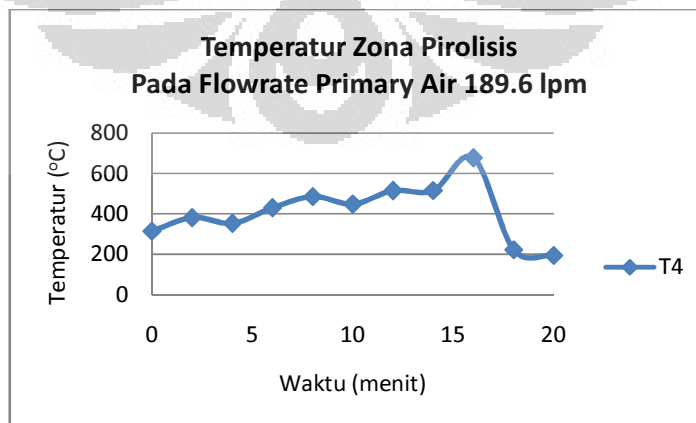


Gambar 4.3 Grafik Kandungan tar Setelah Gas Cleaning System

Pada grafik diatas, kandungan tar mengalami penurunan seiring dengan meningkatnya *flowrate water* pada *venturi scrubber*.

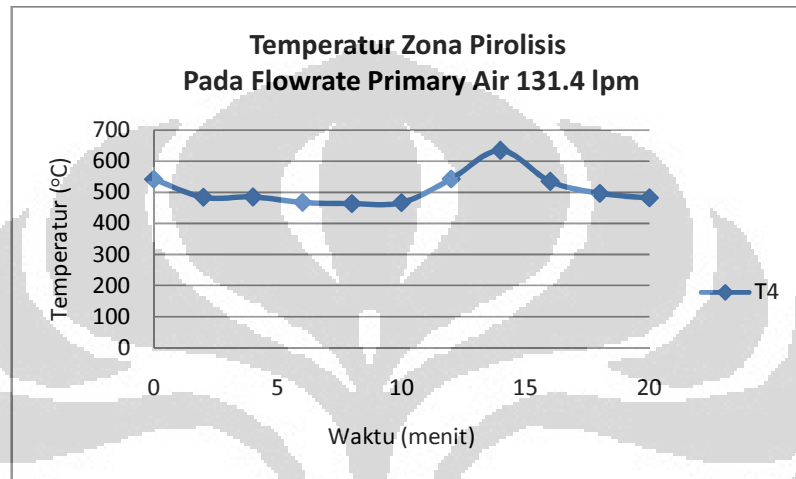
4.7 Distribusi Temperatur Pada Zona Pirolisis

Pada pengujian ini dilakukan serangkaian pengukuran temperatur gasifier pada zona pirolisis selama pengambilan gas sampling. Hal ini dilakukan karena tar terbentuk pada zona pirolisis sehingga karakteristik dan jenis tar yang terbentuk dapat diketahui.



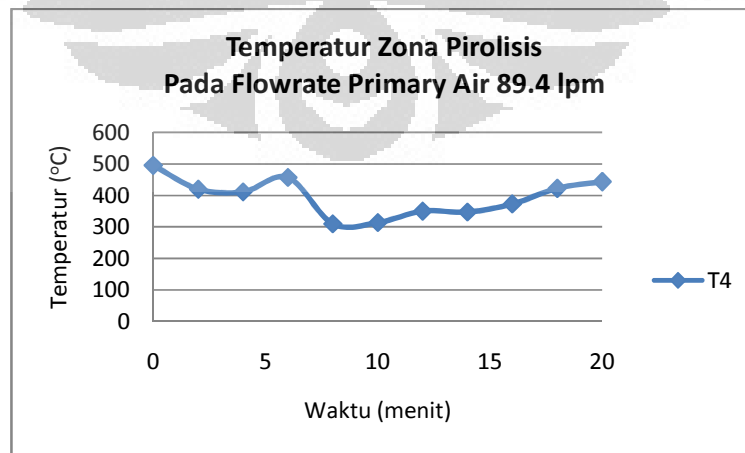
Gambar 4.4 Grafik Temperatur Zona Pirolisis pada Flowrate 189.6 lpm

Pada grafik diatas, temperatur pada zona pirolisis berada pada kisaran 200-600°C dimana temperatur tertinggi adalah 677°C. Berdasarkan dasar teori yang sebelumnya dibahas, tar yang terbentuk pada temperatur 200-500°C adalah tipe tar primer sedangkan pada temperatur 500-800°C adalah tipe tar sekunder. Tar yang terbentuk pada variasi flowrate 189.6 lpm ini didominasi tar tipe primer dan sedikit tar tipe sekunder.



Gambar 4.5 Grafik Temperatur Zona Pirolisis pada Flowrate 131.4 lpm

Temperatur pada zona pirolisis berada pada kisaran 400-600°C dimana temperatur tertinggi adalah 635°C. Berdasarkan dasar teori yang sebelumnya dibahas, tar yang terbentuk pada temperatur 200-500°C adalah tipe tar primer sedangkan pada temperatur 500-800°C adalah tipe tar sekunder. Seperti halnya grafik sebelumnya, grafik 4.4 menginformasikan bahwa mayoritas jenis tar yang terbentuk adalah tipe tar primer.



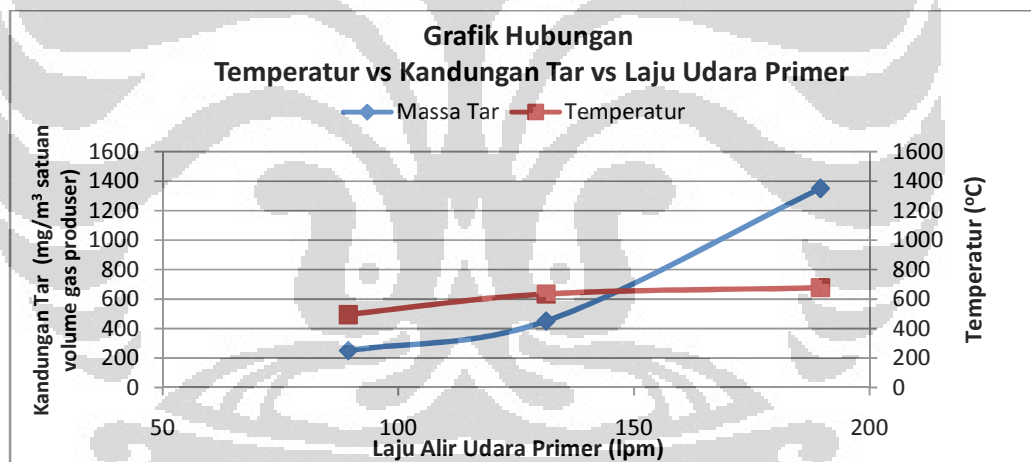
Gambar 4.6 Grafik Temperatur Zona Pirolisis pada Flowrate 89.4 lpm

Grafik 4.5 menginformasikan bahwa temperatur pada zona pirolisis berada pada kisaran 300-400°C dimana temperatur tertinggi adalah 495°C. Pada dasar teori yang sebelumnya dibahas, tar yang terbentuk pada temperatur 200-500°C adalah tipe tar primer. Berdasarkan grafik diatas, variasi flowrate primary air 89.4 lpm ini keseluruhan tar merupakan tar tipe primer.

Tabel 4.10 Tabel Hubungan Flowrate Primary Air, Kandungan tar dan Temperatur

No	Flowrate Primary Air (lpm)	Kandungan Tar (mg/m ³ satuan volume gas produser)	Temperatur (°C)
1	189.6	1350	677
2	131.4	450	635
3	89.4	250	495

Tabel 4.7 dibuat dengan mengambil temperatur maksimal yang tercipta pada masing-masing *flowrate primary air* yaitu untuk mengetahui pengaruh flowrate primary air terhadap temperatur dan kandungan tar yang terukur.

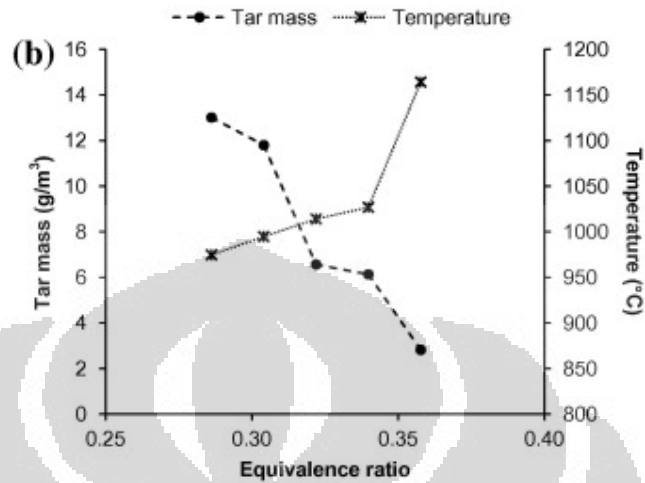


Gambar 4.7 Grafik Hubungan Flowrate Primary Air, Kandungan tar dan Temperatur

Grafik diatas menjelaskan hubungan antara flowrate primary air, kandungan tar dan temperatur bahwa seiring dengan meningkatnya flowrate primary air maka temperatur pada zona pirolisis akan meningkat. Pada grafik, meningkatnya temperatur pada zona pirolisis berdampak pada kenaikan kandungan tar.

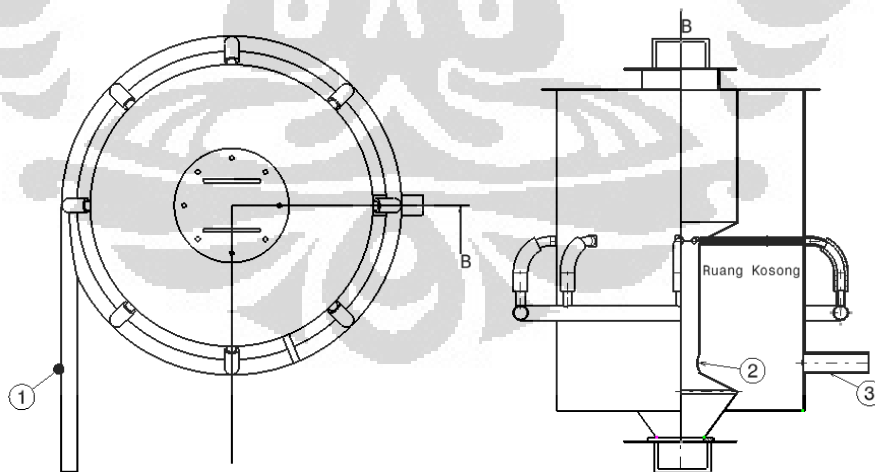
Untuk menjelaskan fenomena yang terjadi pada grafik diatas, penulis mempunyai beberapa analisa. Menurut dasar teori yang ada pada bab sebelumnya, peningkatan temperatur pada reaktor berbanding terbalik dengan jumlah massa tar

yang dihasilkan. Semakin tinggi temperatur maka tar yang terbentuk semakin terurai sehingga massa tar semakin sedikit.



Grafik 4.8 Grafik hasil penelitian Phuphuakra, dkk

Hal tersebut diperkuat dengan penelitian yang dilakukan oleh Thana Phuphuakra, dkk dengan judul jurnal *Characterization of tar content in the syngas produced in a downdraft type fixed bed gasification system from dried sewage sludge* pada grafik diatas dimana para peneliti tersebut mempunyai kesimpulan bahwa semakin tinggi rasio equivalensi udara primer maka akan semakin meningkatkan temperatur dan juga mengurangi jumlah massa tar.



Gambar 4.1 Konstruksi Reaktor Downdraft Gasifier

(sumber: tugas akhir M. Adiwirabrata dengan judul studi perbaikan kinerja Fixed Bed Downdraft Gasifier melalui modifikasi konstruksi throat gasifier)

Pada kasus pengukuran tar pada *Downdraft Gasifier* Teknik Mesin Universitas Indonesia, tar meningkat seiring dengan meningkatnya temperatur. Hal ini dimungkinkan terjadi dikarenakan konstruksi reaktor dan hasil pengukuran aliran keluar gas produser dari reaktor. Pada gambar 4.1 diatas udara primer masuk ke reaktor seperti pada nomor 1 di gambar diatas tercatat mempunyai ΔH pada manometer sebesar 27 mm sedangkan pada pipa keluar gas (nomor 3 pada gambar), ΔH pada manometer yang tercatat adalah 8 mm. Dari perbedaan itu dapat diambil kesimpulan bahwa gas produser tidak langsung keluar melalui pipa keluar gas akan tetapi terlebih dahulu mengisi ruang kosong yang ada pada reaktor karena pada keluaran nomor 3 tidak tersambung langsung dengan keluaran gas nomor 2. Kemudian pada laju aliran udara primer yang rendah, tar terkondensasi pada dinding-dinding reaktor.

Tabel 4.11 Perbandingan Laju Udara Primer dengan Temperatur Gas Produser

(sumber: tugas akhir Reda Pahlevi dengan judul pengaruh laju aliran udara primer dan laju aliran air terhadap gas mampu bakar (gas produser) pada sistem gas cleaning gasifikasi downdraft)

Laju Udara Primer (lpm)	Rata-rata Temperatur Gas Produser ($^{\circ}\text{C}$)
189.6	116.8
131.4	99.8
89.4	74.3

Menurut Michael L Boroson dalam jurnalnya yang berjudul *Heterogeneous Cracking of Wood Pyrolysis Tars over Fresh Wood Char Surfaces*, tar bisa atau mulai terkondensasi pada temperatur 100°C . Dari tabel 4.11 diatas dapat dilihat bahwa pada laju udara primer yang rendah, tar yang ada pada gas produser mempunyai kesempatan untuk terkondensasi pada dinding-dinding reaktor. Pada laju aliran udara primer 189.6 lpm, temperatur gas produser diatas 100°C tar bila menurut acuan temperatur pada jurnal diatas tidak akan terkondensasi. Kesimpulan akhir adalah pada laju alir udara primer menentukan temperatur gas produser yang nantinya akan mempengaruhi banyak atau tidaknya tar yang tertangkap saat dilakukan pengambilan gas *sampling*.

BAB 5

KESIMPULAN

5.1 Kesimpulan

Dari semua pengujian dan penelitian yang telah dilakukan, maka diambil beberapa kesimpulan, yaitu:

1. Pengukuran tar pada *fixed bed downdraft gasifier* ini telah dapat mengukur massa tar per satuan volume gas produser (g/m^3).
2. Tar tertinggi yang terukur sebelum gas cleaning adalah $1350 \text{ mg}/\text{m}^3$ satuan volume gas produser, sedangkan tar terendah yang terukur sebelum gas cleaning adalah $250 \text{ mg}/\text{m}^3$ satuan volume gas produser.
3. Variasi paling optimal dalam mereduksi jumlah tar adalah pada *flowrate primary air* 131.4 lpm dan *flowrate* air pada *venturi scrubber* 30 lpm dengan kandungan tar $0 \text{ mg}/\text{m}^3$ satuan volume gas produser.
4. Karakteristik kandungan tar terhadap *flowrate primary air* dan temperatur zona pirolisis adalah semakin tinggi *flowrate*, maka kandungan tar yang diperoleh akan semakin besar. Begitu pula dengan temperatur maksimum zona pirolisi yang akan naik seiring dengan makin tingginya *flowrate*.
5. Mayoritas tar yang terbentuk adalah tipe primer.

5.1 Saran

Agar depannya hasil penelitian tentang pengukuran tar ini mendapatkan hasil yang lebih baik, maka penulis menyarankan beberapa hal:

1. Melengkapi termokopel, akan lebih mendukung dalam mendapatkan data temperatur yang lebih banyak dan lebih baik.
2. *Dry Gas Meter* diperlukan untuk mendapatkan volume *gas sampling* yang lebih akurat, sehingga hasil berupa kandungan tar akan lebih akurat.
3. Timbangan digital dengan ketelitian yang lebih baik berguna untuk menimbang kandungan tar yang memiliki jumlah sangat kecil seperti pada *flowrate primary air* 131.4 lpm dan *flowrate* air pada *venturi scrubber* 30 lpm.

DAFTAR PUSTAKA

1. T.A. Milne and R.J Evans *Biomass Gasifier “Tars”: Their Nature, Formation and Conversion*. National Renewable Energy Laboratory 1998.
2. *Handbook of Biomass Downdraft Gasifier Engine System*. US Department of Energy. 1988
3. Basu, Prabir *Biomass Gasification and Pyrolysis: Practical Design and Theory*. Elsevier, 2010.
4. J.P.A. Neeft, H.A.M. Knoef, U. etc *Guideline for Sampling and Analysis of Tar and Particles in Biomass Producer Gases* Version 3.3
5. <http://wiki.gekgasifier.com/w/page/6123830/Tars%3A%20Composition%20and%20Characteristics> diakses pada 23 november 2011
6. http://en.wikipedia.org/wiki/Cooling_bath diakses pada 5 oktober 2011
7. Pekka Simell, dkk *Provisional protocol for the sampling and analysis of tar and particulates in the gas from large-scale biomass gasifiers*. Version 1998 Pergamon 1999
8. A.J Thiedeman, *Isokinetic monitoring and the development of the new iso 9096* www.ids-environment.com/
9. *Stationary Source Emissions – Manual determinations of mass concentration of particulate matter* British Standard ISO 9096:2003

LAMPIRAN 1



Health	2
Fire	3
Reactivity	0
Personal Protection	H

Material Safety Data Sheet Acetone MSDS

Section 1: Chemical Product and Company Identification		
Product Name: Acetone	Contact Information:	
Catalog Codes: SLA3502, SLA1645, SLA3151, SLA3808	Sciencelab.com, Inc. 14025 Smith Rd. Houston, Texas 77396	
CAS#: 67-64-1	US Sales: 1-800-901-7247 International Sales: 1-281-441-4400	
RTECS: AL3150000	Order Online: ScienceLab.com	
TSCA: TSCA 8(b) inventory: Acetone	CHEMTREC (24HR Emergency Telephone), call: 1-800-424-9300	
CI#: Not applicable.	International CHEMTREC, call: 1-703-527-3887	
Synonym: 2-propanone; Dimethyl Ketone; Dimethylformaldehyde; Pyroacetic Acid	For non-emergency assistance, call: 1-281-441-4400	
Chemical Name: Acetone		
Chemical Formula: C ₃ H ₆ O		

Section 2: Composition and Information on Ingredients		
Composition:		
Name	CAS #	% by Weight
Acetone	67-64-1	100
Toxicological Data on Ingredients: Acetone: ORAL (LD50): Acute: 5800 mg/kg [Rat], 3000 mg/kg [Mouse], 5340 mg/kg [Rabbit], VAPOR (LC50): Acute: 50100 mg/m 8 hours [Rat], 44000 mg/m 4 hours [Mouse].		

Section 3: Hazards Identification
Potential Acute Health Effects: Hazardous in case of skin contact (irritant), of eye contact (irritant), of ingestion, of inhalation. Slightly hazardous in case of skin contact (permeator).
Potential Chronic Health Effects: CARCINOGENIC EFFECTS: A4 (Not classifiable for human or animal.) by ACGIH. MUTAGENIC EFFECTS: Not available. TERATOGENIC EFFECTS: Not available. DEVELOPMENTAL TOXICITY: Classified Reproductive system/toxin/female, Reproductive system/toxin/male [SUSPECTED]. The substance is toxic to central nervous system (CNS). The substance may be toxic to kidneys, the reproductive system, liver, skin. Repeated or prolonged exposure to the substance can produce target organs damage.

Section 4: First Aid Measures

Eye Contact:

Check for and remove any contact lenses. Immediately flush eyes with running water for at least 15 minutes, keeping eyelids open. Cold water may be used. Get medical attention.

Skin Contact:

In case of contact, immediately flush skin with plenty of water. Cover the irritated skin with an emollient. Remove contaminated clothing and shoes. Cold water may be used. Wash clothing before reuse. Thoroughly clean shoes before reuse. Get medical attention.

Serious Skin Contact:

Wash with a disinfectant soap and cover the contaminated skin with an anti-bacterial cream. Seek medical attention.

Inhalation:

If inhaled, remove to fresh air. If not breathing, give artificial respiration. If breathing is difficult, give oxygen. Get medical attention if symptoms appear.

Serious Inhalation:

Evacuate the victim to a safe area as soon as possible. Loosen tight clothing such as a collar, tie, belt or waistband. If breathing is difficult, administer oxygen. If the victim is not breathing, perform mouth-to-mouth resuscitation. Seek medical attention.

Ingestion:

Do NOT induce vomiting unless directed to do so by medical personnel. Never give anything by mouth to an unconscious person. Loosen tight clothing such as a collar, tie, belt or waistband. Get medical attention if symptoms appear.

Serious Ingestion: Not available.

Section 5: Fire and Explosion Data

Flammability of the Product: Flammable.

Auto-Ignition Temperature: 465°C (869°F)

Flash Points: CLOSED CUP: -20°C (-4°F). OPEN CUP: -9°C (15.8°F) (Cleveland).

Flammable Limits: LOWER: 2.6% UPPER: 12.8%

Products of Combustion: These products are carbon oxides (CO, CO₂).

Fire Hazards in Presence of Various Substances: Highly flammable in presence of open flames and sparks, of heat.

Explosion Hazards in Presence of Various Substances:

Risks of explosion of the product in presence of mechanical impact: Not available. Slightly explosive in presence of open flames and sparks, of oxidizing materials, of acids.

Fire Fighting Media and Instructions:

Flammable liquid, soluble or dispersed in water. SMALL FIRE: Use DRY chemical powder. LARGE FIRE: Use alcohol foam, water spray or fog.

Special Remarks on Fire Hazards: Vapor may travel considerable distance to source of ignition and flash back.

Special Remarks on Explosion Hazards:

Forms explosive mixtures with hydrogen peroxide, acetic acid, nitric acid, nitric acid + sulfuric acid, chromic anhydride, chromyl chloride, nitrosyl chloride, hexachloromelamine, nitrosyl perchlorate, nitryl perchlorate, permonosulfuric acid, thiodiglycol + hydrogen peroxide, potassium ter-butoxide, sulfur dichloride, 1-methyl-1,3-butadiene, bromoform, carbon, air, chloroform, thitriazylperchlorate.

Section 6: Accidental Release Measures

Small Spill:

Dilute with water and mop up, or absorb with an inert dry material and place in an appropriate waste disposal container.

Large Spill:

Flammable liquid. Keep away from heat. Keep away from sources of ignition. Stop leak if without risk. Absorb with DRY earth, sand or other non-combustible material. Do not touch spilled material. Prevent entry into sewers, basements or confined areas; dike if needed. Be careful that the product is not present at a concentration level above TLV. Check TLV on the MSDS and with local authorities.

Section 7: Handling and Storage

Precautions:

Keep locked up. Keep away from heat. Keep away from sources of ignition. Ground all equipment containing material. Do not ingest. Do not breathe gas/fumes/ vapor/spray. Wear suitable protective clothing. In case of insufficient ventilation, wear suitable respiratory equipment. If ingested, seek medical advice immediately and show the container or the label. Avoid contact with skin and eyes. Keep away from incompatibles such as oxidizing agents, reducing agents, acids, alkalis.

Storage:

Store in a segregated and approved area (flammables area) . Keep container in a cool, well-ventilated area. Keep container tightly closed and sealed until ready for use. Keep away from direct sunlight and heat and avoid all possible sources of ignition (spark or flame).

Section 8: Exposure Controls/Personal Protection

Engineering Controls:

Provide exhaust ventilation or other engineering controls to keep the airborne concentrations of vapors below their respective threshold limit value. Ensure that eyewash stations and safety showers are proximal to the work-station location.

Personal Protection:

Splash goggles. Lab coat. Vapor respirator. Be sure to use an approved/certified respirator or equivalent. Gloves.

Personal Protection in Case of a Large Spill:

Splash goggles. Full suit. Vapor respirator. Boots. Gloves. A self contained breathing apparatus should be used to avoid inhalation of the product. Suggested protective clothing might not be sufficient; consult a specialist BEFORE handling this product.

Exposure Limits:

TWA: 500 STEL: 750 (ppm) from ACGIH (TLV) [United States] TWA: 750 STEL: 1000 (ppm) from OSHA (PEL) [United States] TWA: 500 STEL: 1000 [Australia] TWA: 1185 STEL: 2375 (mg/m3) [Australia] TWA: 750 STEL: 1500 (ppm) [United Kingdom (UK)] TWA: 1810 STEL: 3620 (mg/m3) [United Kingdom (UK)] TWA: 1800 STEL: 2400 from OSHA (PEL) [United States] Consult local authorities for acceptable exposure limits.

Section 9: Physical and Chemical Properties

Physical state and appearance: Liquid.

Odor: Fruity. Mint-like. Fragrant. Ethereal

Taste: Pungent, Sweetish

Molecular Weight: 58.08 g/mole

Color: Colorless. Clear

pH (1% soln/water): Not available.

Boiling Point: 56.2°C (133.2°F)

Melting Point: -95.35 (-139.6°F)

Critical Temperature: 235°C (455°F)

Specific Gravity: 0.79 (Water = 1)

Vapor Pressure: 24 kPa (@ 20°C)

Vapor Density: 2 (Air = 1)

Volatility: Not available.

Odor Threshold: 62 ppm

Water/Oil Dist. Coeff.: The product is more soluble in water; log(oil/water) = -0.2

Ionicity (in Water): Not available.

Dispersion Properties: See solubility in water.

Solubility: Easily soluble in cold water, hot water.

Section 10: Stability and Reactivity Data

Stability: The product is stable.

Instability Temperature: Not available.

Conditions of Instability: Excess heat, ignition sources, exposure to moisture, air, or water, incompatible materials.

Incompatibility with various substances: Reactive with oxidizing agents, reducing agents, acids, alkalis.

Corrosivity: Non-corrosive in presence of glass.

Special Remarks on Reactivity: Not available.

Special Remarks on Corrosivity: Not available.

Polymerization: Will not occur.

Section 11: Toxicological Information

Routes of Entry: Absorbed through skin. Dermal contact. Eye contact. Inhalation.

Toxicity to Animals:

WARNING: THE LC50 VALUES HEREUNDER ARE ESTIMATED ON THE BASIS OF A 4-HOUR EXPOSURE. Acute oral toxicity (LD50): 3000 mg/kg [Mouse]. Acute toxicity of the vapor (LC50): 44000 mg/m³ 4 hours [Mouse].

Chronic Effects on Humans:

CARCINOGENIC EFFECTS: A4 (Not classifiable for human or animal.) by ACGIH. DEVELOPMENTAL TOXICITY: Classified Reproductive system/toxin/female, Reproductive system/toxin/male [SUSPECTED]. Causes damage to the following organs: central nervous system (CNS). May cause damage to the following organs: kidneys, the reproductive system, liver, skin.

Other Toxic Effects on Humans:

Hazardous in case of skin contact (irritant), of ingestion, of inhalation. Slightly hazardous in case of skin contact (permeator).

Special Remarks on Toxicity to Animals: Not available.

Special Remarks on Chronic Effects on Humans:

May affect genetic material (mutagenicity) based on studies with yeast (*S. cerevisiae*), bacteria, and hamster fibroblast cells. May cause reproductive effects (fertility) based upon animal studies. May contain trace amounts of benzene and formaldehyde which may cancer and birth defects. Human: passes the placental barrier.

Special Remarks on other Toxic Effects on Humans:

Acute Potential Health Effects: Skin: May cause skin irritation. May be harmful if absorbed through the skin. Eyes: Causes eye irritation, characterized by a burning sensation, redness, tearing, inflammation, and possible corneal injury. Inhalation: Inhalation at high concentrations affects the sense organs, brain and causes respiratory tract irritation. It also may affect the Central Nervous System (behavior) characterized by dizziness, drowsiness, confusion, headache, muscle weakness, and possibly motor incoordination, speech abnormalities, narcotic effects and coma. Inhalation may also affect the gastrointestinal tract (nausea, vomiting). Ingestion: May cause irritation of the digestive (gastrointestinal) tract (nausea, vomiting). It may also affect the Central Nervous System (behavior), characterized by depression, fatigue, excitement, stupor, coma, headache, altered sleep time, ataxia, tremors as well as the blood, liver, and urinary system (kidney, bladder, ureter) and endocrine system. May also have musculoskeletal effects. Chronic Potential Health Effects: Skin: May cause dermatitis. Eyes: Eye irritation.

Section 12: Ecological Information

Ecotoxicity:

Ecotoxicity in water (LC50): 5540 mg/l 96 hours [Trout]. 8300 mg/l 96 hours [Bluegill]. 7500 mg/l 96 hours [Fathead Minnow]. 0.1 ppm any hours [Water flea].

BOD5 and COD: Not available.

Products of Biodegradation:

Possibly hazardous short term degradation products are not likely. However, long term degradation products may arise.

Toxicity of the Products of Biodegradation: The product itself and its products of degradation are not toxic.

Special Remarks on the Products of Biodegradation: Not available.

Section 13: Disposal Considerations

Waste Disposal:

Waste must be disposed of in accordance with federal, state and local environmental control regulations.

Section 14: Transport Information

DOT Classification: CLASS 3: Flammable liquid.

Identification: : Acetone UNNA: 1090 PG: II

Special Provisions for Transport: Not available.

Section 15: Other Regulatory Information

Federal and State Regulations:

California prop. 65: This product contains the following ingredients for which the State of California has found to cause reproductive harm (male) which would require a warning under the statute: Benzene California prop. 65: This product contains the following ingredients for which the State of California has found to cause birth defects which would require a warning under the statute: Benzene California prop. 65: This product contains the following ingredients for which the State of California has found to cause cancer which would require a warning under the statute: Benzene, Formaldehyde Connecticut hazardous material survey.: Acetone Illinois toxic substances disclosure to employee act: Acetone Illinois chemical safety act: Acetone New York release reporting list: Acetone Rhode Island RTK hazardous substances: Acetone Pennsylvania RTK: Acetone Florida: Acetone Minnesota: Acetone Massachusetts RTK: Acetone Massachusetts spill list: Acetone New Jersey: Acetone New Jersey spill list: Acetone Louisiana spill reporting: Acetone California List of Hazardous Substances (8 CCR 339): Acetone TSCA 8(b) inventory: Acetone TSCA 4(a) final test rules: Acetone TSCA 8(a) IUR: Acetone

Other Regulations:

OSHA: Hazardous by definition of Hazard Communication Standard (29 CFR 1910.1200). EINECS: This product is on the European Inventory of Existing Commercial Chemical Substances.

Other Classifications:**WHMIS (Canada):**

CLASS B-2: Flammable liquid with a flash point lower than 37.8°C (100°F). CLASS D-2B: Material causing other toxic effects (TOXIC).

DSCL (EEC):

R11- Highly flammable. R36- Irritating to eyes. S9- Keep container in a well-ventilated place. S16- Keep away from sources of ignition - No smoking. S26- In case of contact with eyes, rinse immediately with plenty of water and seek medical advice.

HMIS (U.S.A.):

Health Hazard: 2

Fire Hazard: 3

Reactivity: 0

Personal Protection: h

National Fire Protection Association (U.S.A.):

Health: 1

Flammability: 3

Reactivity: 0

Specific hazard:

Protective Equipment:

Gloves. Lab coat. Vapor respirator. Be sure to use an approved/certified respirator or equivalent. Wear appropriate respirator when ventilation is inadequate. Splash goggles.

Section 16: Other Information

References:

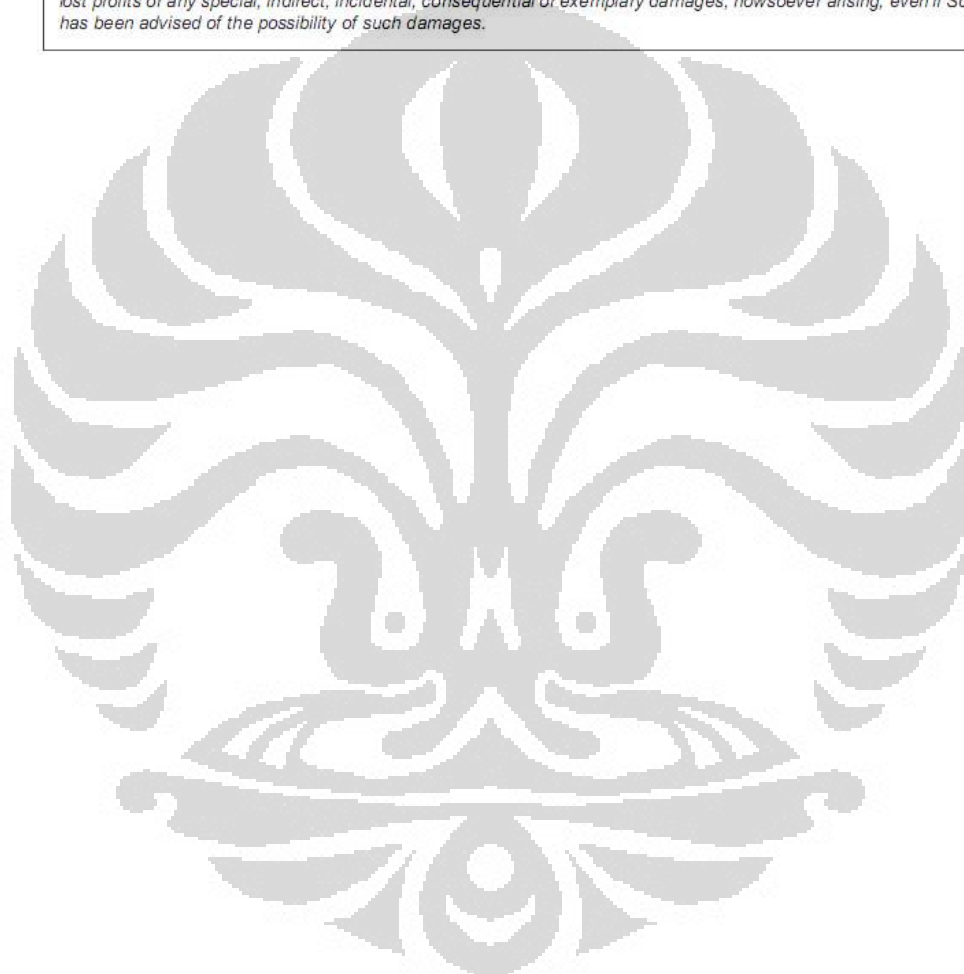
-Material safety data sheet issued by: la Commission de la Santé et de la S curit  du Travail du Québec. -The Sigma-Aldrich Library of Chemical Safety Data, Edition II. -Hawley, G.G.. The Condensed Chemical Dictionary, 11e ed., New York N.Y., Van Nostrand Reinold, 1987. LOLI, RTECS, HSDB databases. Other MSDSs

Other Special Considerations: Not available.

Created: 10/10/2005 08:13 PM

Last Updated: 11/01/2010 12:00 PM

The information above is believed to be accurate and represents the best information currently available to us. However, we make no warranty of merchantability or any other warranty, express or implied, with respect to such information, and we assume no liability resulting from its use. Users should make their own investigations to determine the suitability of the information for their particular purposes. In no event shall ScienceLab.com be liable for any claims, losses, or damages of any third party or for lost profits or any special, indirect, incidental, consequential or exemplary damages, howsoever arising, even if ScienceLab.com has been advised of the possibility of such damages.



LAMPIRAN 2

Perhitungan Flowrate Primary Air:

data eksperimen			persamaan gas ideal	
massa bahan bakar	6 kg		$pV=nRT$	
waktu gasifikasi	120 menit		p	1 atm
asumsi kecepatan gasifikasi konstan	0.05 kg/menit		R	0.08205 L.atm/mol.K
jika t	20 menit		T	27 C
maka, massa bahan bakar	1			300 K
			rho udara	1.179 kg/m ³

katup	flowrate (m ³ /s)	waktu (min)	waktu (s)	jumlah udara	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

(Sumber: Anggy Astilla *studi Karakteristik dan Perhitungan Heat Release Rate dari Gas Produser pada Gasifikasi Tempurung Kelapa dengan sistem Fix Bed Downdraft Gasifier*. 2011)

