



UNIVERSITAS INDONESIA

**STUDI KANDUNGAN TAR PADA UPDRAFT GASIFIER
DENGAN DOUBLE SYNGAS OUTLET MENGGUNAKAN
BAHAN BAKAR KAYU KARET**

SKRIPSI

ARDYAN HUMALA GUMANTI

0806329836

FAKULTAS TEKNIK

DEPARTEMEN TEKNIK MESIN

DEPOK

JULI 2012



UNIVERSITAS INDONESIA

**STUDI KANDUNGAN TAR PADA UPDRAFT GASIFIER
DENGAN DOUBLE SYNGAS OUTLET MENGGUNAKAN
BAHAN BAKAR KAYU KARET**

SKRIPSI

Diajukan sebagai salah satu syarat untuk memperoleh gelar Sarjana Teknik

ARDYAN HUMALA GUMANTI

0806329836

FAKULTAS TEKNIK

DEPARTEMEN TEKNIK MESIN

DEPOK

JULI 2012

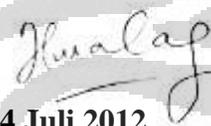
ii

HALAMAN PERNYATAAN ORISINALITAS

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

Nama : Ardyan Humala Gumanti

NPM : 0806329836

Tanda Tangan : 

Tanggal : 4 Juli 2012

HALAMAN PENGESAHAN

Skripsi ini diajukan oleh :

Nama : Ardyan Humala Gumanti

NPM : 0806329836

Program Studi : Teknik Mesin

Judul Skripsi : Studi Kandungan Tar Pada *Updraft Gasifier* dengan *Double Syngas Outlet* Menggunakan Bahan Bakar Kayu Karet

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

Dewan Penguji

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

Penguji: Prof. Dr. I Made K Dhiputra Dipl.-Ing.

Penguji: Prof. Dr. Ir. Bambang Sugiarto M.Eng

Penguji: Prof. Ir. Yulianto S Nugroho, M. Eng. PhD

Ditetapkan di : Depok (Universitas Indonesia)

Tanggal : 4 Juli 2012

KATA PENGANTAR

Puji syukur Alhamdulillah penulis panjatkan kepada Allah SWT yang telah memberikan rahmat dan karunia-Nya, sehingga penulis dapat menyelesaikan Skripsi tentang gasifikasi ini, sebagai salah satu syarat untuk mendapatkan gelar sarjana teknik.

Penulisan Skripsi ini ditujukan untuk membahas tentang teknologi gasifikasi dalam upayanya untuk studi pemanfaatan energi alternatif pendamping energi fosil yang kian hari kian menipis sehingga dapat dijadikan sebagai rujukan untuk penelitian selanjutnya.

Penulis menyadari bahwa penyusunan Skripsi ini tidak akan terwujud tanpa bantuan dari berbagai pihak. Melalui kesempatan ini, penulis menyampaikan rasa terima kasih dan penghargaan sebesar-besarnya kepada :

1. Alm. Armand Harahap (ayah), Evita Maryanti (mama), Ardita Febrini Asweva (Adik), Eva Ramola (nenek), dan seluruh keluarga penulis lainnya yang telah memberikan dukungan, doa, serta bantuan moril dan materil dalam penyelesaian studi serta dalam proses penulisan skripsi ini
2. Dr. Ir. Adi Surjosatyo., M. Eng, selaku dosen pembimbing yang telah menyediakan waktu, tenaga, dan pikirannya untuk mengarahkan dan membimbing penulis beserta tim dalam penyusunan Skripsi ini.
3. Prof. Dr. Budiarso, M. Eng, selaku pembimbing akademis yang senantiasa memberikan pengarahan selama penulis menuntut pendidikan di Departemen Teknik Mesin Universitas Indonesia terutama berkaitan dengan permasalahan akademis.
4. Seluruh staf pengajar Departemen Teknik Mesin UI atas bimbingannya selama periode kuliah.

5. Fajri Vidian, S.T., M.T, selaku asisten dosen pembimbing sekaligus rekan penelitian yang telah banyak membantu dalam proses penulisan skripsi, dan riset ini merupakan bagian dari disertasi program S3 beliau.
6. Guswendar Rinovianto, Priza Karunia, Irvan Nurtanio, Arya Yuwana, Eggi Ikhsan, dan yang telah bahu membahu mengerjakan proyek gasifikasi maupun FBC, serta sebagai rekan diskusi yang baik selama penyusunan skripsi ini.
7. Mas Suryadi, Mas Syarif, dan seluruh karyawan Departemen Teknik Mesin UI yang telah banyak membantu dalam persiapan sebelum dan sesudah penelitian di laboratorium Termodinamika proyek Gasifikasi.
8. Teman-teman Termonator yang telah banyak memberikan dukungan dan bantuan selama masa perkuliahan di jurusan Teknik Mesin Universitas Indonesia
9. Seluruh mahasiswa Departemen Teknik Mesin angkatan 2008 yang telah banyak membantu baik masalah akdemis dan non-akademis dalam 4 tahun masa perkuliahan

Segala kebaikan dan bantuan yang telah diberikan kepada penulis, semoga Allah SWT berkenan melimpahkan rahmat-Nya, Amin.

Penulis menyadari bahwa Skripsi ini masih jauh dari kesempurnaan dengan segala keterbatasan dan kekurangan yang terdapat di dalamnya. Semoga karya yang jauh dari sempurna ini dapat memberikan manfaat bagi semua pihak yang membacanya.

Depok , Juni 2012

Penulis

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

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

Nama : Ardyan Humala Gumanti
NPM : 0806329836
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 :

***Studi Kandungan Tar Pada Updraft Gasifier dengan Double Syngas Outlet
Menggunakan Bahan Bakar Kayu Karet***

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 mempublikasikan 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 (Universitas Indonesia)

Pada tanggal :

Yang menyatakan



(Ardyan Humala Gumanti)



ABSTRAK

Nama : Ardyan Humala Gumanti
Program Studi : Teknik Mesin
Judul : Studi Kandungan Tar Pada *Updraft Gasifier* dengan
Double Syngas Outlet Menggunakan Bahan Bakar Kayu Karet

Gasifikasi adalah suatu proses termokimia yang mengubah bahan bakar padat menjadi gas mampu bakar yang dikenal dengan istilah teknik “*Producer Gas* atau *Syntetic Gas (Syngas)*” dengan proses pembakaran menggunakan oksigen terbatas. *Updraft Gasifier* merupakan jenis *gasifier* yang dapat menghasilkan daya yang lebih besar dibandingkan *downdraft gasifier* tetapi menghasilkan tar yang lebih banyak. Adapun tujuan dari penelitian ini adalah mengurangi kandungan tar pada *updraft gasifier* dengan cara mengeluarkan gas produk melalui dua *outlet* gas, yaitu *outlet* bawah pada daerah reduksi dan *outlet* atas pada daerah gasifikasi. Dengan penggunaan metode seperti ini diharapkan kandungan tar dapat berkurang dikarenakan gas yang melalui *outlet* bawah (reduksi) sudah tidak mengandung tar akibat temperatur yang tinggi, sehingga tar primer yang terkandung di dalamnya mengalami *cracking* baik karena termal atau bereaksi dengan H_2 , H_2O atau CO_2 yang terkandung dalam gas produk sebelum meninggalkan *gasifier*. Pengujian dilakukan menggunakan bahan bakar kayu karet dengan *primary air blower* sebesar 108 lpm dan penarikan tar sebesar 2 lpm.

Kata kunci: *updraft gasifier*, tar, *double outlet*

ABSTRACT

Name : Ardyan Humala Gumanti
Courses : Mechanical Engineering
Title : Tar Content Study of Double Outlet Updraft Gasifier
Using Rubber Wood as a Fuel

Gasification is a thermo chemical process that converts solid fuel into a gas capable of burning a technique known as "*Producer Gas or Synthetic Gas (Syngas)*" by the combustion process using oxygen-limited. *Updraft gasifier* is a type of *gasifier* that can generate more power than the *downdraft gasifier* but produces more tar. The purpose of this study was to reduce the tar content in the *updraft gasifier* with gas issuing through double gas outlet that located in reduction and gasification zone. With the use of such method, it is expected to decrease tar content of product gas because the gas that is originated from the reduction zone will not produce primary tars anymore due to high temperature. The tars contained in it have either *cracking* due to thermal or react with H_2 , H_2O or CO_2 contained in the product gas before leaving the *gasifier*. Tests carried out using rubber wood fuel with the *primary water* at 108 lpm and *blower* tar withdrawal at 2 lpm.

Keywords: *updraft gasifier, tar, double outlet*

DAFTAR ISI

HALAMAN JUDUL.....	ii
PERNYATAAN	
ORISINALITAS.....	iii
HALAMAN PENGESAHAN.....	iv
KATA PENGANTAR.....	v
HALAMAN PERSETUJUAN.....	vii
ABSTRAK.....	
.....	ix
DAFTAR ISI.....	xi
DAFTAR GAMBAR.....	xiii
DAFTAR TABEL.....	xv
BAB 1 PENDAHULUAN	
1.1 Latar Belakang.....	1
1.2 Perumusan Masalah.....	3
1.3 Tujuan Penelitian.....	3
1.4 Pembatasan Masalah.....	3
1.5 Metodologi Penulisan.....	3
1.6 Sistematika Penulisan.....	4
BAB 2 TINJAUAN PUSTAKA	
2.1 Pengertian Gasifikasi.....	6
2.1.1 Jenis-Jenis Alat Gasifikasi.....	7
2.1.4 Proses-Proses pada Reaktor Gasifikasi.....	14
2.2. Biomassa.....	18
2.2.1 Kayu Karet.....	19
2.3 Tar.....	22
2.3.1 Proses Pembentukan Tar.....	22
2.3.2 Jenis Tar <i>Updraft</i>	25
2.4 Pengukuran Tar.....	27
2.4.1 Isokinetik <i>Sam</i> , xi.....	29

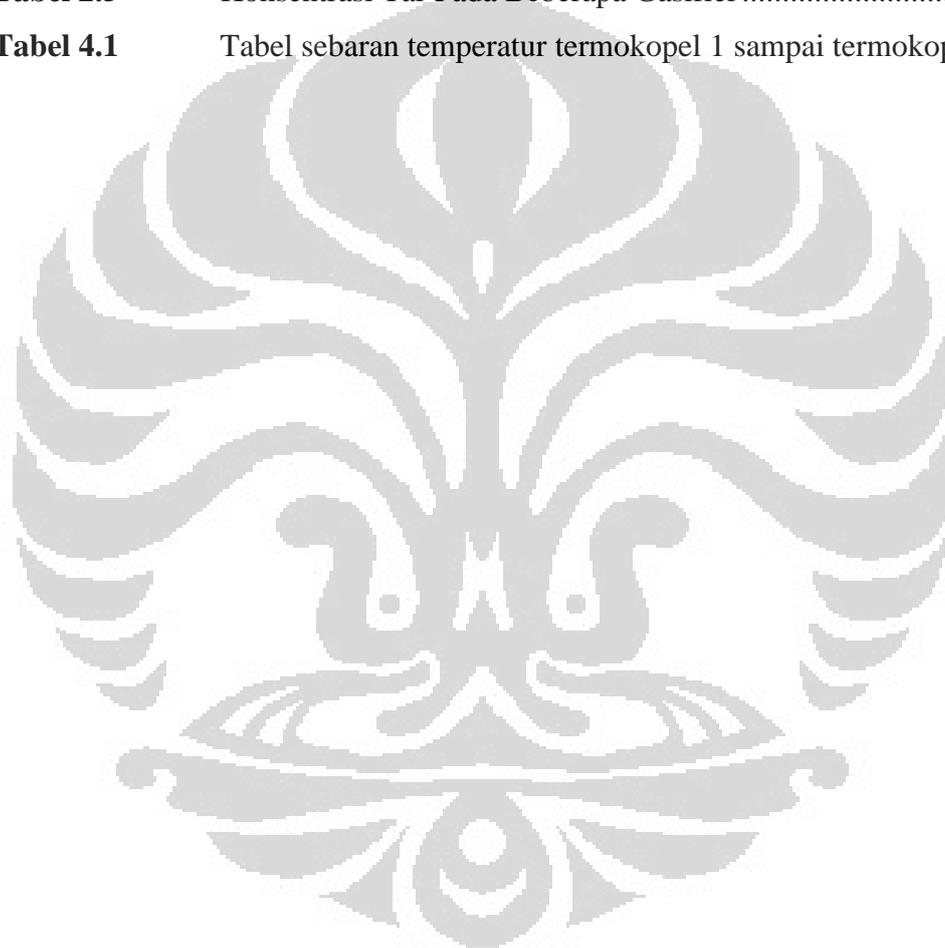
2.4.2 Modul Penangkap Tar	32
2.4.2.1 Tabung-Tabung Impinger	32
2.4.2.2 Box Kondensasi	32
2.4.2.3 Solvent.....	33
2.4.3 Waktu Pengambilan Gas <i>Sampling</i>	33
2.4.4 Prinsip Kerja Pengambilan Gas <i>Sampling</i>	33
BAB III METODE PENELITIAN	
3.1 Garis Besar Pengujian	36
3.2 Skematik Alat Pengujian.....	37
3.3 Komponen Peralatan Pengujian Kandungan Tar	38
3.4 Prosedur Pengujian	45
3.4.1 Persiapan Awal.....	45
3.4.2 Tahapan Pengujian	46
3.4.3 Selesai Pengujian	47
3.5 Alur Kerja Pengujian.....	49
3.6 Pengolahan Data Tar	50
BAB IV HASIL DAN ANALISA	
4.1. Zonafikasi Daerah-Daerah Gasifikasi	51
4.2 Kandungan Tar Pengujian per Batch	54
4.3 Kandungan Tar Pengujian Dua Batch.....	60
BAB V KESIMPULAN DAN SARAN	
5.1 Kesimpulan	63
5.2 Saran.....	64
DAFTAR REFERENSI	65
LAMPIRAN	xvi

Gambar 2.1	<i>Moving bed gasifier</i>	8	
Gambar 2.2	<i>Fluidized bed gasifier</i>	8	
Gambar 2.3	<i>Entrained flow gasifier</i>	9	
Gambar 2.4	Reaktor gasifikasi <i>updraft</i>	10	
Gambar 2.5	Reaktor gasifikasi <i>downdraft</i>	11	
Gambar 2.6	4 Tahapan pada proses gasifikasi	15	
Gambar 2.7	Segitiga api	18	
Gambar 2.8	Grafik Perbandingan Temperatur dan Massa Tar.....	23	
Gambar 2.9	Grafik Pengaruh Residence Time dan Temperatur	23	
Gambar 2.10	Zona Temperatur Terbentuknya Tar.....	24	
Gambar 2.11	Konsentrasi Tar Terhadap Kenaikan Temperatur.....	25	
Gambar 2.12	Jenis Tar Terhadap Perubahan Temperatur	26	
Gambar 2.13	Grafik Jenis Tar <i>Updraft</i>	27	
Gambar 2.14	Skematika Alat Pengukur Tar.....	29	
Gambar 2.15	Ilustrasi Isokinetik dan Non-Isokinetik	30	
Gambar 2.16	Posisi Nozzle Terhadap Pipa Utama.....	30	
Gambar 2.17	Skematika Nozzle Utama	31	
Gambar 2.18	Ilustrasi Box Kondensasi	32	
Gambar 2.19	List Komparasi <i>Cooling Bath</i>	32	
Gambar 3.1	Diagram Alur Penelitian	35	
Gambar 3.2	Diagram Alur Pengujian	36	
Gambar 3.3	Skematik Pengujian	37	
Gambar 3.4	<i>Sampling Tar Set</i>	38	
Gambar 3.5	Selang Silikon	39	
Gambar 3.6	Tabung Impinger	39	
Gambar 3.7	<i>Solvent</i>	40	
Gambar 3.8	Kotak Kondensasi	41	
Gambar 3.9	Pompa Vakum	41	
Gambar 3.10	Heater.....	42	
Gambar 3.11	Gelas UI	xii	
		42

Gambar 3.12	Rotameter.....	43
Gambar 3.13	Termometer Digital	43
Gambar 3.14	Timbangan Digital	44
Gambar 3.15	Oven.....	44
Gambar 3.16	Ball Valve	44
Gambar 3.17	Penimbangan Massa Tar.....	48
Gambar 4.1	Rataan distribusi temperatur	52
Gambar 4.2	Laju Aliran Tar Outlet Atas Bawah 1 Batch	55
Gambar 4.3	Perbandingan Warna Tar	55
Gambar 4.4	Temperatur Reduksi dan pirolisis.....	56
Gambar 4.5	Grafik Kandungan Gas <i>Gasifier Double Outlet</i>	57
Gambar 4.6	Grafik Laju Tar Atas.....	58
Gambar 4.7	Grafik Temperatur T4 Gasifier Double Outlet dan Konvensional	59
Gambar 4.8	Grafik Kandungan Gas Outlet Atas.....	60
Gambar 4.9	Grafik Laju Aliran Tar Outlet Atas Bawah 2 Batch	61
Gambar 4.10	Grafik Temperatur T3 dan T5.....	62

DAFTAR TABEL

Tabel 2.1	Parameter kerja alat gasifikasi	12
Tabel 2.2	Produksi kandungan tar pada alat gasifikasi.....	13
Tabel 2.3	Data pengujian spesimen kayu berdasarkan analisa <i>proximate</i> dan <i>ultimate</i>	20
Tabel 2.4	Tabel Kandungan Tar	22
Tabel 2.5	Konsentrasi Tar Pada Beberapa Gasifier	25
Tabel 4.1	Tabel sebaran temperatur termokopel 1 sampai termokopel 4.....	53



BAB 1

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Bahan bakar fosil merupakan salah satu sumber energi paling populer digunakan oleh manusia. Bahan bakar ini banyak digunakan manusia karena bahan bakar ini mudah didapat dan mudah diaplikasikan karena banyak teknologi yang menggunakannya sebagai bahan bakar. Namun, dewasa ini, harga bahan bakar fosil semakin meningkat tak terkendali. Bahkan, harga minyak dunia saat ini sudah mencapai harga diatas US\$ 100/barel. Selain itu, jumlah cadangan bahan bakar fosil juga semakin lama semakin sedikit

Hal ini membuat manusia harus mencari sumber energi alternatif untuk mengurangi ketergantungan terhadap minyak bumi. Biomassa adalah salah satu alternatif tersebut. Biomassa adalah bahan organik yang dihasilkan melalui proses fotosintesis, baik berupa produk maupun buangan. Contoh biomassa antara lain tanaman, pepohonan, rumput, ubi, limbah pertanian dan limbah hutan, tinja dan kotoran ternak. Biomassa sangat cocok dengan Peraturan Presiden Republik Indonesia Nomor 5 Tahun 2006 tentang Kebijakan Energi Nasional yang intinya adalah mencari sumber energi terbarukan sebagai sumber energi alternatif baru di Indonesia yang murah, aman, dan ramah lingkungan. Salah satu cara pemanfaatan biomassa adalah dengan menggunakan teknologi gasifikasi.

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 diizinkan sebelum masuk ke mesin. Pada aplikasi *Direct Combustion*, tidak ada batasan kandungan tar yang diizinkan untuk masuk kedalam mesin, namun, pada aplikasi *syngas production*, batasan kandungan tar yang diizinkan masuk kedalam mesin adalah $0,1 \text{ mg/m}^3$. Sementara itu, untuk aplikasi *gas turbine*, kandungan tar yang diizinkan masuk kedalam mesin tersebut adalah antara $0,05\text{-}5 \text{ mg/m}^3$. Untuk aplikasi *Internal Combustion Engine*, batasan kandungan tar adalah $50\text{-}100 \text{ mg/m}^3$, dan pada aplikasi *pipeline transport* kandungan tar harus dibatasi berada dalam *range* $50\text{-}500 \text{ mg/m}^3$.

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 Updraft Gasifier*. Pengukuran ini juga dimaksudkan untuk mengetahui berapa banyak tar yang dapat diminimalisasi dengan melakukan beberapa modifikasi terhadap *gasifier*. Modifikasi pada gasifier dilakukan dengan merubah gas outlet dari atas, menjadi dari atas dan dari area reduksi.

1.2 Perumusan Masalah

Sehubungan dengan latar belakang di atas, penulis merumuskan masalah diantaranya sebagai berikut :

1. Bagaimana cara mengukur kandungan tar pada gas yang dihasilkan alat *Fixed Bed Updraft Gasifier*?
2. Adakah perubahan kandungan tar setelah dilakukan perubahan *gas outlet* ?
3. Konfigurasi *Gas outlet* apa yang dapat mengurangi kandungan tar ?

1.3 Tujuan Penulisan

Tujuan dari penulisan tugas akhir ini adalah:

1. Melakukan pengukuran tar pada *Fixed Bed Updraft Gasifier* dengan berpegangan pada suatu standar.
2. Mengetahui jumlah tar yang dihasilkan pada sebelum dan sesudah dilakukannya modifikasi terhadap *gas outlet*.

1.4 Pembatasan Masalah

Pembatasan masalah yang akan dibahas pada pengukuran tar dalam tugas akhir ini adalah pengukuran tar hanya dilakukan untuk tar primer pada *Fixed Bed Updraft Gasifier* dengan flowrate 2 lpm dengan variasi *gas outlet* konvensional dan *gas outlet* dari atas dan dari daerah reduksi.

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. Modifikasi Alat

- Menambah burner serta alat pengambil tar pada daerah gasifikasi gasifier
3. Pengujian dan pengambilan data
 - Pengukuran *flowrate* pompa vakum dengan menggunakan *rotameter*.
 - Penguapan pelarut (*solvent*) hasil sampling dengan menggunakan oven.
 - Pengukuran massa tar dengan menggunakan timbangan digital dengan ketelitian tertentu.
 4. Hasil dan Analisa
 5. 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

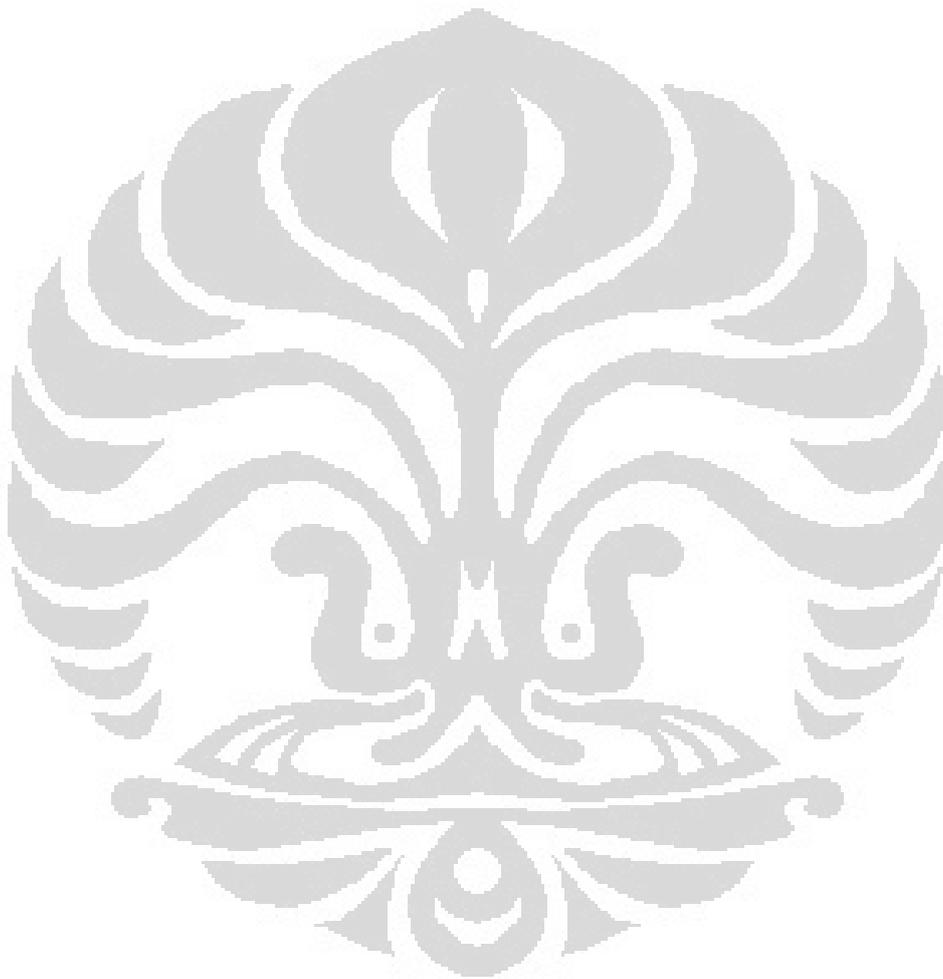
Menjelaskan mengenai rangkain alat, skema alat, prosedur pengujian, hasil pengujian, dan bagan alur pengujian.

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*



BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Pengertian Gasifikasi

Teknologi gasifikasi merupakan suatu bentuk peningkatan pendayagunaan energi yang terkandung di dalam bahan biomassa melalui suatu konversi dari bahan padat menjadi gas dengan menggunakan proses degradasi termal material-material organik pada temperatur tinggi di dalam pembakaran yang tidak sempurna. Proses ini berlangsung di dalam suatu alat yang disebut *gasifier*. Ke dalam alat ini dimasukkan bahan bakar biomassa untuk dibakar di dalam reaktor (ruang bakar) secara tidak sempurna. Dengan kata lain, proses gasifikasi merupakan proses pembakaran parsial bahan baku padat, melibatkan reaksi antara oksigen dengan bahan bakar padat. Uap air dan karbon dioksida hasil pembakaran direduksi menjadi gas yang mudah terbakar, yaitu karbon monoksida (CO), hidrogen (H₂) dan metana (CH₄). Gas-gas ini dapat dipakai sebagai pengganti BBM guna berbagai keperluan seperti menggerakkan mesin tenaga penggerak (diesel atau bensin), yang selanjutnya dapat dimanfaatkan untuk pembangkitan listrik, menggerakkan pompa, mesin giling maupun alat-alat mekanik lainnya. Selain itu gas ini juga dapat dibakar langsung untuk tanur pembakaran, mesin pengering, oven dan sebagainya yang biasanya memerlukan pembakaran yang bersih.

Gasifikasi adalah suatu proses konversi bahan bakar padat menjadi gas mampu bakar (CO, CH₄, dan H₂) melalui proses pembakaran dengan suplai udara terbatas (20%-40% udara stoikiometri). Proses gasifikasi merupakan suatu proses kimia untuk mengubah material berkarbon menjadi gas mampu bakar. Berdasarkan definisi tersebut, maka bahan bakar yang digunakan untuk proses gasifikasi menggunakan material yang mengandung hidrokarbon seperti batubara, *petcoke* (*petroleum coke*), dan biomassa. Keseluruhan proses gasifikasi terjadi di dalam reaktor gasifikasi yang dikenal dengan nama *gasifier*. Di dalam *gasifier* inilah terjadi suatu proses pemanasan sampai temperatur reaksi tertentu

dan selanjutnya bahan bakar tersebut melalui proses pembakaran dengan bereaksi terhadap oksigen untuk kemudian dihasilkan gas mampu bakar dan sisa hasil pembakaran lainnya.

2.1.1 Jenis-Jenis Alat Gasifikasi

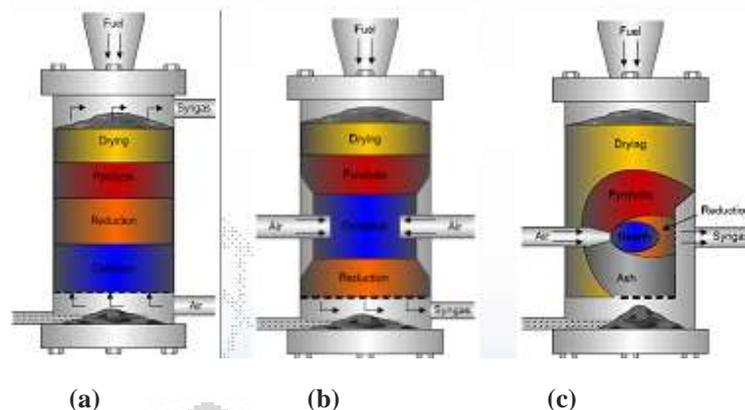
Teknologi gasifikasi yang terus berkembang mengarahkan klasifikasi teknologi sesuai dengan sifat fisik maupun sistem yang berlangsung dalam menciptakan proses gasifikasi. Beberapa kategori alat gasifikasi tersebut antara lain adalah :

a. Berdasarkan mode fluidisasi

Berdasarkan mode fluidisasi, alat gasifikasi dibagi menjadi tiga, yaitu :

1. Gasifikasi unggun bergerak (*moving bed gasifier*)

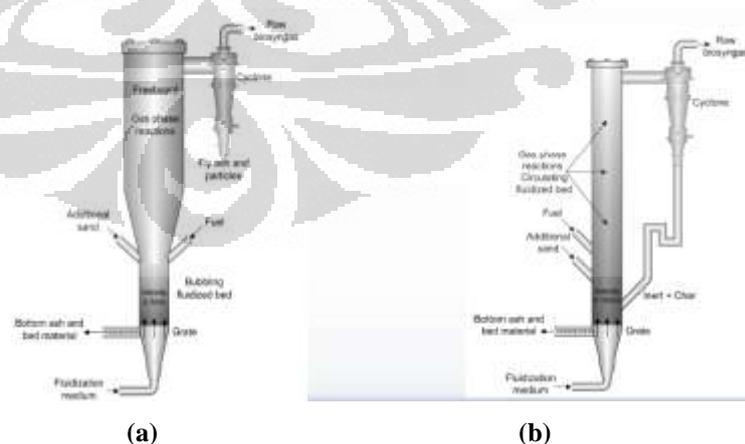
Pada alat gasifikasi ini, umumnya proses memasukkan bahan bakar terjadi dari atas reaktor dan di isi sampai penuh. Setelah proses *feeding* dilakukan, maka selanjutnya adalah pemberian hembusan oksigen pada bagian bawah reaktor untuk proses oksidasi. Antara bahan bakar dan masuknya udara terdapat sekat pemisah agar udara tidak tetutup sisa pembakaran sehingga dapat terus mengalir. Saat oksidasi terjadi, jumlah bahan bakar di dalam reaktor semakin menipis seiring dengan perubahan fase padatan bahan bakar menjadi gas mampu bakar. Sisa bahan bakar yang tidak menjadi gas akan berubah fase menjaadi air maupun tar dan abu dimana air dan tar dapat keluar pada celah atau sambungan pada reaktor dan juga saling mengikat hingga menempel pada dinding reaktor sedangkan abu akan turun ke bawah sebagai akibat dari berat jenis abu dan gaya gravitasi yang mempengaruhinya. Contoh gaifikasi tipe ini adalah gasifikasi updraft dan downdraft.\



Gambar 2.1 *Moving bed gasifier : (a) Updraft gasifier, (b) Downdraft gasifier, (c) Crossdraft gasifier*
(sumber : www soi wide ad jp)

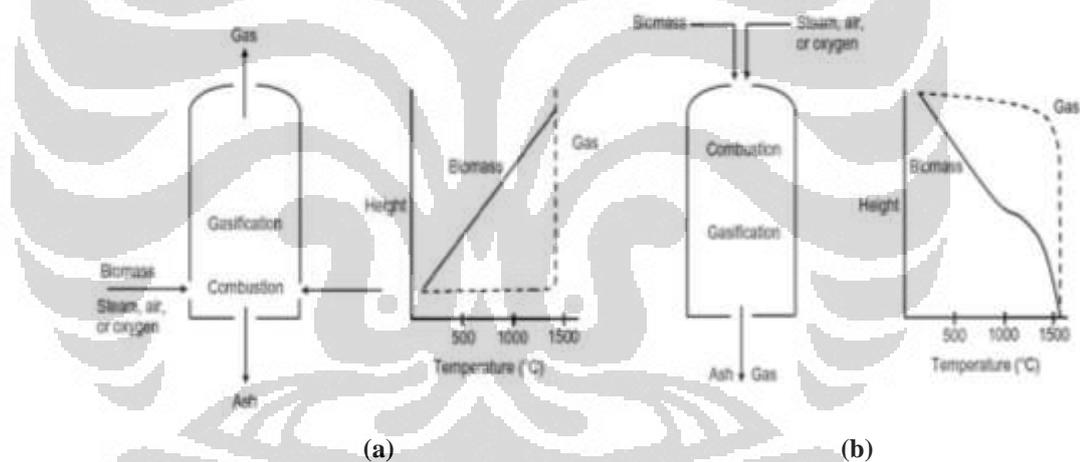
2. Gasifikasi unggun terfluidisasi (*fluidized bed gasification*)

Gasifikasi tipe ini membutuhkan ukuran bahan bakar yang kecil dengan ukuran maksimal adalah 10 mm dengan partikel pemanas yang juga kecil (biasanya pasir). Tujuannya adalah agar bahan bakar dan partikel tersebut dapat mendapatkan panas dengan cepat dan dapat melayang dalam reaktor sehingga dapat terjadi perpindahan panas melalui kontak antara bahan bakar dan partikel pemanas tersebut. Alat gasifikasi ini beroperasi pada temperatur 800-1000°C untuk menghindari pembentukan gumpalan abu.



Gambar 2.2 *Fluidized bed gasifier : (a) Bubbling fluidized bed gasifier dan (b) Circulating fluidized bed gasifier*
(sumber : www soi wide ad jp)

Gasifikasi ini menggunakan siklus gabungan dan memiliki hasil gas yang bersih dengan sedikit tar. Reaktor sistem ini menggunakan temperatur yang cukup tinggi yaitu sekitar 1400°C dengan tekanan 20-70 bar dengan ukuran bahan bakar yang lebih kecil dari gasifikasi unggun terfluidisasi yaitu sekitar kurang dari 75 mikrometer. Bahan bakar dan oksigen serta uap dimasukkan ke dalam reaktor secara bersamaan. Uap dalam sistem ini digunakan untuk memberi kandungan air pada bahan bakar dalam bentuk bubuk hingga terbentuk bubur agar mudah dimasukkan ke dalam reaktor. Kandungan uap air dalam bahan bakar inilah yang harus dibayar dengan peningkatan konsumsi energi yang besar. Dua jenis reaktor sistem ini diklasifikasikan berdasarkan cara *feeding* bahan bakarnya. Jenis reaktor tersebut adalah dari jenis *side-feed entrained flow reactor* dan *top-feed entrained flow reactor*.



Gambar 2.3 *Entrained flow gasifier : (a) side-feed entrained flow reactor dan (b) top feed entrained flow reactor*
(sumber : www.soi.wide.ad.jp)

b. Berdasarkan arah aliran

Arah aliran fluida gas di dalam reaktor gasifikasi menjadi bahan pertimbangan klasifikasi alat gasifikasi berdasarkan arah aliran. Adapun jenis alat gasifikasi tersebut adalah :

1. Gasifikasi updraft

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



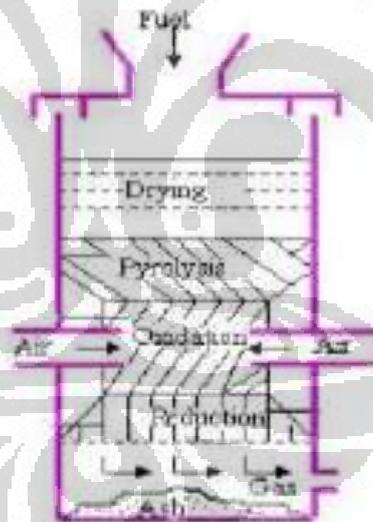
Gambar 2.4 Reaktor gasifikasi updraft
(sumber :teknoperta.wordpress.com)

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

proses pirolisis dan proses pengeringan terjadi pada bagian teratas dari reaktor gasifikasi.

Kelebihan dari reaktor gasifikasi updraft adalah mekanisme kerja yang dimiliki oleh reaktor tipe ini jauh lebih sederhana dibandingkan dengan tipe yang lain, sedangkan dengan mekanisme kerja yang lebih sederhana tersebut, ternyata tingkat toleransi reaktor terhadap tingkat kekasaran bahan bakar lebih baik. Selain itu jenis reaktor ini memiliki kemampuan untuk mengolah bahan bakar kualitas rendah dengan temperatur gas keluaran relatif rendah dan memiliki efisiensi yang tinggi akibat dari panas gas keluar reaktor memiliki temperatur yang relatif rendah. Sedangkan kelemahan reaktor gasifikasi updraft adalah tingkat kadar tar dalam *syngas* hasil reaksi relatif cukup tinggi sehingga mempengaruhi kualitas dari gas yang dihasilkan serta kemampuan muatan reaktor yang relatif rendah.

2. Gasifikasi downdraft



Gambar 2.5 Reaktor gasifikasi downdraft
(sumber :teknoperta.wordpress.com)

Sistem gasifikasi downdraft memiliki sistem yang hampir sama dengan sistem gasifikasi updraft yaitu dengan memanfaatkan sistem oksidasi tertutup untuk memperoleh temperatur tinggi. Bahan bakar dalam reaktor gasifikasi

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

Setiap alat gasifikasi memiliki karakteristik tersendiri yang membedakan suatu sistem gasifikasi dengan sistem gasifikasi yang lain. Hasil reaksi dan *syngas* yang dihasilkan dari reaksi gasifikasi tersebut dipengaruhi oleh karakteristik masing-masing alat

gasifikasi tersebut. Berikut beberapa contoh tabel yang memperlihatkan sistem operasi dari alat gasifikasi tersebut

Tabel 2.1 Parameter kerja alat gasifikasi
(sumber : werkudarazero6.wordpress.com)

Parameter	Fixed/Moving Bed	Fluidized Bed	Entrained Bed
Ukuran umpan	< 51 mm	< 6 mm	< 0.15 mm
Toleransi kehalusan partikel	Terbatas	Baik	Sangat baik
Toleransi kekasaran partikel	Sangat baik	Baik	Buruk

Toleransi jenis umpan	Batubara kualitas rendah	Batubara kualitas rendah dan biomassa	Segala jenis batubara, tetapi tidak cocok untuk biomassa
Kebutuhan oksidan	Rendah	Menengah	Tinggi
Kebutuhan kukus	Tinggi	Menengah	Rendah
Temperatur reaksi	1090 °C	800 – 1000 °C	> 1990 °C
Temperatur gas keluaran	450 – 600 °C	800 – 1000 °C	> 1260 °C
Produksi abu	Kering	Kering	Terak
Efisiensi gas dingin	80%	89.2%	80%
Kapasitas penggunaan	Kecil	Menengah	Besar
Permasalahan	Produksi tar	Konversi karbon	Pendinginan gas produk

Tabel 2.2 Produksi kandungan tar pada alat gasifikasi

Jenis gasifikasi	Rata-rata konsentrasi tar dalam produk (g/Nm ³)	Persentase tar pada bahan bakar biomasa
------------------	---	---

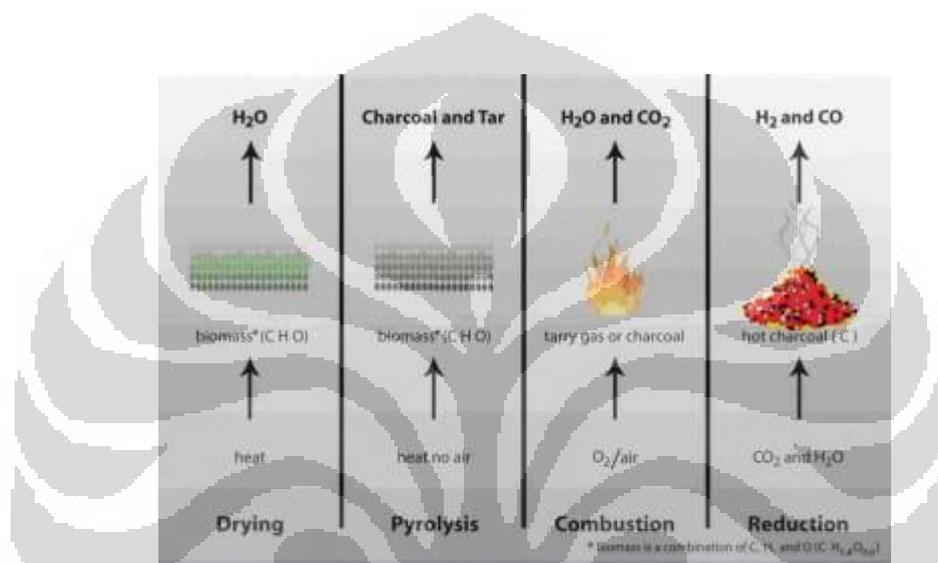
Downdraft	<1	<2
Fludized bed	10	1-5
Updraft	50	10-20
Entrained flow	Negligible	

2.1.2 Proses-Proses Pada Reaktor Gasifikasi

Gasifikasi secara sederhana dapat dijelaskan sebagai proses pembakaran bertahap. Hal ini dilakukan dengan membakar bahan bakar padat dengan ketersediaan oksigen yang terbatas sehingga gas yang terbentuk dari hasil pembakaran masih memiliki potensi untuk terbakar. Bahan bakar gasifikasi dapat berupa material padatan berkarbon yang merupakan senyawa organik. Semua senyawa organik mengandung atom karbon, hidrogen, dan oksigen dalam wujud molekul kompleks yang bervariasi. Gasifikasi itu sendiri memiliki tujuan untuk memutuskan ikatan dari molekul kompleks tersebut menjadi gas sederhana mampu bakar yaitu H_2 dan CO . Kedua gas tersebut mudah terbakar dan memiliki kerapatan energi dan densitas yang tinggi. Keduanya merupakan gas yang sangat bersih dimana hanya memerlukan satu atom oksigen untuk dibakar menghasilkan karbon dioksida dan air. Hal inilah yang menyebabkan gasifikasi memiliki emisi yang relatif bersih karena tujuan dari gasifikasi adalah untuk mengendalikan proses termal secara terpisah yang biasanya tercampur dalam proses pembakaran sederhana dan diatur untuk menghasilkan produk yang diinginkan.

Gasifikasi terdiri dari empat tahapan terpisah yang terdiri dari proses pengeringan, pirolisis, oksidasi/pembakaran, dan reduksi. Keempat tahapan ini terjadi secara alamiah dalam suatu proses pembakaran. Dalam gasifikasi, keempat tahapan ini dilalui secara terpisah sedemikian hingga dapat menginterupsi api dan mempertahankan gas mampu bakar tersebut dalam bentuk gas dan mengalirkan *syngas* tersebut ke tempat lain. Proses zonafikasi tersebut terjadi pada rentang

temperatur yang berbeda dan menjadi karakteristik dari masing-masing daerah tersebut. Proses pengeringan terjadi pada temperatur kurang dari 150°C , proses pirolisis terjadi pada temperatur antara 150°C sampai 300°C , daerah reduksi terjadi pada temperatur antara 500°C sampai 1000°C , sedangkan daerah oksidasi terjadi pada temperatur antara 700°C sampai 1500°C . Proses pengeringan, pirolisis, dan reduksi bersifat menyerap panas (endotermik) sedangkan proses oksidasi bersifat melepas panas (eksotermik).



Gambar 2.6 4 Tahapan pada proses gasifikasi
(sumber: www.sasak.org)

1. Proses Pengeringan (*Drying*)

Reaksi ini terletak pada bagian atas reaktor dan merupakan zona dengan temperatur paling rendah di dalam reaktor yaitu di bawah 150°C . Proses pengeringan ini sangat penting dilakukan agar pengapian pada burner dapat terjadi lebih cepat dan lebih stabil. Pada reaksi ini, bahan bakar yang mengandung air akan dihilangkan dengan cara diuapkan dan dibutuhkan energi sekitar 2260 kJ untuk melakukan proses tersebut sehingga cukup menyita waktu operasi.

2. Proses Pirolisis

Pada pirolisis, pemisahan *volatile matters* (uap air, cairan organik, dan gas yang tidak terkondensasi) dari padatan karbon bahan bakar menggunakan panas yang diserap dari proses oksidasi sehingga pirolisis (devolatilisasi) disebut juga gasifikasi parsial. Suatu rangkaian proses fisik dan kimia terjadi selama proses pirolisis. Komposisi produk yang tersusun merupakan fungsi dari temperatur, tekanan, dan komposisi gas selama proses pirolisis berlangsung. Produk cair yang menguap akibat dari fenomena penguapan komponen yang tidak stabil secara termal mengandung tar dan *polyaromatic hydrocarbon*. Produk pirolisis terdiri atas gas ringan, tar, dan arang.

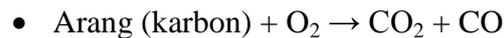
Pirolisis adalah proses pemecahan struktur bahan bakar dengan menggunakan sedikit oksigen melalui pemanasan menjadi gas. Proses pirolisis pada bahan bakar kayu terbentuk pada temperatur antara 150 °C sampai 300 °C di dalam reaktor. Proses pirolisis menghasilkan produk berupa arang atau karbon, tar, gas (CO₂, H₂O, CO, C₂H₂, C₂H₄, C₂H₆, dan C₆H₆). Ketika temperatur pada zona pirolisis rendah, maka akan dihasilkan banyak arang dan sedikit cairan (air, hidrokarbon, dan tar). Sebaliknya, apabila temperatur pirolisis tinggi maka arang yang dihasilkan sedikit tetapi banyak mengandung cairan. Untuk mendapatkan produk dari reaksi pirolisis terdapat berbagai cara, yaitu :

- Untuk mendapatkan cairan yang banyak, maka harus dilakukan pemanasan yang sedang (450 °C -600 °C) dengan gas yang rendah pada waktu residen
- Untuk mendapatkan gas yang efektif maka pemanasan dilakukan pada temperatur rendah (700 °C-900 °C) dengan gas yang tinggi pada waktu residen

3. Proses Reduksi

Reduksi melibatkan suatu rangkaian reaksi endotermik yang disokong oleh panas yang diproduksi dari reaksi pembakaran. Reaksi reduksi terjadi

antara temperatur 500 °C sampai 1000 °C. Pada reaksi ini, arang yang dihasilkan melalui reaksi pirolisis tidak sepenuhnya karbon tetapi juga mengandung hidrokarbon yang terdiri dari hidrogen dan oksigen. Untuk itu, agar dihasilkan gas mampu bakar seperti hidrogen dan karbon monoksida, maka arang tersebut harus direaksikan dengan air dan karbon dioksida. Proses stoikiometri reaksi tersebut adalah sebagai berikut :



dan

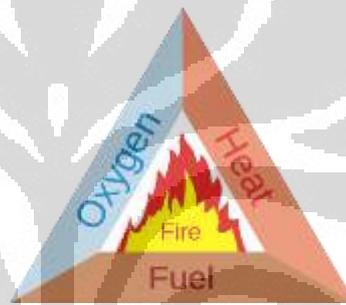


4. Proses Oksidasi (Pembakaran)

Proses pembakaran mengoksidasi kandungan karbon dan hidrogen yang terdapat dalam bahan bakar dengan reaksi eksotermik, sedangkan gasifikasi mereduksi hasil pembakaran menjadi gas bakar dengan reaksi endotermik. Oksidasi merupakan reaksi terpenting di dalam reaktor gasifikasi karena reaksi ini menyediakan seluruh energi panas yang dibutuhkan pada reaksi endotermik. Oksigen yang dipasok ke dalam reaktor bereaksi dengan substansi yang mudah terbakar yang menghasilkan produk berupa CO₂ dan H₂O yang secara berurutan direduksi ketika kontak dengan arang yang diproduksi pada proses pirolisis. Produk lain yang dihasilkan dalam reaksi oksidasi berupa air, panas, cahaya, N₂ dan gas lainnya (SO₂, CO, NO₂, dan lain-lain).

Untuk melakukan reaksi pembakaran, terdapat tiga elemen penting yang saling mengisi satu sama lain yaitu panas (*heat*), bahan bakar (*fuel*), dan udara. Reaksi pembakaran sangat berkaitan dengan keberadaan ketiga elemen tersebut. Hal ini dapat diartikan bahwa apabila salah satu dari ketiga elemen tersebut tidak ada, maka hampir dapat dipastikan tidak akan terjadi proses pembakaran. Bahan bakar merupakan elemen sensitif apabila direaksikan dengan oksigen dan dapat menghasilkan energi panas dan cahaya. Sedangkan

udara merupakan elemen pereaksi yang terdapat bebas di lingkungan. Di dalam udara tidak hanya terkandung oksigen tetapi juga nitrogen yang mampu menyerap panas ketika terjadi proses pembakaran. Nitrogen dianggap sebagai racun udara apabila terikat dengan oksigen dan juga sebagai pengencer penurun temperatur yang harus ada untuk mencapai oksigen yang dibutuhkan dalam proses pembakaran. Nitrogen juga berpengaruh terhadap terbentuknya cairan pada gas buang dari reaksi pembakaran sehingga dapat menurunkan efisiensi pembakaran. Selain itu, panas adalah salah satu hasil dan tujuan reaksi pembakaran. Energi yang dibutuhkan untuk menciptakan panas tidak selalu sama dan tergantung dengan kondisi lingkungan, sifat bahan bakar, dan juga elemen penyusun bahan bakar.



Gambar 2.7 Segitiga api

2.2 Biomassa

Biomassa adalah bahan bakar yang dapat diperbaharui dan secara umum berasal dari makhluk hidup (non-fosil) yang didalamnya tersimpan energi atau dalam definisi lain, biomassa merupakan keseluruhan materi yang berasal dari makhluk hidup, termasuk bahan organik yang hidup maupun yang mati, baik di atas permukaan tanah maupun yang ada di bawah permukaan tanah. Biomassa merupakan produk fotosintesa dimana energi yang diserap digunakan untuk mengkonversi karbon dioksida dengan air menjadi senyawa karbon, hidrogen, dan oksigen.

Teknologi biomassa telah diterapkan sejak zaman dahulu dan telah mengalami banyak perkembangan. Biomassa memegang peran penting dalam

menyelamatkan kelangsungan energi di bumi ditinjau dari pengaruhnya terhadap kelestarian lingkungan. Sifat biomassa yang merupakan energi dengan kategori sumber energi terbarukan mendorong penggunaannya menuju ke skala yang lebih besar lagi sehingga manusia tidak hanya tergantung dengan energi fosil. Biomassa memiliki kelebihan yang memberi pandangan positif terhadap keberadaan energi ini sebagai alternatif energi pengganti energi fosil. Beberapa kelebihan itu antara lain, biomassa dapat mengurangi efek rumah kaca, mengurangi limbah organik, melindungi kebersihan air dan tanah, mengurangi polusi udara, dan mengurangi adanya hujan asam dan kabut asam.

Biomassa tidak selalu berupa padatan tetapi termasuk di dalamnya gas dan cairan yang berasal dari reaksi dekomposisi alam. Beberapa sumber biomassa yang dikenal antara lain adalah :

- Agrikultural : ampas padi, batang jagung, kulit kacang, dan gandum kering
- Hutan : ranting pohon, kulit kayu, ampas gergaji, dan daun kering
- *Municipal* : sampah organik dan kotoran manusia
- Energi : kelapa sawit, kacang kedelai, dan alga
- Biologikal : kotoran hewan dan hasil pembusukan makhluk hidup

2.2.1 Kayu Karet

Biomassa sebagai salah satu opsi dalam mengatasi krisis energi yang terus meningkat dari tahun ke tahun memiliki banyak pilihan dalam mengembangkan sumber daya yang efektif untuk suatu negara, disesuaikan dengan potensi yang dimiliki negara tersebut untuk memenuhi kebutuhan energinya sendiri hingga terwujud kemandirian energi yang hakiki. Hal ini yang menjadi nilai tambah karena setiap negara memiliki potensi masing-masing sehingga dalam pengembangan energi terbarukan, tidak harus tergantung dari pengaruh negara lain dalam penanganan masalah energinya tetapi dapat melihat ke masing-masing

daerah untuk mengetahui sumber daya yang mungkin untuk dikembangkan untuk negara tersebut.

Kayu karet yang dalam dunia internasional disebut dengan sebutan *rubber wood*, merupakan tanaman asli dari daerah Amazon, Brasil yang pada awalnya dikembangkan di India pada akhir abad ke-18 namun tidak berhasil dan setelah itu dibawa hingga ke Asia Tenggara dan masuk ke Indonesia. Kayu karet dibudidayakan dengan tujuan utama untuk mendapatkan getah karet sebagai bahan utama karet hingga kini. Pohon karet dapat tumbuh hingga ketinggian 30 meter dan akan memproduksi getah karet setelah 5-6 tahun. Setelah 25 tahun, pohon karet akan ditebang dan digantikan pohon yang baru karena sudah tidak lagi menghasilkan *lateks* (getah karet). Hal inilah yang menjadikan pemanfaatan pohon karet berpotensi untuk dikembangkan sebagai produk biomassa karena selama ini pemanfaatannya terbatas hanya pada industri kerajinan dan furnitur. Secara tekniskayu karet tergolong kayu yang lunak-keras dan lumayan berat dengan densitas antara 435-625 kg/m³ pada level 12 % *moisture content* pada kayu. Setelah melalui proses pengeringan, penyusutan kayu sangat kecil dengan angka rata-rata di bawah 2% pada arah radialnya. Kayu karet berwarna putih kekuningan dan akan berubah sedikit kecoklatan apabila telah mulai mengering.

Pada pengujian yang dilakukan oleh BPPT menggunakan analisis *proximate* dan *ultimate* didapat data sebagai berikut :

Tabel 2.3 Data pengujian spesimen kayu karet berdasarkan analisis *proximate* dan *ultimate* oleh BPPT, Tangerang

Proximate Analysis	Result (%)	Standard method
Volatile matter	71,81	<i>ASTM D-3175</i>
Fixed carbon	15,25	<i>By difference</i>
Calorific value	Result	Standard method

Cal/gram	4069	<i>ASTM D 5865</i>
Density	Result	Standard method
Gram/cm ³	0.64	<i>ASTM D 167</i>
Ultimate analysis	Result (%)	Standard method
Moisture	10,24	<i>ASTM D-3173</i>
Ash	2,71	<i>ASTM D-3174</i>
Carbon	43,33	<i>ASTM D-5373</i>
Hydrogen	5.11	<i>ASTM D-5373</i>
Nitrogen	0,0	<i>ASTM D-5373</i>
Oxygen	38,61	<i>By difference</i>

Dimana analisis *proximate* merupakan sebuah metode pengujian bahan untuk melakukan analisis terhadap kandungan *fixed carbon*, bahan bakar yang menguap, kadar air, dan persen abu yang berguna untuk perancangan *grate* tungku, volume pembakaran, peralatan kendali polusi, dan sistem *handling* abu pada tungku berdasarkan dari hasil uji dan analisis kadar abu. Sementara *fixed carbon* adalah bahan bakar padat yang tertinggal dalam pembakaran setelah bahan yang mudah menguap didistilasi yang penting untuk memperhitungkan perkiraan nilai kasar dari nilai panas bahan bakar. Analisis yang kedua adalah analisis *ultimate* yang merupakan metode analisa bahan dimana seluruh komponen bahan baik padatan maupun gas diperhitungkan dan analisisnya berguna untuk mendapatkan kandungan kimia pada bahan uji. Analisa tersebut berguna untuk menentukan jumlah udara yang dibutuhkan saat pembakaran, serta volume dan komposisi gas bakar. Untuk melakukan kedua analisis tersebut

diperlukan kelengkapan alat laboratorium pengujian dan juga tenaga ahli yang terampil.

Kayu yang memiliki densitas yang tinggi akan memiliki rendemen yang tinggi pada arangnya, serta kadar karbon terikat yang banyak, dan tingkat kekerasan kayu berbanding terbalik dengan kadar airnya (Syachri dan Hartoyo, 1976). Berdasarkan data tersebut, kayu karet memiliki densitas $0,64 \text{ g/cm}^3$ yang artinya kayu karet termasuk dalam kelas III (0,6-0,75) dan artinya baik dalam pemanfaatan energi biomassa (Oey Djoen Seng, 1951).

2.3 Tar

Tar merupakan campuran hidrokarbon kompleks yang terkondensasi. Tar adalah produk sampingan hasil dari proses gasifikasi. Pada gasifier jenis updraft tingkat kandungan tar relatif tinggi. Hal ini sudah di jelaskan di atas. Tar yang dihasilkan oleh updraft bersifat primari. Secara visual tar dapat kita lihat berwarna hitam pekat dan kental. Kandungan tar primer adalah:

Tabel 2.4. Tabel Kandungan Tar
(sumber : Prabir Basu. Biomass Gasification and Pyrolysis Practical Design and Theory)

Component	Weight (%)
Benzene	37.9
Toluene	14.3
Other 1-ring aromatic hydrocarbons	13.9
Naphthalene	9.6
Other 2-ring aromatic hydrocarbons	7.8
3-ring aromatic hydrocarbons	3.6
4-ring aromatic hydrocarbons	0.8
Phenolic compounds	4.6
Heterocyclic compounds	6.5
Others	1.0

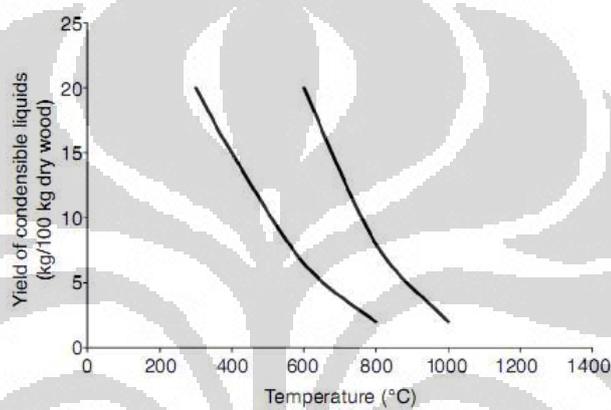
2.3.1 Proses Pembentukan Tar

Tar terbentuk pada zona pirolisis dan hasil produk sampingan dari proses gasifikasi. Proses pembentuka secara kumia dapat di definisikan:

$$C_n H_m O_p (\text{biomass}) + \text{panas} \\ = \sum C_x H_y O_z_{\text{tar}} + \sum C_a H_b O_c_{\text{gas}} + H_2O + C(\text{arang})$$

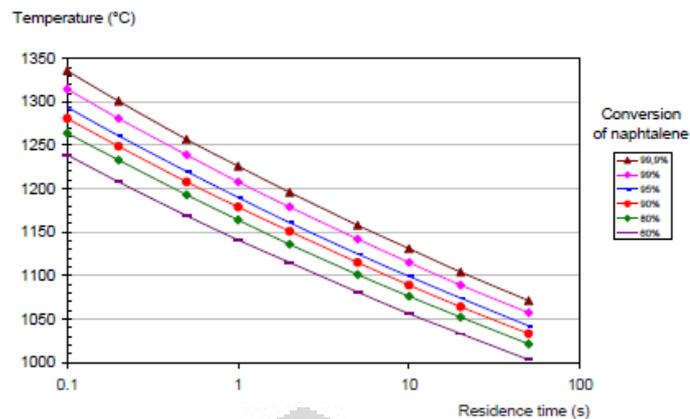
Proses pembentukan tar bergantung pada dua faktor. Faktor-faktor tersebut adalah faktor temperatur, dan tinggi reaktor.

Saat temperatur rendah (dibawah 500°C), produksi tar awalnya meningkat, lalu kemudian menurun seiring dengan semakin tingginya temperatur. Dengan begitu dapat disimpulkan bahwa semakin tinggi temperatur, produksi tar akan semakin menurun. Hal ini dikarenakan pada temperature tinggi, tar akan mengalami proses cracking. Proses cracking adalah proses dimana tar berubah menjadi gas seperti O_2 , CO , CO_2 , dan H_2O . Hal tersebut dapat terlihat pada gambar 2.



Gambar 2.8 Grafik Perbandingan Temperatur Dengan Massa Tar
(sumber : Prabir Basu, Biomass Gasification and Pyrolysis Practical Design and Theory)

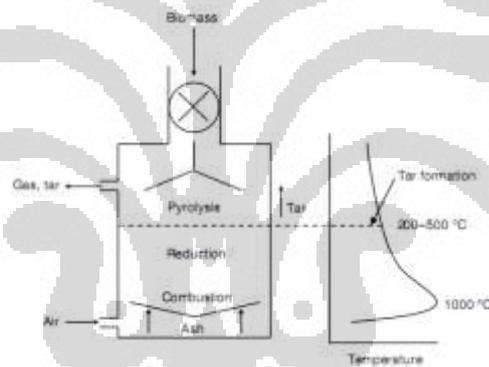
Pengaruh tinggi reaktor terhadap produksi tar berhubungan dengan residence time. Semakin lama gas berada di dalam reaktor, semakin banyak pula tar yang mengalami proses cracking dalam temperatur yang sama. Dengan semakin besarnya residence time, semakin rendah pula temperatur yang dibutuhkan untuk membuat tar mengalami proses cracking. Residence time dari gas dapat ditingkatkan dengan memperbesar reaktor atau menambah tinggi reaktor. Hal ini dapat dilihat pada gambar 2.



Gambar 2.9 Grafik Pengaruh Residence Time dan Temperatur

(sumber : Vreugdenhil, BJ and RWR Zwart, Tar Formation in Pyrolysis and Gasification)

Hal ini sangat berbeda dengan downdraft. Pada downdraft gas hasil pengeringan akan di tarik kebawah, sehingga tar mengalami pemanasan kembali yang mengakibatkan temperatur tar meningkat sehingga massa tar berkurang



Gambar 2.10 Gambar Zona Temperatur Terbentuknya Tar

(sumber : Prabir Basu. Biomass Gasification and Pyrolysis Practical Design and Theory)

Laju reaksi yang terjadi di dalam reaktor dalam reaksi gasifikasi didasarkan pada reaksi :

$$r = \frac{\delta C_{tar\ compound}}{\delta t} = k(T) \cdot (C_{tar\ compound})^m \cdot (C_{CO_2})^n \cdot (C_{H_2O})^o \cdot (C_{H_2})^p \quad (2.1)$$

Dimana, r adalah laju reaksi, C adalah konsentrasi, t adalah waktu, k(T) adalah konstanta laju reaksi dan m,n,o, dan p adalah orde laju reaksi untuk konsentrasi

tar, CO₂, H₂O and H₂. Konstanta laju reaksi mengacu pada persamaan Arrhenius. Persamaan tersebut adalah:

$$k(T) = k_0 \cdot \exp\left(\frac{-E_a}{R \cdot T}\right) \quad (2.2)$$

Dalam proses pembentukan tar, terjadi reaksi heterogen. Reaksi heterogen adalah reaksi yang melibatkan dua fase yang berbeda, dalam hal ini fase gas dan fase padat. Proses pembentukan tar terjadi pada reaksi Pyrolisis. Reaksi tersebut adalah :



Laju dari reaksi pyrolysis diatas adalah :

$$r_2 = \left((1,516 \times 10^7 \exp\left(-\frac{75549}{T}\right)) \right) \rho_{\text{wood}} \text{ kg/m}^3\text{s} \quad (2.3)$$

Dalam proses dekomposisi tar (tar cracking), terjadi proses homogeny. Proses homogen adalah proses yang melibatkan satu fase saja, dalam hal ini hanya fase gas. Proses dekomposisi tar (tar cracking) mengacu pada reaksi :



Laju dari reaksi proses dekomposisi tar adalah :

$$r_{10} = (4,28 \times 10^6 [\text{s}^{-1}] \exp\left(-\frac{12919}{T}\right)) \rho_{\text{tar}} \text{ kg/m}^3\text{s} \quad (2.4)$$

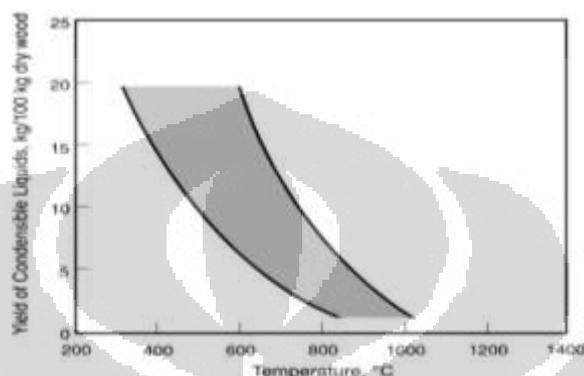
2.3.2. Jenis Tar *Updraft*

Tabel 2.5 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 2.5, 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 g/Nm³. Sedangkan untuk konsentrasi tar tertinggi ada pada gasifier tipe updraft yaitu 50 g/Nm³.



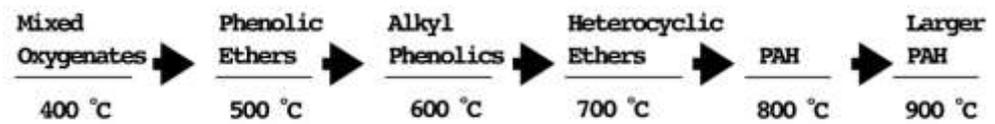
Gambar 2.11 Konsentrasi Tar Terhadap Kenaikan Temperatur

(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°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 seperti yang ditunjukkan pada gambar 2.11. Berikut pengelompokan tar berdasarkan temperatur dan jenis-jenis tar yang dikandung dalam kelompok tersebut :

- **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)

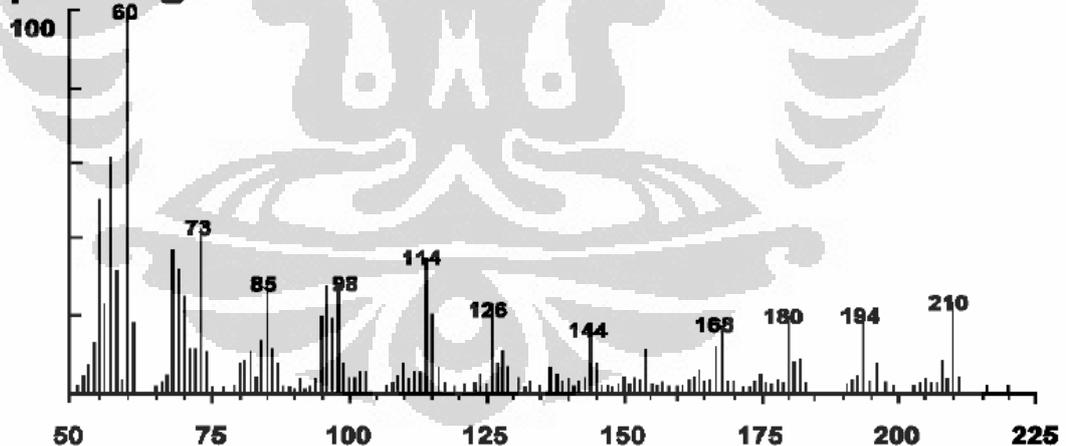


Gambar 2.12 Jenis Tar Terhadap Perubahan Temperatur

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

Pada reaktor jenis updraft tar yang terbentuk adalah murni tar primari atau tar yang terbentuk dengan range temperatur 200-500 °C. Pada gambar 2. terlihat kandungan tar pada updraft gasifier terdiri dari produk primer dari lignin (m/z 168, 180, 194, 219) dan hidrokarbon (m/z 60, 73, 85, 98, 114, 126, 144). m/z adalah berat molar dari zat tersebut.

Updraft gasifier



Gambar 2.13 Grafik Jenis Tar *Updraft*

(sumber : Fjellerup, Jan et al, Formation, Decomposition, and Cracking of Biomass Tars in Gasification DTU Denmark 2005)

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.

2.4 Pengukuran Tar

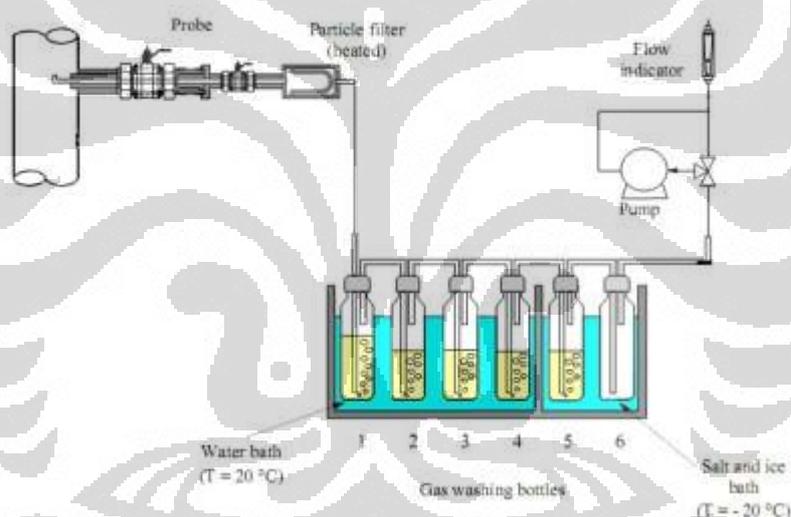
Pengukuran tar dimaksudkan untuk mengetahui massa tar per satuan volume gas dan jenis tar yang dihasilkan oleh suatu gasifier. Banyak metode untuk mengetahui kadar atau konsentrasi tar pada gas producer, seperti contohnya metode SPA, dan metode Guidline.

Metode SPA dikembangkan oleh KTH di Swedia untuk mengukur kandungan tar yang terdiri mulai dari Benzena sampai Coronene. *Heavy Tar* tidak dapat diukur dengan metode ini. Pada metode ini, tar didapatkan dari koleksi kolom yang mengandung sedikit *amino phased sorbent*. Untuk stiap sampel, 100 ml gas ditarik dari sampling line menggunakan syringe didalam septum. Temperatur sampel dijaga agar tetap 350°C agar tar tidak terkondensasi. Kemudian, hasil tar didapat dengan menggunakan GC.

Metode Guidline merupakan metode standar pengukuran tar yang diakui secara internasional. Modul metode ini terdiri dari heated probe, particle filter, condenser, dan sejumlah tabung impinger berisi *solvent* yang berguna untuk melarutkan tar. Tabung tersebut ditempatkan didalam box kondensasi hangat (20°C) dan dingin (-20°C) sehingga gas sampel dapat didinginkan secara bertahap. Modul penangkap tar dapat dilihat pada gambar 2.14. Metode Guidline terdiri dari dua jenis, yaitu metode isokinetik dan non-isokinetik.

Dari metode untuk mengukur konsentrasi tar diatas, diputuskan 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*)

jenis isokinetik standar dan mempunyai range ukur yang besar yaitu 1 mg/m^3 - 300 g/m^3 satuan volume gas produser. Hal ini dikarenakan, tar yang akan diukur adalah tar primary yang terkandung dalam gas dengan konsentrasi yang tinggi. Dengan begitu metode spektometri massa tidak dapat dilakukan karena partikel tar primer sangat besar sehingga tidak dapat terdeteksi alat spektometri massa. Selain itu, temperatur gas yang dihasilkan oleh gasifier ini berada pada range 100 - 150°C sehingga tar yang terkandung didalamnya harus disampling menggunakan metode isokinetik, sebab pada jenis non isokinetik, dibutuhkan temperatur lebih dari 350°C . Selain itu, alat-alat yang digunakan oleh metode ini cukup mudah didapat. Pada metode ini ada beberapa hal penting dalam proses pengukuran tar, yaitu isokinetik *sampling*, *tar collector module*, *volume sampling module*.



Gambar 2.14 Skematika Alat Pengukur Tar

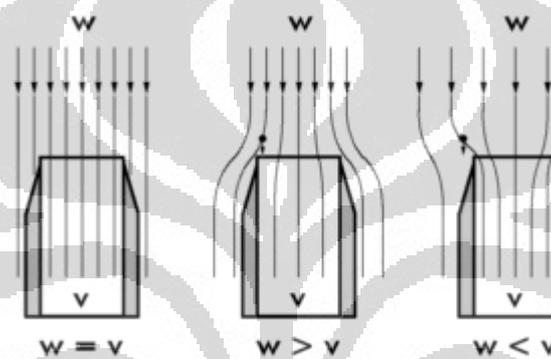
(Sumber: J.P.A. Neeft, H.A.M. Knoef, U. etc *Guideline for Sampling and Analysis of Tar and Particles in Biomass Producer Gases* Version 3.3)

2.4.1 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. Untuk suhu tinggi ($> 350^{\circ}\text{C}$) sampling, di mana tar benar-benar dalam fasa gas, non-isokinetic sampling cukup untuk mengukur tar.

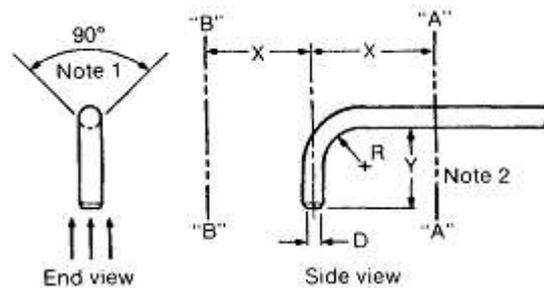
Metode isokinetic sampling cocok untuk digunakan untuk memisahkan kandungan organik yang terbentuk pada proses gasifikasi dari bahan bakar solid kedalam *solvent*. Gas untuk sampel mungkin mengandung bahan solid atau uap air selain komponen gas. Untuk melakukan sampling dengan metode ini, temperature gas keluaran harus mencapai $50\text{-}350^{\circ}\text{C}$.



Gambar 2.15 Ilustrasi Isokinetic dan Non-Isokinetic

(Sumber : Equal velocity in sampletaking of a gas for dust measurement. Isokinetic sample.Glossary. Sigrist-Photometer AG, CH-6373 Ennetbürgen Germany)

Agar diperoleh isokinetic 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 2.16 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 2.16 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^[6]:

$$Dn^2 = \frac{V \sqrt{\frac{Ms(T+273)}{Ps}}}{(5.9195 \times 10^{-4}) \times Cp \times \Phi (1 - Bwo) \times \sqrt{\Delta P}} \quad (2.5)$$

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 ($^{\circ}C$)

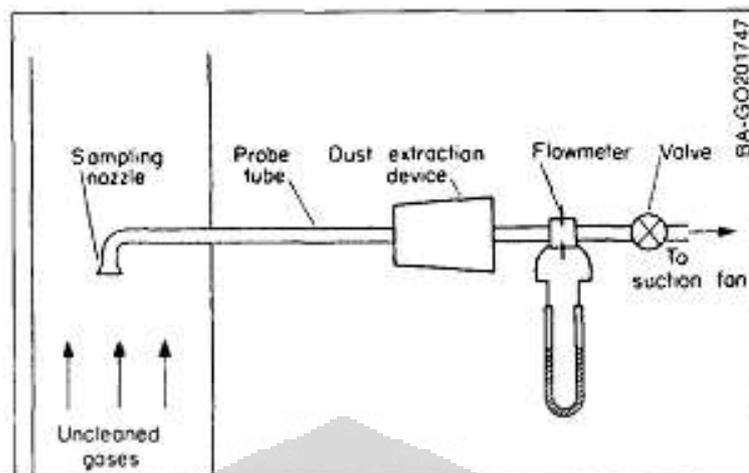
Ps = Tekanan pada pipa utama (mmHg)

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 2.17 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 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.

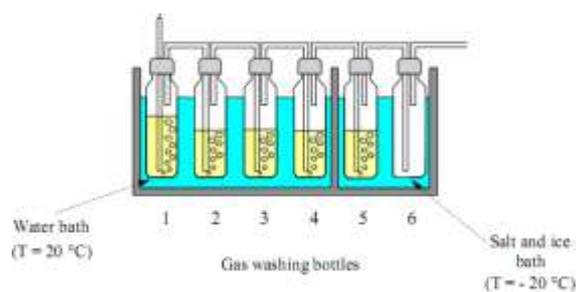
2.4.2 Modul Penangkap Tar

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

2.4.2.1. 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.

2.4.2.2. Box Kodensasi



Gambar 2.18. Ilustrasi Box Kondensasi

(Sumber : Lee. Do. W.; Jensen. Craig. M. *Dry-Ice Bath Based on Ethylene Glycol Mixtures*, *J. Chem. Ed.* 2000, Vol. 77, No. 5, pp 629)

Box kondensasi digunakan untuk menurunkan temperatur didalam botol agar terjadi pengembunan terhadap gas sampling. Pada box pertama diisi dengan air dengan temperatur 20 °C dan box kedua diisi cairan *cooling bath* agar temperatur box -20 °C.

2 °C	Formamide/ dry ice
0 °C	Crushed Ice
-5 -> -20 °C	Ice/Salt
-10.5 °C	Ethylene Glycol/ dry ice
-12 °C	Cycloheptane/ dry ice
-15 °C	Benzyl alcohol/ dry ice
-22 °C	Tetrachloroethylene/ dry ice
-22.8 °C	Carbon Tetrachloride/ dry ice
-25 °C	1,3-Dichlorobenzene/ dry ice
-29 °C	o-Xylene/ dry ice
-32 °C	m-Toluidine/ dry ice

Gambar 2.19 List Komparasi *Cooling Bath*

(Sumber : Lee. Do. W.; Jensen. Craig. M. *Dry-Ice Bath Based on Ethylene Glycol Mixtures*, *J. Chem. Ed.* 2000, Vol. 77, No. 5, pp 629)

Berdasarkan nilai ekonomi dipilih menggunakan es batu dan garam karena lebih murah didapat dan terjangkau.

2.4.2.3. Solvent

Solvent atau pelarut, *solvent* dimasukan ke dalam tabung tujuannya untuk mengendapkan partikel gas. 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.

- Jika menggunakan *solvent* dengan titik uap medium (seperti isopropanol), *solvent* dapat melakukan proses liquid quench pada gas yang dihasilkan gasifier
- Jika menggunakan *solvent* dengan titik uap rendah (Acetone), Tabung pertama tidak dapat diisi *solvent* karena *solvent* akan menguap saat mengenai gas hasil gasifikasi, akibatnya, gas harus dilewatkan melalui condenser terlebih dahulu sebelum diabsorpsi *solvent*
- Jika menggunakan *non-polar solvent* (Iso-octane), akan terdapat es yang terbentuk pada ujung dari impinger, atau akan terbentuk emulsi dari campuran gas dengan *solvent* tersebut.

Dilihat dari sifat dan *properties solvent* maka pemilihan *solvent* yang digunakan adalah isopropanol. [properties bisa dilihat di lampiran]

2.4.3 Waktu Pengambilan Gas Sampling

Dalam *Guideline for Sampling and Analysis of Tar and Particles in Biomass Producer Gases*. Pengambilan gas sampling untuk laju aliran 2 lpm adalah 50 menit.

2.4.4 Prinsip Kerja Pengambilan Gas Sampling

Prinsip kerja dari metode isokinetic sampling ini adalah :

- Gas dari nozzle dihisap oleh pompa vakum dengan flowrate 2 lpm. Gas yang dihisap melalui nozzle tersebut dilewatkan pada heater agar tar yang terkandung dalam gas tidak terkondensasi. Suhu heater di-set pada temperature 100-125°C. Hal ini dimaksudkan untuk mencegah tar terdekomposisi secara thermal.
- Kemudian, gas dilewatkan kepada tabung impinger 1 yang berfungsi sebagai moisture collector. Pada moisture collector, air dan tar dikondensasikan dari gas hasil proses gasifikasi dengan cara diserap oleh

solvent isopropanol pada suhu 20°C. Proses ini disebut juga sebagai *cold trap*.

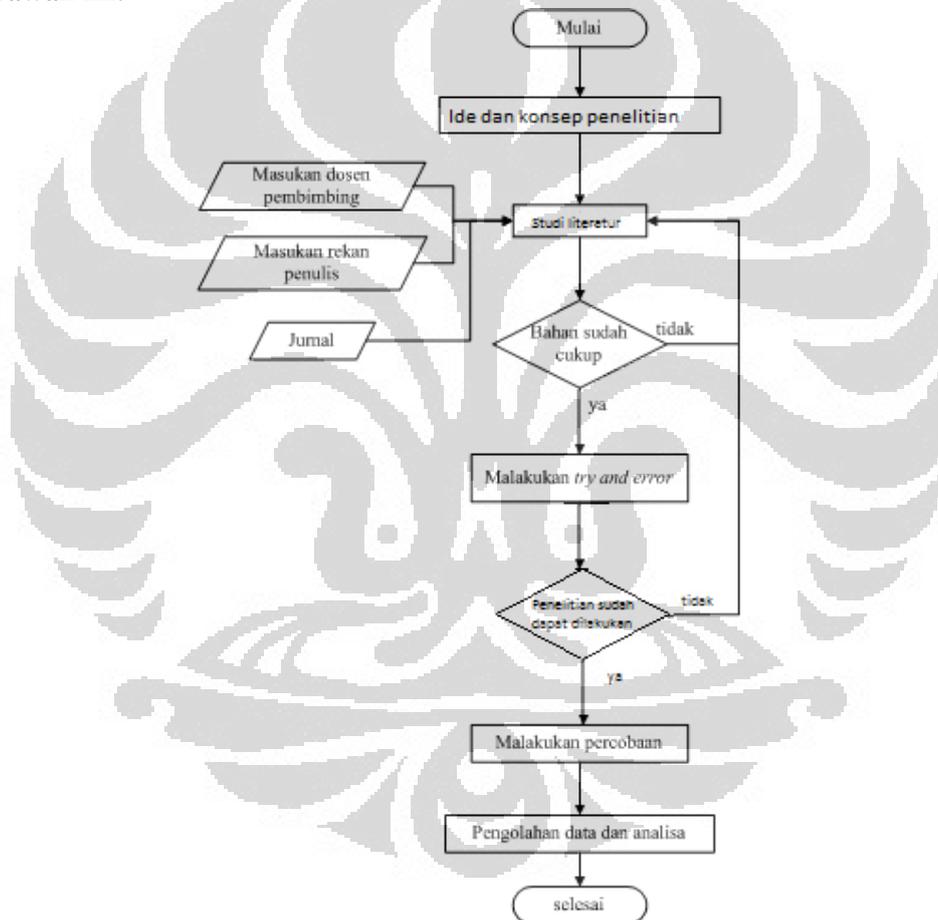
- Dari moisture collector, sisa gas kembali diteruskan menuju 5 tabung impinge lain. Pada tabung impinge ini dilakukan cold trapped agar semua tar yang terkandung dalam gas hasil gasifikasi dapat ditangkap
- Setelah tabung impinger, ditempatkan sebuah tabung berisi kapas sebagai *Back up VOC Sampler*. Hal ini dimaksudkan sebagai pelindung bagi *metering device* dan pompa vakum dari tar yang tidak sengaja terlewat dari sistem.



BAB 3

METODE PENELITIAN

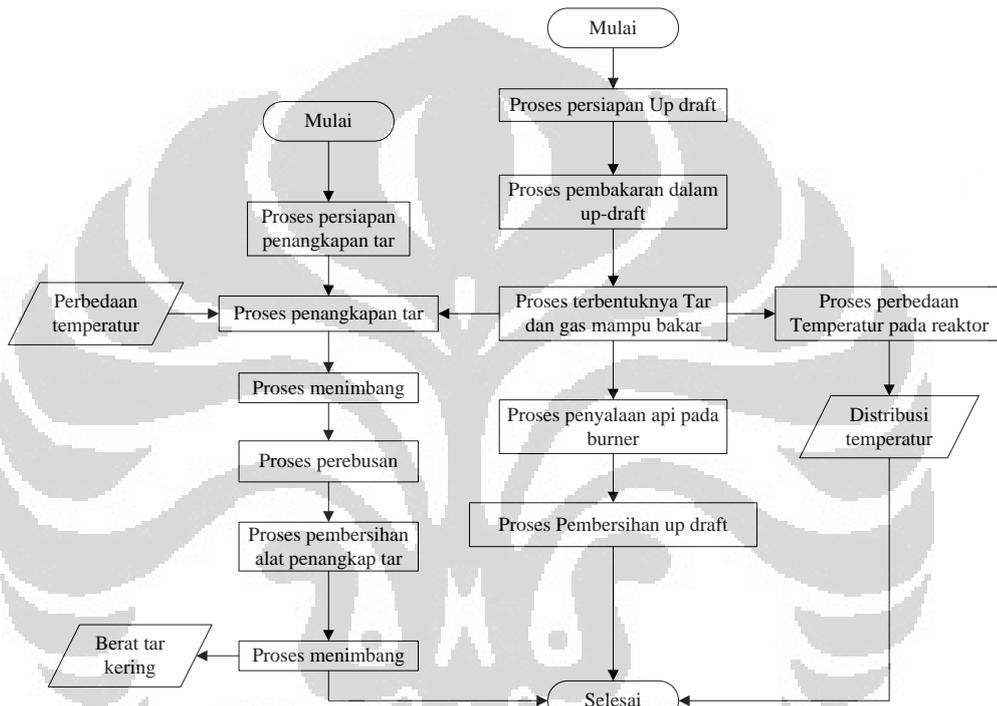
Sebelum dan selama pengujian serta penelitian dilakukan, penulis mendapatkan bimbingan terlebih dahulu dari dosen pembimbing, melakukan tukar pikiran dengan rekan serta studi literatur agar diperoleh data pengujian yang baik. Secara garis besar proses penelitian yang dilakukan penulis seperti diagram alur di bawah ini.



Gambar 3.1. Diagram alur penelitian

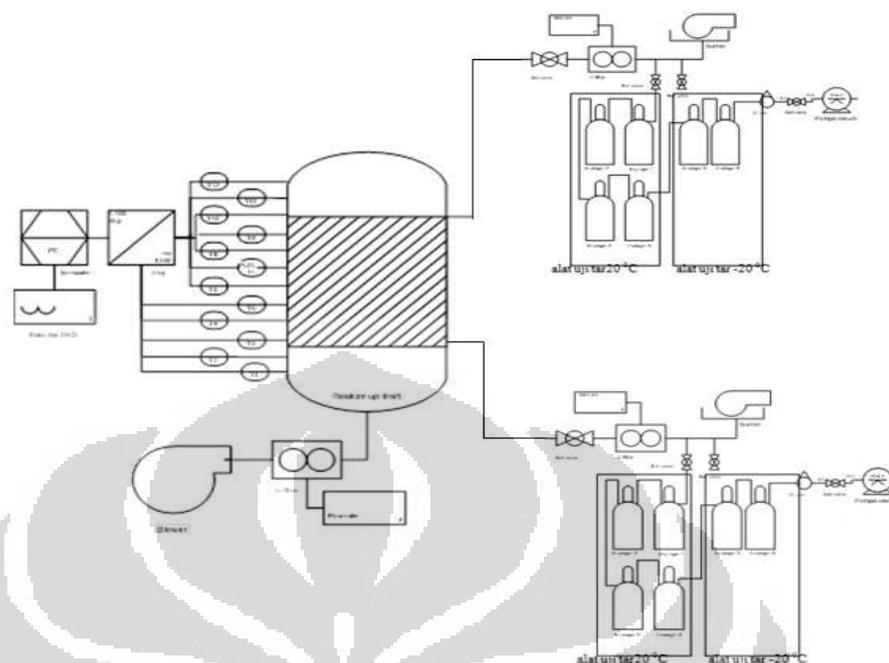
3.1 Garis Besar Pengujian

Proses pengujian gasifikasi *updraft* dengan sistem *double outlet* meliputi proses pengujian karakteristik operasional sistem gasifikasi *double gas outlet* dan proses perhitungan kandungan jumlah tar yang terdapat pada *syngas* yang dihasilkan. Garis besar kedua proses pengujian tersebut dapat terlihat pada gambar 3.2 untuk mempermudah pemahaman konsep pengujian yang dilakukan oleh penulis.



Gambar 3.2. Gambar Diagram Alir Proses Pengujian

3.2 Skematik Alat Pengujian



Gambar 3.3 Skematik pengujian

Pengujian dengan menggunakan sistem *double outlet* membuat ada sedikit modifikasi yang dilakukan pada alat gasifikasi *updraft* tersebut. Modifikasi itu meliputi pipa aliran yang tadinya hanya untuk gas keluar di daerah atas, kali ini ditambah lagi satu pipa alir di daerah bawah dimana letak pipa alir di daerah bawah tersebut merupakan daerah yang diyakini sebagai daerah reduksi pada penelitian sebelumnya. Hal ini dimaksudkan untuk mengetahui daerah operasi dan karakteristik sistem *double outlet* dan juga dengan upaya mengurangi kandungan tar yang dihasilkan untuk operasional sistem gasifikasi *double outlet*. Akibat dari hal tersebut, maka *burner* yang digunakan berjumlah dua kali lipat dari sistem konvensional begitu juga alat ukur yang digunakan untuk mengetahui *syngas* daerah keluaran berjumlah dua kali lipat dari pengujian konvensional serta perlu penambahan satu buah termokopel tipe-K untuk mengukur temperatur *syngas* keluar.

Dari sisi pengujian perhitungan jumlah kandungan tar, dalam skematik terlihat bahwa dibutuhkan 2 buah *tar sampling pipe*, 4 buah kotak kondensasi dengan masing-masing 2 yang berisi es dan 2 lagi berisi air, 7 buah tabung

impinger, dan peralatan-peralatan lain sebagai pendukung yang akan disebutkan berikutnya.

3.3 Komponen Peralatan Pengujian Kandungan Tar

Dalam melakukan pengujian kandungan tar untuk mengetahui jumlah tar yang dihasilkan proses gasifikasi tersebut maka diperlukan peralatan seperti berikut :

1. Sampling tar pipe set

Alat ini digunakan sebagai jalur keluaran gas dari dalam reaktor menuju ke burner dan untuk menarik gas sampel hasil proses gasifikasi yang akan diukur jumlah kandungan tar didalamnya. Alat *sampling tar pipe set* ini terdiri atas dua bagian utama, yaitu:

- Pipa utama : diameter dalam 64 mm, panjang pipa 500 mm
- Nozzle : diameter dalam 5 mm



Gambar 3.4 Sampling tar pipe set

2. Selang silikon

Selang silikon ini berfungsi untuk mengalirkan gas sampel yang keluar dari pipa utama ke dalam tabung impinger pertama, antar tabung impinger hingga ke pompa vakum. Selang silikon yang digunakan selama pengujian merupakan selang silikon yang mampu tahan terhadap temperatur tinggi, memiliki diameter dalam 6 mm dan 8 mm yang panjangnya disesuaikan dengan jarak antara pipa utama ke tabung impinger pertama, jarak antar tabung impinger, dan jarak tabung impinger ke pompa vakum.



Gambar 3.5 Selang silikon

3. Tabung impinger

Tabung impinger digunakan sebagai wadah untuk menangkap tar yang terdapat dalam gas sampel. Tabung ini terbuat dari bahan yang tahan terhadap temperatur tinggi, dimana terdapat dua buah selang kaca pada bagian tutupnya, yaitu selang kaca panjang sebagai jalur masuknya gas sampel ke dalam tabung dan selang kaca pendek sebagai jalur keluarnya gas sampel dari tabung impinger tersebut. Dalam tiap batch pengambilan tar digunakan tujuh tabung impinger (5 tabung diisi dengan *solvent* (isopropanol), 1 tabung dibiarkan kosong, dan 1 tabung diisi dengan kapas).



Gambar 3.6 Tabung impinger

4. *Solvent*

Solvent yang digunakan dalam pengujian adalah cairan isopropanol. *Solvent* atau yang disebut dengan pelarut berfungsi sebagai penangkap tar yang terdapat dalam gas sampel.



Gambar 3.7 *Solvent*

5. Kotak kondensasi

Setiap *batch* pengujian digunakan dua buah kotak kondensasi yang berdimensi sama (panjang 400 mm, lebar 225 mm dan tinggi 250 mm) dan telah dimodifikasi. Kotak kondensasi pertama diberikan pembatas untuk tabung impinger dengan menggunakan pipa paralon $\frac{1}{4}$ inch hingga membentuk 6 sekat yang bertujuan agar tabung impinger dalam kotak tersebut tetap berada pada posisinya selama pengujian dilakukan, dimana dalam kotak ini dimasukkan empat buah tabung impinger, kemudian diisi dengan air dan dibuat temperature di dalamnya $\pm 20^{\circ}\text{C}$.

Kotak kondensasi kedua dilapisi dengan selotip alumunium untuk menjaga temperatur dalam kotak tersebut. Di dalam kotak ini akan diletakkan dua buah tabung impinger yang kemudian diisi campuran es batu dan garam hingga temperatur dalam kotak mencapai -20°C .



(a)



(b)

Gambar 3.8 Kotak kondensasi 1(a) dan kotak kondensasi 2 (b)

6. Pompa vakum

Pompa vakum yang digunakan untuk pengujian adalah model VE 115N dengan kapasitas power $\frac{1}{4}$ HP. Pompa ini digunakan untuk menghisap gas sampel dari dalam *sampling tar pipem* melalui nozel yang dihubungkan dengan selang ke tabung impinger.



Type	: 1 stage <i>vacuum pump</i>
Merk & Model	: Value VE115N
Air Displacement	: 2 CFM
Ultimate Vacuum	: 150 micron
Voltage	: 230 V/50-60Hz
Power	: $\frac{1}{4}$ HP
Oil Capaity	: 250 ml

Gambar 3.9 Pompa Vakum

7. Heater

Heater dipasang tepat pada nozel yang terdapat di *sampling tar pipedan* berfungsi untuk memanaskan gas sampel yang diambil agar tar yang terkandung dalam gas tersebut tidak terkondensasi dan menempel pada dinding-dinding nozel dan *ball valve* karena memasuki temperatur yang lebih rendah.



Gambar 3.10 Heater

8. Gelas Ukur

Gelas ukur digunakan untuk mengukur jumlah volume *solvent* yang akan dimasukkan ke dalam tabung impinger. Gelas ukur yang digunakan memiliki range 0 ml hingga 250 ml.



Gambar 3.11 Gelas ukur

3.2.17. Rotameter

Rotameter atau yang disebut juga flowmeter digunakan untuk menjaga aliran gas sampel yang dihisap dari *sampling tar pipedan* sebesar 2 lpm.



Nama : *Rotameter*
 Merk : *Mueller*
 Ketelitian : 1 lpm gas
 Kapasitas : 0.3 - 3 lpm gas
 5-25 lpm gas

Gambar 3.12 Rotameter

9. Termometer digital

Termometer digital digunakan untuk mengukur temperatur pada kotak kondensasi pertama dan kedua. Pada termometer ini terdapat tiga *display*, yaitu untuk mengukur temperatur dalam (disekeliling termometer), mengukur temperatur luar (temperatur ruangan), dan mengukur kelembaban di dalam ruang pengujian.



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 3.13 Termometer digital

10. Timbangan digital

Timbangan digital digunakan untuk mengukur massa tar yang diperoleh dari pengujian yang dilakukan. Timbangan ini memiliki tingkat ketelitian hingga 0.01 gram dan kemampuan baca maksimal hingga 600 gram.



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

Gambar 3.14 Timbangan digital

11. Oven

Oven digunakan untuk menguapkan *solvent* yang digunakan sebagai penangkap tar dari gas sampel yang diambil hingga hanya tersisa tar di dalam tabung impinger.



Gambar 3.15 Oven

12 *Ball Valve*

Ball valve ukuran 1/4 inchi digunakan sebagai pintu keluarnya gas sampel dari pipa utama yang masuk ke dalam tabung impinger melalui selang silikon.



Gambar 3.16 *Ball valve*

3.4 Prosedur Pengujian

3.4.1 Persiapan Awal

Persiapan yang harus menjadi perhatian sebelum eksperimen dilakukan dan menjadi komponen penting untuk menjaga kondisi yang relative konstan antara pengujian satu dengan pengujian yang lain adalah sebagai berikut :

- Memastikan kebersihan dari tabung-tabung impinger dan selang-selang silikon yang akan digunakan.
- Memasukkan 50 ml *solvent* (isopropanol) ke dalam sepuluh tabung impinger untuk setiap *batch* pengujian.
- Memasukkan kapas ke dalam dua tabung impinger untuk setiap *batch* pengujian.
- Memasukkan tabung impinger ke dalam dua kotak kondensasi, yaitu masing-masing 4 buah tabung berisi *solvent* pada kotak kondensasi pertama, satu buah tabung berisi *solvent* dan satu buah tabung kosong pada kotak kondensasi kedua, serta satu buah tabung berisi kapas diletakkan di luar kotak kondensasi kedua yang bertujuan agar tidak ada tar yang terhisap masuk ke dalam pompa vakum.
- Menghubungkan tabung impinger satu dan lainnya dengan menggunakan selang silikon dan memastikan tutup tabung berada pada posisi yang benar, yaitu selang kaca panjang pada posisi jalur masukkan gas sampel ke dalam tabung dan selang kaca pendek pada posisi jalur keluaran gas sampel dari tabung.
- Memasukkan air pada kotak kondensasi pertama dan es batu pada kotak kondensasi kedua.
- Memastikan minyak pompa vakum masih dalam keadaan yang cukup dan pompa vakum dapat berfungsi dengan baik.
- Memasang pipa *heater* pada nozel keluaran gas sampel dan memastikan *heater* dapat berfungsi dengan baik.
- Memasang *ball valve* pada ujung pipa *heater*, lalu memastikannya tidak tersumbat dan berada pada posisi tertutup.

3.4.2 Tahapan Pengujian

Tahapan pengujian gasifikasi *updraft* dengan *double gas outlet* inidilakukan melalui dua metode yaitu metode *single batch* dan metode *double batch*. Prinsip kerja antara kedua metode tersebut sama, yang membedakan hanya apabila pada metode *single batch*, setelah eksperimen selesai maka pengujian diakhiri tetapi pada metode *double batch*, setelah *batch* pertama selesai dilakukan maka eksperimen untuk *batch* kedua dilakukan setelah temperatur pada termokopel pertama yang terletak di bagian paling bawah dari reaktor menunjukkan temperatur yang mendekati temperatur pengambilan tar pada *batch* pertama. Jumlah masukan bahan bakar pada *batch* kedua sama dengan pada *batch* pertama yaitu sebanyak 6 kg untuk tiap *batch* sedangkan apabila pada *batch* pertama didapat pemanasan awal dari proses *pre-heat*, maka pada *batch* kedua pemanasan awal didapat dari sisa bara hasil dari pembakaran *batch* pertama. Proses pengambilan tar dilakukan ketika gas mampu bakar yang keluar dari dalam reaktor sudah stabil, dimana gas tersebut sudah dapat terbakar saat disulut dengan api dan nyala api telah stabil hingga tidak ada lagi gas mampu bakar yang keluar dari dalam reaktor. Prosedur pengujian adalah sebagai berikut :

- Menghubungkan tabung impinger yang berisi kapas ke rotameter, lalu rotameter tersebut dihubungkan ke pompa vakum dengan menggunakan selang silikon. Kemudian peralatan yang telah disiapkan disusun hingga menjadi suatu sistem yang dapat digunakan untuk pengambilan tar.
- Memastikan laju aliran yang terhisap oleh pompa vakum adalah 2 lpm yang terbaca pada rotameter berskala 0.3 lpm – 3.0 lpm.
- Membuat temperatur pada kotak kondensasi pertama menjadi $\pm 20^{\circ}\text{C}$ dengan menambahkan es batu ke dalamnya dan temperatur pada kotak kondensasi kedua menjadi $\pm -20^{\circ}\text{C}$ dengan menambahkan garam ke dalam kotak tersebut.
- Menunggu hingga gas mampu bakar yang dikeluarkan dari dalam reaktor (*gasifier*) telah stabil (dimana temperatur yang terbaca pada termokopel 1 yang terpasang di *gasifier* mencapai $\geq 600^{\circ}\text{C}$).

- Ketika gas tersebut telah stabil, pengambilan tar untuk *batch* 1 dilakukan dengan menyalakan pompa vakum bersamaan dengan dibukanya *ball valve* pada pipa set sehingga gas sampel terhisap ke dalam sistem.
- Proses pengambilan tar dilakukan selama ± 50 menit atau hingga api yang dihasilkan oleh gas produk telah padam.
- Setelah 50 menit, pompa vakum dimatikan bersamaan dengan ditutupnya *ball valve* pada pipa set sehingga tidak ada lagi gas yang terhisap ke dalam sistem.
- Melepas selang silikon yang digunakan pada sistem.
- Menyusun kembali sistem yang telah disiapkan untuk pengambilan tar *batch* 2 dan proses pengambilan tar yang dilakukan sama seperti proses yang dilakukan pada *batch* 1, yaitu dilakukan selama 50 menit dan pada temperatur $\geq 600^{\circ}\text{C}$ pada termokopel 1 yang terpasang di *gasifier*.

3.4.3 Selesai Pengujian

Setelah proses pengambilan tar selesai dilakukan, maka dilakukan proses penimbangan untuk mengetahui berapa banyak kandungan tar yang terdapat dalam gas sampel. Akan tetapi, sebelum proses penimbangan dilakukan, terlebih dahulu dilakukan proses-proses di bawah ini agar diperoleh hasil penimbangan yang lebih akurat dan mempermudah penulis untuk memperoleh hasil akhir, yaitu:

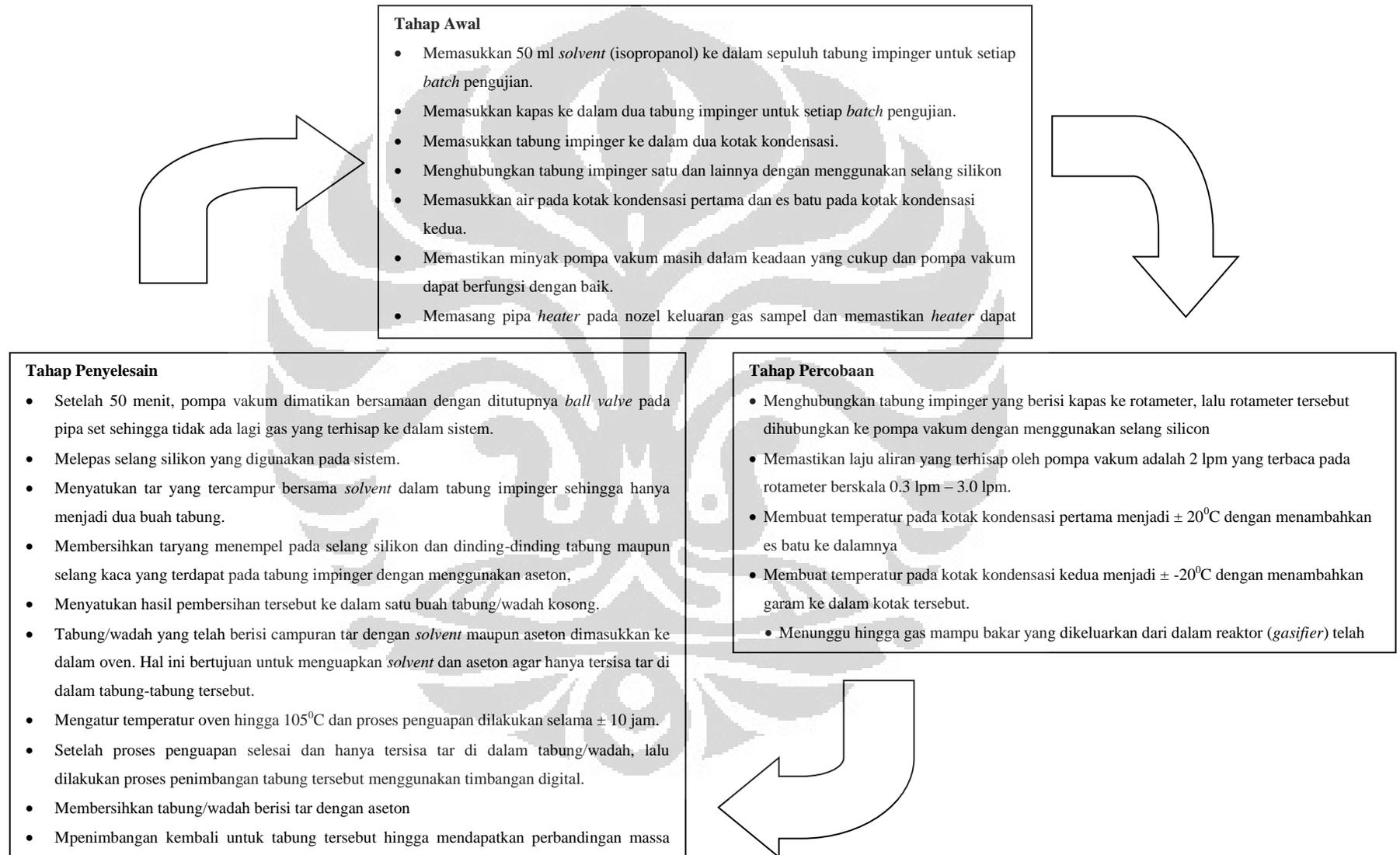
1. Menyatukan tar yang tercampur bersama *solvent* dalam tabung impinger sehingga hanya menjadi dua buah tabung/ wadah untuk setiap *batch*.
2. Membersihkan tar yang menempel pada selang silikon dan dinding-dinding tabung maupun selang kaca yang terdapat pada tabung impinger dengan menggunakan aseton, lalu menyatukan hasil pembersihan tersebut ke dalam satu buah tabung/wadah kosong. Proses ini dilakukan pada setiap *batch* pengujian sehingga pada akhirnya didapatkan dua buah tabung/wadah yang berisi campuran tar dengan *solvent* dan satu buah tabung/wadah yang berisi campuran tar dengan aseton.

3. Tabung/wadah yang telah berisi campuran tar dengan *solvent* maupun aseton dimasukkan ke dalam oven. Hal ini bertujuan untuk menguapkan *solvent* dan aseton agar hanya tersisa tar di dalam tabung-tabung tersebut.
4. Mengatur temperatur oven hingga 105°C dan proses penguapan dilakukan selama ± 10 jam.
5. Setelah proses penguapan selesai dan hanya tersisa tar di dalam tabung/wadah, lalu dilakukan proses penimbangan tabung tersebut menggunakan timbangan digital.
6. Membersihkan tabung/wadah berisi tar dengan aseton, kemudian dijemur dan dilakukan penimbangan kembali untuk tabung tersebut hingga mendapatkan perbandingan massa antara tabung berisi tar dan tabung kosong (yang telah dibersihkan).
7. Melakukan pengurangan massa hasil penimbangan tabung berisi tar dengan tabung yang telah dibersihkan sehingga diperoleh jumlah massa tar yang tertangkap saat pengujian dilakukan, baik *batch 1* maupun *batch 2*.



Gambar 3.17 Penimbangan massa tar

3.5 Alur Kerja Pengujian



3.6 Pengolahan Data Tar

Proses penimbangan tabung yang berisi tar (sebelum dibersihkan) dan tabung kosong (setelah dibersihkan) dilakukan untuk mengetahui jumlah massa tar yang diperoleh dari pengujian. Massa tar dapat diketahui dengan pengurangan massa pada kedua penimbangan tersebut. Setelah diperoleh jumlah massa tar dari pengujian, dilakukan pengolahan data terhadap massa tar tersebut sehingga dapat diketahui jumlah tar yang terkandung dalam setiap volume gas hasil gasifikasi. Di bawah ini merupakan langkah-langkah pengolahan data tar yang dilakukan, yaitu:

1. Melakukan pengurangan hasil penimbangan terhadap tabung berisi tar dengan tabung setelah dibersihkan hingga didapatkan jumlah massa total tar dari pengujian yang dilakukan untuk setiap *batch*.
2. Menghitung banyaknya sampel gas (dalam satuan liter) yang ditarik selama pengujian dilakukan.

$$V_{gas} = flowrate \left(\frac{\text{liter}}{\text{menit}} \right) \times \text{lama waktu pengujian (menit)} = \text{liter} \quad (3.1)$$

3. Menghitung banyaknya massa tar yang dihasilkan untuk setiap liter gas sampel (gram per liter).

$$M_{tar} = \frac{M_{total} \text{ (gram)}}{D \text{ (lpm)} \times t \text{ (menit)}} = \text{gram/liter} \quad (3.2)$$

Keterangan:

M_{tar} = Massa tar dalam satu liter gas sampel (gram/liter)

M_{total} = Massa total tar untuk setiap *batch* pengujian (gram)

D = nilai *flowrate* penarikan gas sampel (liter per menit, lpm)

t = lama waktu pengujian (menit)

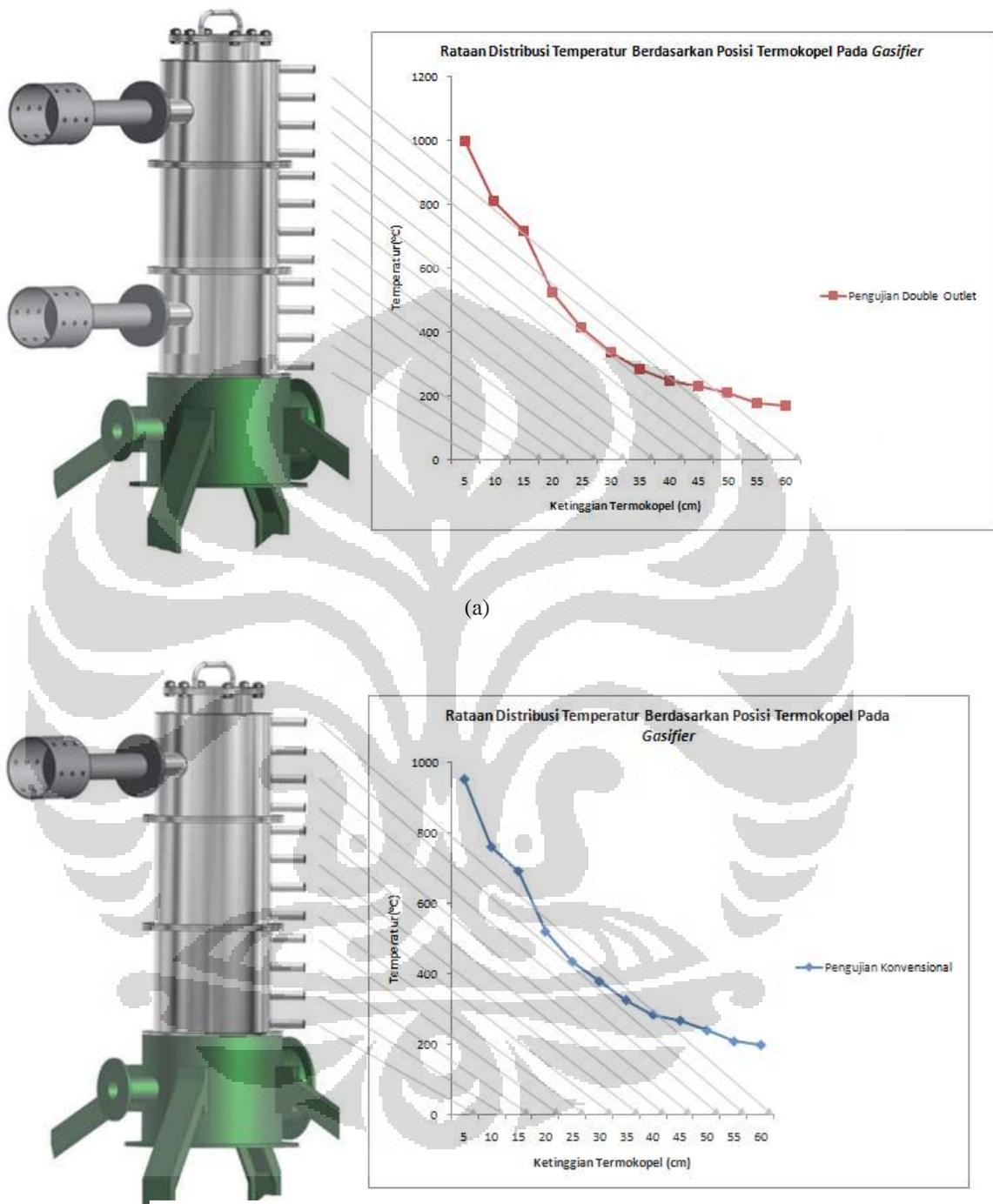
BAB IV

HASIL DAN ANALISA

Setiap pengujian menggunakan metode *double outlet gas* ini, menggunakan *flowrate* optimal berdasarkan pengujian yang dilakukan sebelumnya yaitu dimana angka pada manometer pengukuran aliran udara *blower* menunjukkan Δh sebesar 6 milimeter atau setelah dikonversi menggunakan kalkulasi matematis alat pengujian adalah sebesar 108 lpm. Kondisi setiap pengujian diupayakan untuk menggunakan metode dan sistem yang sama secara berulang dengan tujuan mendapatkan data yang akurat. Namun demikian, untuk menjaga data yang dihasilkan konstan sangatlah sulit sehingga masih terdapat perbedaan data tiap pengujian dilakukan. . Bab ini akan membahas tentang analisa yang mungkin dapat di ambil dari fenomena yang terjadi selama pengujian tersebut dengan menggunakan kandungan tar yang dihasilkan dari setiap pengujian yang dilakukan.

4.1. Zonafikasi Daerah-Daerah Gasifikasi

Sebaran temperatur di dalam *gasifier* dari setiap pengujian tersebut berperan penting dalam penentuan daerah-daerah zonafikasi proses-proses gasifikasi yang terdapat di dalam reaktor gasifikasi tersebut dilihat dari karakteristik sebaran temperatur pada masing-masing titik termokopel tersebut dan menghubungkannya dengan kisaran zona temperatur di masing-masing daerah sebagaimana yang telah disebutkan pada literatur. Adapun sebaran temperatur yang didapat pada masing-masing pengujian merupakan rata-rata temperatur mulai dari api menyala sampai api padam dimana daerah tersebut merupakan daerah yang diyakini sebagai daerah gasifikasi yang efektif dan diklasifikasikan berdasarkan posisi dari termokopel dan ketinggiannya terhadap posisi acuan awal terjadinya daerah pembakaran di dalam reaktor gasifikasi.



Gambar 4.1 Rataan distribusi temperatur pengujian *double outlet gas* (a) dan pengujian konvensional (b) untuk penentuan zonafikasi gasifikasi

Gambar tersebut menyatakan bahwa semakin tinggi posisi termokopel dari daerah pembakaran sebagai titik acuan penentuan titik 0 centimeter, maka semakin rendah temperatur yang terdapat di dalam reaktor gasifikasi tersebut. Dari gambar 4.3 telah

diketahui bahwa pada termokopel 5 sampai 12 (posisi 25 cm sampai 60 cm) merupakan daerah pengeringan sehingga untuk menentukan daerah gasifikasi lainnya, maka digunakan posisi termokopel 1 sampai 4 (posisi 5 cm sampai 20 cm) dimana sebaran temperatur di daerah tersebut mengindikasikan hal tersebut.

Tabel 4.1 Tabel sebaran temperatur termokopel 1 sampai termokopel 4

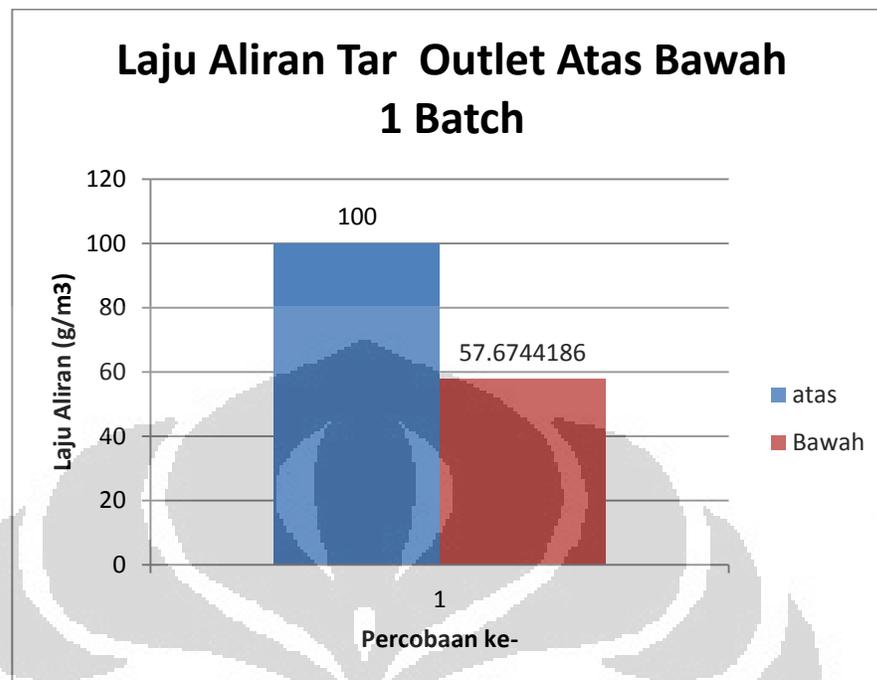
	Ketinggian (cm)	Pengujian Double Outlet	Pengujian Konvensional
Termokopel 1	5	997.924	952.316
Termokopel 2	10	810.362	760.599
Termokopel 3	15	718.148	691.697
Termokopel 4	20	523.254	519.700

Tabel 4.1 menjadi dasar pemikiran penentuan daerah pembakaran, reduksi, dan pirolisis berdasarkan sebaran temperatur yang didapat dari hasil pengujian dan membandingkannya dengan literatur penelitian yang dilakukan sebelumnya sehingga hasil dari penelitian ini dapat digunakan sebagai acuan dalam penentuan karakteristik operasi alat gasifikasi *updraft* yang terdapat dalam laboratorium termodinamika Departemen Teknik Mesin Universitas Indonesia. Dari data yang didapat, apabila melihat berdasarkan referensi literatur bahwa daerah pembakaran terjadi pada temperatur antara 800°C sampai 1400°C, daerah reduksi pada 600°C-900°C, dan daerah pirolisis adalah antara 150°C sampai 800°C, maka dapat ditentukan bahwa pada sistem *double outlet gas* daerah cakupan termokopel 1 adalah daerah pembakaran, daerah termokopel 2 merupakan daerah transisi antara daerah pembakaran dan reduksi, daerah termokopel 3 adalah daerah reduksi, dan daerah pirolisis merupakan cakupan daerah termokopel 4. Daerah pirolisis juga dapat terjadi sepanjang termokopel 5 sampai 12 apabila melihat sebaran temperatur yang didapat. Hanya saja, apabila melihat dari gambar grafik 4.3 dengan fenomena yang terjadi seperti yang telah disebutkan sebelumnya maka analisa yang dapat diambil adalah karena bahan bakar bergerak ke arah bawah seiring dengan habisnya bahan bakar yang digunakan selama proses gasifikasi yang dilakukan, maka daerah pirolisa

terpusat pada daerah di sekitar termokopel 4. Reaktor yang memiliki skala dan kapasitas kecil tersebut dapat menjadi suatu kesulitan tersendiri dalam penentuan daerah gasifikasi karena sebaran temperatur antar daerah tersebut tidak memiliki *range* yang luas sehingga memungkinkan untuk terjadinya daerah gasifikasi yang berhimpitan dengan daerah lain sehingga dapat mempengaruhi hasil pengujian lain seperti pengujian kandungan tar dan juga hasil *syngas* dari proses gasifikasi yang telah dilakukan. Fenomena serupa terjadi pada sistem konvensional dengan *gasifier* yang sama namun dengan temperatur operasional yang lebih rendah, terjadi pergeseran zonafikasi gasifikasi tersebut yaitu daerah termokopel 1 sebagai daerah pembakaran, termokopel 2 dan 3 sebagai daerah reduksi, dan sisanya merupakan daerah pirolisis dan pengeringan.

4.2. Kandungan Tar Pengujian per Batch

Pada laju aliran tar per *batch*, terlihat hal yang sama. Seperti ditunjukkan pada gambar 4.3, terlihat bahwa laju tar dari *outlet* atas terlihat lebih banyak jika dibandingkan dengan laju tar dari *Outlet* bawah. Laju tar dari *outlet* atas mencapai 100 g/m^3 , sedangkan laju dari *outlet* bawah hanya mencapai $57,67 \text{ g/m}^3$. Grafik data laju aliran tar melalui *Double Gas Outlet Gasifier* dapat dilihat pada gambar 4.2.



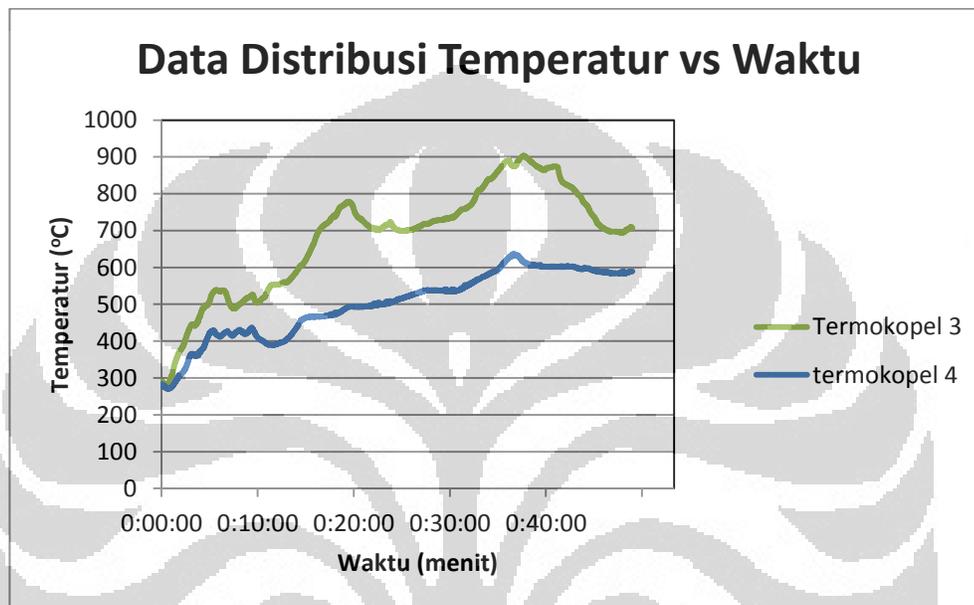
Gambar 4.2. Laju Aliran Tar *Outlet* Atas-Bawah 1 *Batch*

Secara visual, perbandingan jumlah kandungan tar antara *outlet* atas dan bawah tidak dapat dibedakan, karena keduanya sama-sama berwarna hitam. Namun, apabila dilihat dari tingkat kepekatannya, tar yang didapat dari *outlet* atas terlihat lebih pekat dibandingkan dengan tar yang didapat dari *outlet* bawah. Hal ini sudah dapat membuktikan bahwa kandungan tar pada Gas yang melewati *outlet* atas lebih tinggi dibandingkan dengan tar yang melewati *outlet* bawah. Perbandingan secara visual antar tar dari *outlet* atas dengan tar dari *outlet* bawah dapat dilihat pada gambar 4.3.



Gambar 4.3. Perbandingan Warna Tar dari *Outlet* Atas (A) dan Bawah (B)

Dari data yang didapat melalui proses eksperimen, terlihat bahwa kandungan tar melalui *outlet* atas jauh lebih besar daripada jumlah tar yang melewati *outlet* bawah. Hal ini disebabkan oleh temperatur pada *outlet* bawah lebih tinggi jika dibandingkan dengan *outlet* atas.

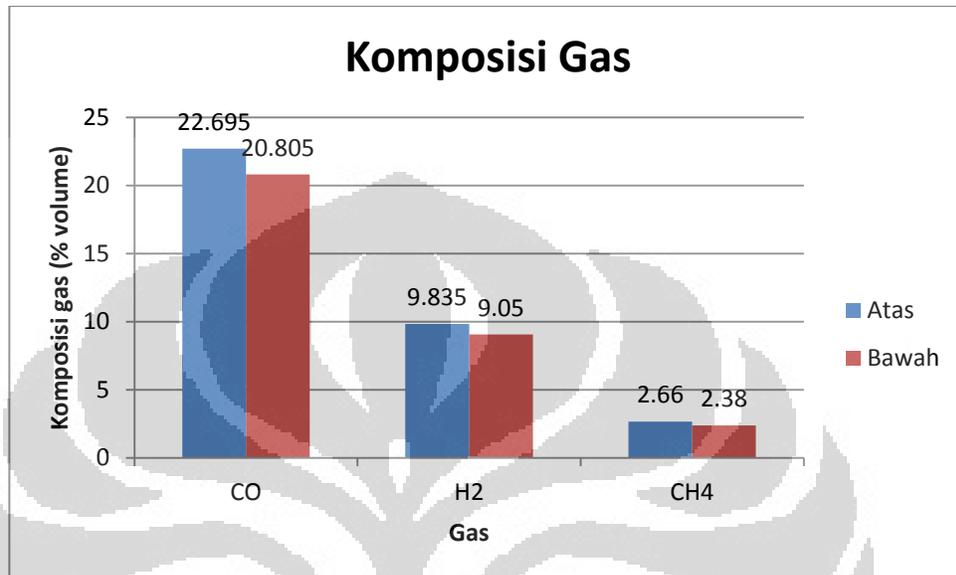


Gambar 4.4. Temperatur pada T3 (reduksi) dan T4 (pirolisis)

Seperti terlihat pada gambar 4.4, Temperatur pada termokopel 3 yang berada pada daerah reduksi, lebih tinggi dari temperatur pada termokopel 4 yang berada pada daerah pirolisis. Sesuai dengan dasar teori yang tercantum pada Bab II, 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. Hal ini dikarenakan laju reaksi dekomposisi tar akan semakin cepat seiring dengan berjalannya waktu.

Pada teorinya, outlet bawah sudah tidak lagi mengeluarkan tar, karena pada daerah reduksi, seharusnya tar mengalami cracking. Fenomena cracking tersebut tampaknya tidak terjadi pada gas yang keluar melalui *outlet* bawah. Gas dari daerah reduksi tetap mengandung tar dengan jumlah yang cukup banyak. Selain itu, terdapat gas dari daerah pirolisis yang bersirkulasi menuju daerah reduksi yang tidak

mengalami proses cracking dan terpecah menjadi zat-zat H_2 , CO , dan CO_2 . Hal ini dapat dibuktikan melalui uji kandungan gas yang dilakukan di BPPT, Serpong. Hasil uji kandungan gas tersebut dapat dilihat pada Gambar 4.5.



Gambar 4.5. Grafik Kandungan Gas Gasifier Double Outlet

Dari gambar 4.5, terlihat bahwa kandungan CO pada *outlet* atas mencapai 22,695 % tidak berbeda jauh jika dibandingkan dengan kandungan CO pada *outlet* bawah. Hal yang sama juga terjadi pada kandungan H_2 dan CH_4 . Kandungan H_2 dan CH_4 pada *outlet* atas masing-masing adalah 9,835% dan 2,66 %. Sedangkan pada *outlet* bawah adalah masing-masing 9,05% dan 2,38%. Kandungan gas tersebut membuktikan bahwa sebenarnya proses cracking belum terjadi.

Pada laju aliran tar dari *outlet* atas/ konvensional, Laju tar yang keluar melalui *outlet* atas adalah $114,53 \text{ g/m}^3$. Data tersebut dapat terlihat pada gambar 4.6 yang menunjukkan laju aliran tar yang melalui *outlet* atas/konvensional.



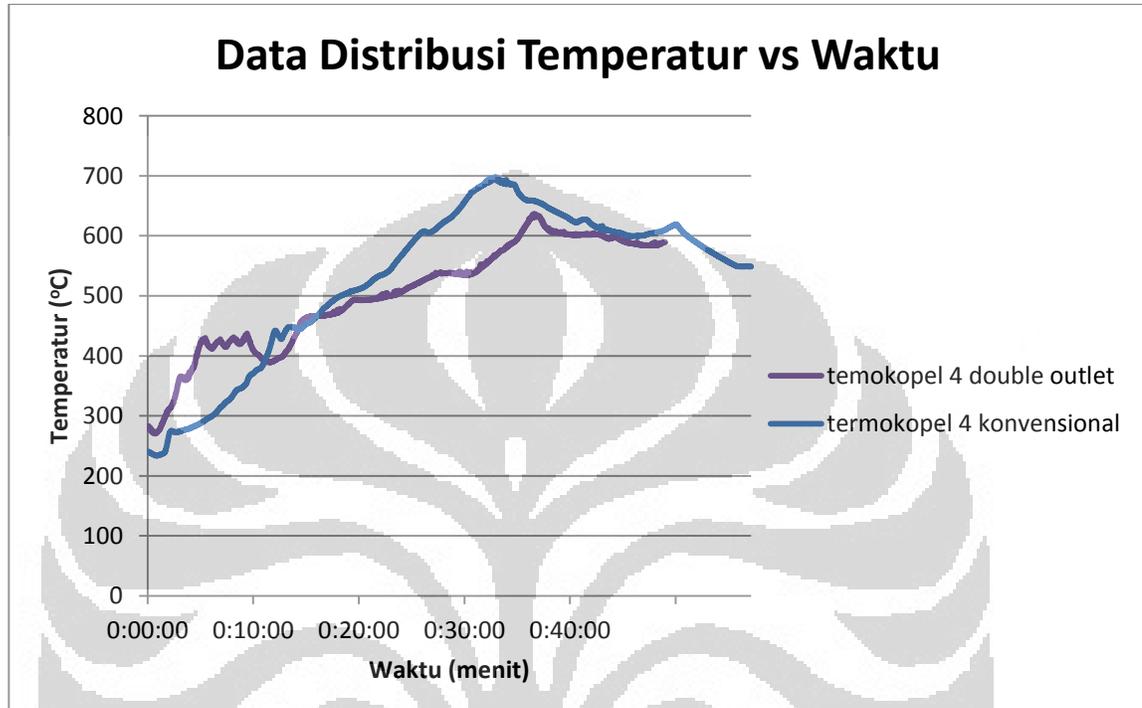
Gambar 4.6. Grafik Laju Tar Atas 1 *Batch*

Bila mengacu pada teori yang didapat, seharusnya pengurangan kandungan tar yang signifikan terjadi pada gas yang dihasilkan *gasifier double outlet* jika dibandingkan dengan *gasifier* konvensional. Hal ini disebabkan terjadinya proses cracking pada tar yang terkandung pada Gas yang keluar melalui *outlet* bawah (reduksi) pada *gasifier double outlet*. Suhu daerah reduksi yang mencapai 900°C pada teorinya sudah mampu memecah seluruh tar yang terkandung pada gas menjadi zat hidrokarbon.

Pada prakteknya, pengurangan total kandungan tar tidak terjadi pada *gasifier double outlet*. Kandungan tar hanya berkurang pada gas yang keluar melalui *outlet* atas. Kandungan tar pada gas yang melewati *outlet* bawah (reduksi) masih cukup tinggi. Hal ini membuat kandungan tar total pada gas yang dihasilkan oleh *gasifier double outlet* lebih tinggi dibandingkan dengan *gasifier* konvensional.

Kandungan tar outlet atas *gasifier double outlet* lebih kecil dikarenakan adanya sejumlah gas yang bersirkulasi sehingga keluar melalui *gas outlet* bawah. Sebenarnya, temperatur pada termokopel 4 *gasifier double outlet* relatif sama dengan temperatur termokopel 4 *gasifier* konvensional, seperti terlihat pada gambar 4.7. Sesuai dengan dasar teori, maka tar pada *gasifier* konvensional seharusnya tidak berbeda jauh dengan dengan *gasifier double outlet* karena temperatur operasi *gasifier*

konvensional relatif sama dengan temperatur *gasifier double outlet*. Namun, karena adanya sebagian gas yang keluar melalui *outlet* bawah, kandungan gas *outlet* atas *gasifier double outlet* lebih kecil dibandingkan *gasifier* konvensional.

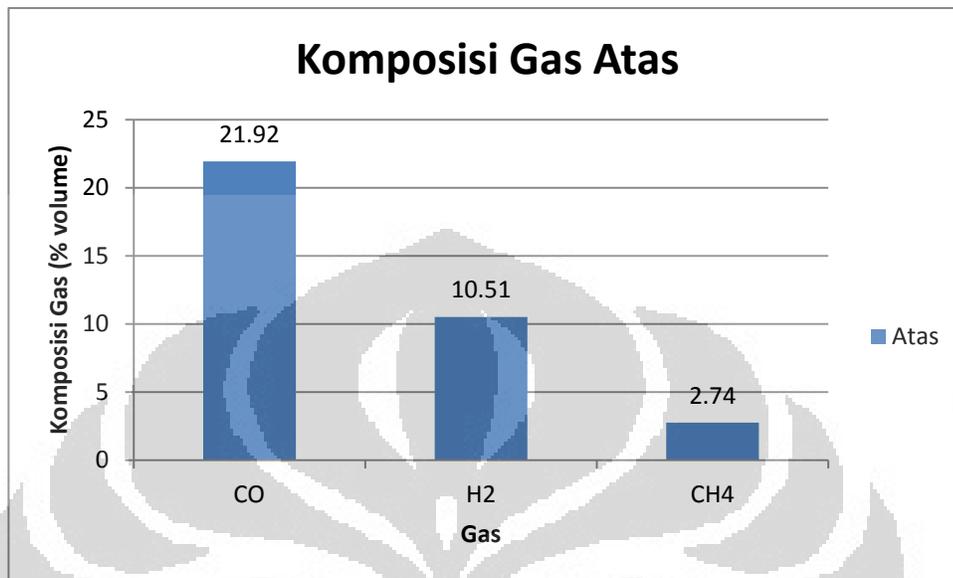


Gambar 4.7. Grafik Temperatur T4 gasifier double outlet dan konvensional

Sementara itu, pengurangan kandungan tar pada daerah reduksi tidak terjadi dikarenakan ukuran *gasifier* yang terlalu kecil. Hal ini membuat *residence time* yang dibutuhkan tar untuk mengalami proses *cracking* tidak tercapai. Tidak tercapainya *residence time* membuat temperatur yang dibutuhkan untuk proses *tar cracking* menjadi lebih tinggi. Temperatur tinggi tersebut tidak tercapai di dalam *gasifier* sehingga membuat tar yang melewati daerah reduksi tidak mengalami proses *cracking* secara sempurna. Hal ini ditambah gas *outlet* atas yang berasal dari daerah *pyrolysis* yang bersirkulasi melewati *outlet* bawah yang tidak sempat mengalami *cracking* secara sempurna akibat *residence time* tidak cukup.

Selain itu, hal yang menyebabkan *outlet* bawah *gasifier double outlet* masih mengandung tar adalah karena kurang tingginya temperatur pada daerah reduksi. Seharusnya, tar sudah tidak terbentuk lagi pada daerah reduksi karena syuhnya sudah sangat tinggi, sehingga tar akan terdekomposisi. Namun, kenyataanya,

temperatur daerah reduksi tidak cukup tinggi. Akibatnya, kandungan tar dalam jumlah yang cukup tinggi masih dapat terbentuk pada daerah reduksi



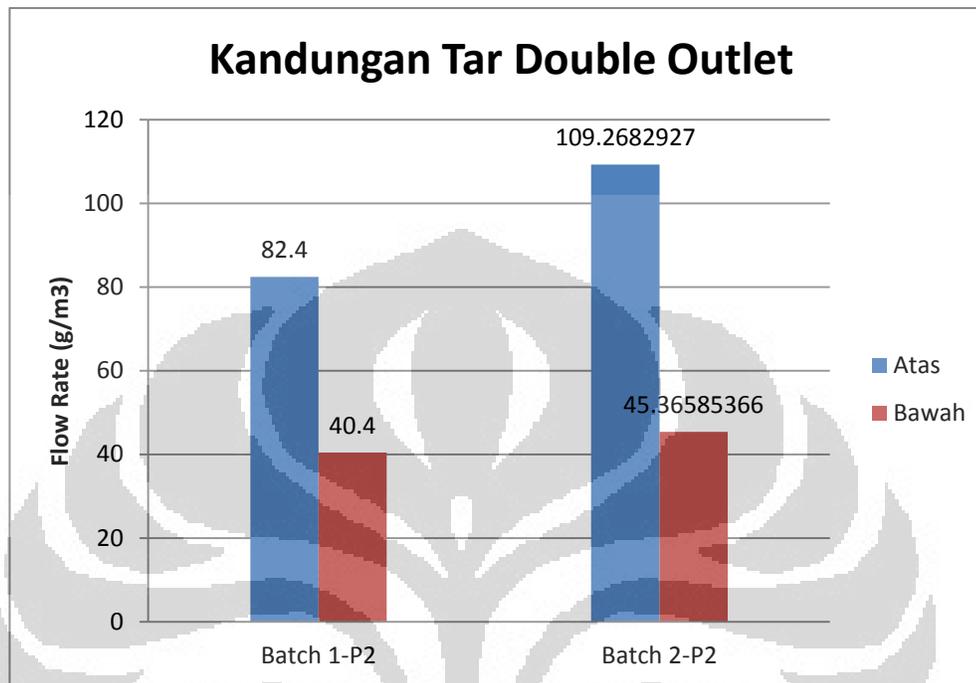
Gambar 4.8. Grafik Kandungan Gas Outlet Atas

Tidak terjadinya proses *cracking* kembali dapat terlihat pada perbandingan kandungan gas melalui *double outlet* yang terletak pada gambar 4.5 dan kandungan gas melalui *outlet* atas (konvensional) yang dapat dilihat pada gambar 4.8. Terlihat bahwa kandungan zat yang keluar melalui *outlet* konvensional relatif sama dengan kandungan zat yang keluar melalui *outlet* bawah pada gasifier *double outlet*. Hal ini kembali menunjukkan bahwa proses *cracking* tar belum terjadi secara sempurna dan gasifier *double outlet* sebenarnya tidak memperkecil jumlah tar yang dihasilkan gasifier.

4.3. Kandungan Tar Pengujian Dua Batch

Laju aliran tar pada gasifier dengan *outlet* atas bawah per dua *batch* dapat dilihat pada gambar 4.26. Dari gambar 4.26 tersebut, dapat dilihat bahwa laju aliran tar pada *batch* 1 selalu lebih rendah jika dibandingkan dengan laju aliran tar pada *batch* 2. Pada *Batch* 1, laju aliran tar yang melalui *outlet* atas adalah 77,375 g/m³, sedangkan yang melalui *outlet* bawah adalah 25,47 g/m³. Pada *Batch* 2, terjadi

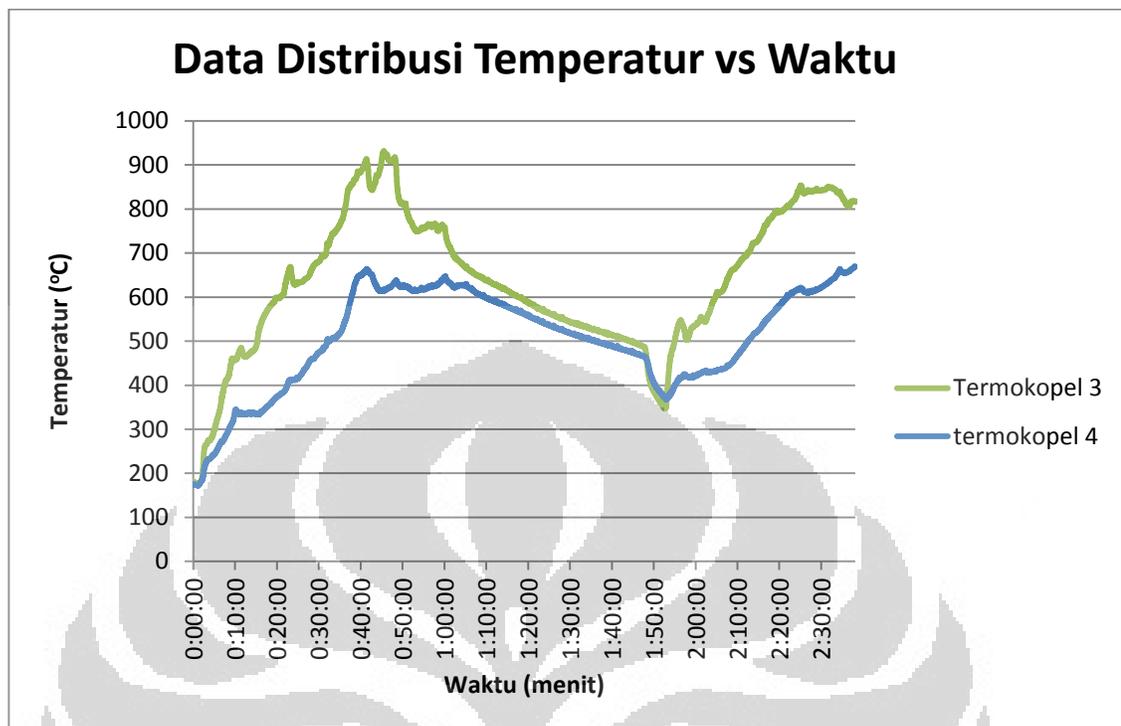
peningkatan laju aliran tar. Tar yang melalui *outlet* atas meningkat menjadi 102,79 g/m³, dan laju aliran tar pada *outlet* bawah juga meningkat menjadi 26,2 g/m³.



Gambar 4.9. Grafik Laju Aliran Tar *Outlet* Atas-Bawah 2 *Batch*

Dari data yang didapat melalui eksperimen yang tercantum pada gambar 4.9, dapat terlihat bahwa kandungan tar baik *outlet* atas dan bawah pada *batch* 1 lebih kecil jika dibandingkan dengan jumlah tar yang didapat pada *batch* 2. . Peningkatan yang terjadi dari *batch* 1 ke *batch* 2 adalah sebanyak 33% untuk *outlet* atas dan 2% untuk *outlet* bawah. Peningkatan kandungan tar pada *outlet* bawah terjadi karena temperatur termokopel 3 *batch* 1 lebih tinggi dibandingkan *batch* 2. Seperti terlihat pada gambar 4.27, pada *batch* 1, suhu termokopel 3 mencapai lebih dari 900°C, sedangkan pada *batch* 2, suhu termokopel 3 tidak mencapai 900°C.

Sesuai dengan dasar teori yang menyebutkan bahwa temperatur berbanding terbalik dengan kandungan tar, peningkatan kandungan tar *outlet* bawah pada *batch* 2 disebabkan oleh penurunan temperatur termokopel 3 yang menyebabkan kandungan tar bertambah.



Gambar 4.10. Grafik Temperatur Termokopel 3 dan Temokopel 4

Penambahan kandungan tar pada outlet atas tidak diakibatkan oleh penurunan temperatur. Seperti terlihat pada Gambar 4.10, suhu pada termokopel 4 terlihat stabil baik pada batch 1 dan batch 2. Hal yang mungkin menyebabkan bertambahnya kandungan tar outlet atas pada *batch* 2 adalah karena terdapatnya sisa-sisa tar dari *batch* 1 yang mengendap di dalam alat *tar sampling*. Tar sisa tersebut kembali terhisap kedalam tabung reaksi ketika eksperimen *batch* 2 dimulai. Akhirnya, tar sisa *batch* 1 tersebut tercampur dengan tar yang dihasilkan eksperimen *batch* 2 yang akhirnya membuat kandungan tar pada *batch* 2 meningkat.

Hal lain yang mungkin menyebabkan eksperimen *batch* 2 menghasilkan kandungan tar yang lebih tinggi adalah karena pada *batch* 2, temperatur 600°C lebih cepat tercapai. Hal tersebut menyebabkan tar sudah langsung dihisap sebelum sempat mengalami proses cracking, sehingga lebih banyak tar yang ditangkap oleh alat sampling tar pada batch kedua..

BAB V

KESIMPULAN DAN SARAN

5.1 Kesimpulan

Dari data dan analisa hasil pengujian gasifikasi *updraft double outlet gas* yang didapat dari metode pengujian satu *batch* dan membandingkannya dengan hasil yang didapat dari pengujian dengan sistem konvensional serta memperbandingkan hasil yang didapat pada metode 1 *batch* dan metode 2 *batch* untuk mengetahui kandungan tar *double outlet* secara kontinyu tiap *batch*, maka dapat ditarik beberapa kesimpulan yang berkaitan dengan hasil dari pengujian yaitu sebagai berikut :

1. Jumlah kandungan tar bergantung pada temperatur *gasifier* dan *residence time* dari gas
2. Jumlah kandungan tar *outlet* atas *gasifier double outlet* lebih tinggi daripada *outlet* bawah. Hal ini dikarenakan temperatur daerah reduksi yang menghasilkan gas yang keluar melalui *outlet* bawah lebih tinggi dibandingkan temperatur daerah *pyrolysis* yang menghasilkan gas yang keluar melalui *outlet* bawah
3. Jumlah kandungan tar yang keluar melalui *double outlet gasifier* lebih besar dibandingkan dengan *gasifier* konvensional. Hal ini dikarenakan kurangnya *residence time* dan kurang tingginya temperatur daerah reduksi sehingga *outlet* dari daerah reduksi masih mengandung tar dan proses *cracking* gas yang dihasilkan daerah *pyrolysis* tidak sempurna
4. Hasil uji gas menunjukkan tidak terjadinya proses *cracking* karena jumlah kandungan CO, H₂ dan CH₄ dari masing-masing *gasifier* tidak berbeda jauh.

5. Kandungan tar pada *batch* pertama lebih kecil dibandingkan dengan *batch* kedua. Hal ini dikarenakan terdapat sisa tar *batch* 1 yang terhisap saat pengambilan *batch* 2 berlangsung serta temperatur daerah reduksi yang menurun saat dilakukan *batch* 2 yang mengakibatkan bertambahnya pembentukan tar.

5.2 Saran

Untuk kemajuan penelitian gasifikasi *updraft* sehingga didapatkan hasil penelitian yang sesuai harapan, maka perlu diadakan beberapa perbaikan :

1. Berdasarkan hasil pengujian, untuk memperkecil kandungan tar, ukuran gasifier diperbesar atau temperatur zona reduksi diperbesar dengan cara menurunkan letak outlet bawah.
2. Pengecekan sambungan termokopel agar bacaan temperatur dapat lebih akurat lagi.
3. Perbaiki sirkulasi udara di laboratorium karena pada awal operasi gas yang dihasilkan sangat banyak sebelum api menyala sehingga berbahaya bagi praktikan.
4. Perlu disediakan peralatan keamanan dan keselamatan seperti APAR mengingat resiko yang ditimbulkan sangat besar.
5. Penggunaan *heater* saat pengambilan tar sebaiknya dihindari, karena *heater* akan menyumbat proses penghisapan tar kedalam tabung reaksi.
6. Perlu dibuat SOP tentang prosedur pengoperasian alat mulai dari tahapan persiapan, pengujian, maupun tahapan yang dilakukan setelah pengujian secara sistematis agar prosedur setiap penelitian yang nantinya akan dikembangkan dari penelitian sebelumnya akan sama.

DAFTAR REFERENSI

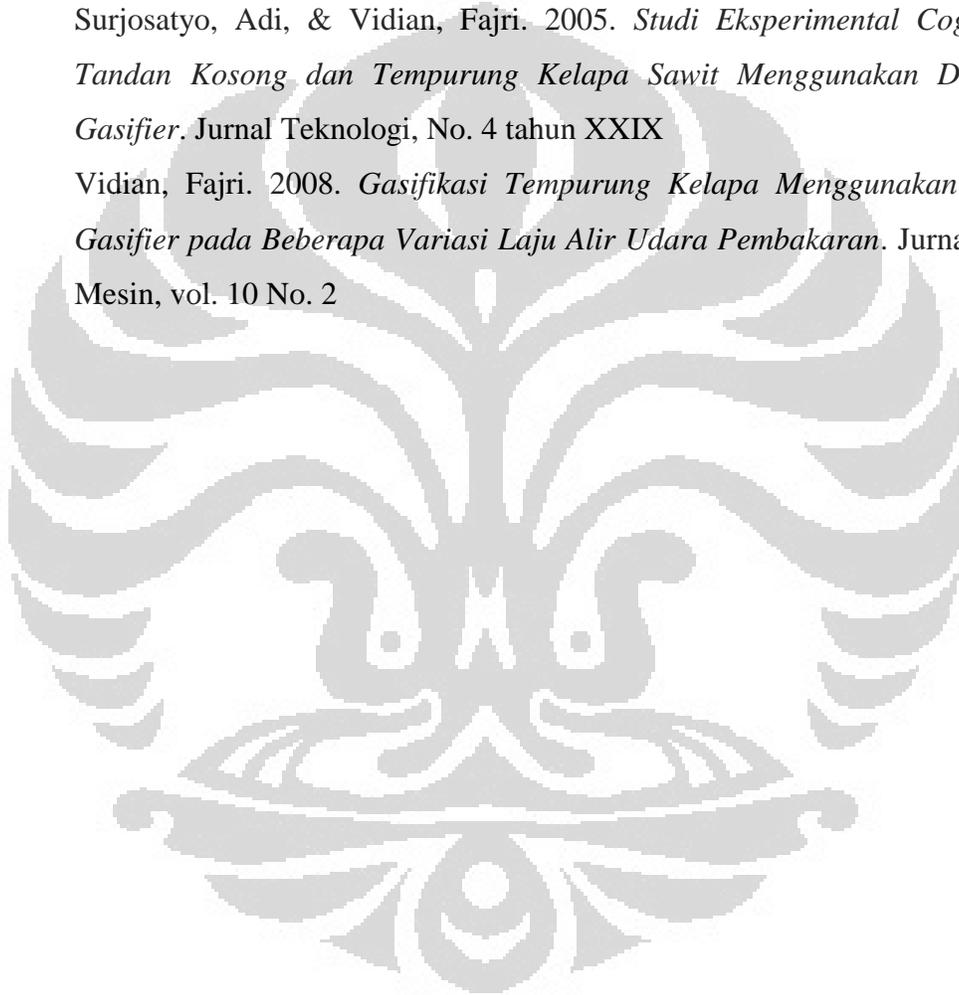
- Arullah, Y1. Nurhadi. Susanto, H., KAJIAN TERMODINAMIKA UPDRAFT GASIFIER dengan SIDE STREAM untuk MENGOLAH BATUBARA SUMATERA SELATAN menjadi GAS SINTESIS, SEMINAR REKAYASA KIMIA DAN PROSES, 4-5 Agustus 2010
- B. Reed, Thomas, & Das, Aqua. 1988. *Handbook of Biomass Downdraft Gasifier Engine System*. Colorado : US Government
- Bassu, Prabir. 2010. *Biomass Gasification and Pyrolysis : Practical Design*. UK : Elsevier
- Bilad, M.Roil. *Teknologi Gasifikasi Biomassa Alternatif Solusi Bahan Bakar Oven Tembakau (Bagian I konsep dasar)*^{5th}. Komunitas Sasak
- BP Statistical Review of World Energy June 2011
- Equal velocity in sampletaking of a gas for dust measurement. Isokinetic sample. Glossary. Sigrist-Photometer AG, CH-6373 Ennetbürgen Germnay
- Handbook of Biomass Downdraft Gasifier Engine System. US Department of Energy. 1988
- Higman, Cristopher, & van der Burgt, Marteen. 2008. *Gasification : Second Edition*. UK : Elsevier
- Infinite Energy Pvt. Ltd. biomass-gasifiers .Opp. Maharani Bagh, New Delhi-110014 India Rajvanshi. Anil K, BIOMASS GASIFICATION, Nimbkar Agricultural Research Institute, PHALTAN-415523, Maharashtra, India
- 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
- Lee. Do. W.; Jensen. Craig. M. Dry-Ice Bath Based on Ethylene Glycol Mixtures, *J. Chem. Ed.* 2000, Vol. 77, No. 5, pp 629

Milne, T.A. and Evans, R.J. Biomass gasifier 'tars': their nature, formation and conversion', National Renewable Energy Laboratory, DE-AC36-83CH10093, November 1998

Okuga, Arthur. *Analysis and Operability Optimization of an Updraft Gasifier Unit*. Eindhoven University of Technology : Department of Mechanical Engineering

Surjosatyo, Adi, & Vidian, Fajri. 2005. *Studi Eksperimental Cogasifikasi Tandan Kosong dan Tempurung Kelapa Sawit Menggunakan Downdraft Gasifier*. Jurnal Teknologi, No. 4 tahun XXIX

Vidian, Fajri. 2008. *Gasifikasi Tempurung Kelapa Menggunakan Updraft Gasifier pada Beberapa Variasi Laju Alir Udara Pembakaran*. Jurnal Teknik Mesin, vol. 10 No. 2







Health	2
Fire	3
Reactivity	0
Personal Protection	H

Material Safety Data Sheet Isopropyl alcohol MSDS

Section 1: Chemical Product and Company Identification

Product Name: Isopropyl alcohol	Contact Information:
Catalog Codes: SLI1153, SLI1579, SLI1906, SLI1246, SLI1432	Sciencelab.com, Inc. 14025 Smith Rd. Houston, Texas 77396
CAS#: 67-63-0	US Sales: 1-800-901-7247
RTECS: NT8050000	International Sales: 1-281-441-4400
TSCA: TSCA B(b) inventory: Isopropyl alcohol	Order Online: ScienceLab.com
CI#: Not available.	CHEMTREC (24HR Emergency Telephone), call: 1-800-424-9300
Synonym: 2-Propanol	International CHEMTREC, call: 1-703-527-3887
Chemical Name: isopropanol	For non-emergency assistance, call: 1-281-441-4400
Chemical Formula: C ₃ H ₈ O	

Section 2: Composition and Information on Ingredients

Composition:		
Name	CAS #	% by Weight
Isopropyl alcohol	67-63-0	100
Toxicological Data on Ingredients: Isopropyl alcohol: ORAL (LD50): Acute: 5045 mg/kg [Rat], 3600 mg/kg [Mouse], 6410 mg/kg [Rabbit], DERMAL (LD50): Acute: 12800 mg/kg [Rabbit].		

Section 3: Hazards Identification

Potential Acute Health Effects:
Hazardous in case of eye contact (irritant), of ingestion, of inhalation. Slightly hazardous in case of skin contact (irritant, sensitizer, permeator).

Potential Chronic Health Effects:
Slightly hazardous in case of skin contact (sensitizer). CARCINOGENIC EFFECTS: A4 (Not classifiable for human or animal.) by ACGIH, 3 (Not classifiable for human.) by IARC. MUTAGENIC EFFECTS: Not available. TERATOGENIC EFFECTS: Not available. DEVELOPMENTAL TOXICITY: Classified Reproductive system/toxin/female, Development toxin [POSSIBLE]. The substance may be toxic to kidneys, liver, skin, central nervous system (CNS). 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. In case of contact, immediately flush eyes with plenty of water for at least 15 minutes. Cold water may be used. Get medical attention.

Skin Contact:

Wash with soap and water. Cover the irritated skin with an emollient. Get medical attention if irritation develops. Cold water may be used.

Serious Skin Contact: Not available.

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: 399°C (750.2°F)

Flash Points: CLOSED CUP: 11.667°C (53°F) - 12.778 deg. C (55 deg. F) (TAG)

Flammable Limits: LOWER: 2% UPPER: 12.7%

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. Flammable in presence of oxidizing materials. Non-flammable in presence of shocks.

Explosion Hazards in Presence of Various Substances:

Risks of explosion of the product in presence of mechanical impact: Not available. Explosive in presence of open flames and sparks, of heat.

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. CAUTION: MAY BURN WITH NEAR INVISIBLE FLAME. Hydrogen peroxide sharply reduces the autoignition temperature of isopropyl alcohol. After a delay, isopropyl alcohol ignites on contact with dioxygenyl tetrafluoroborate, chromium trioxide, and potassium tert-butoxide. When heated to decomposition it emits acid smoke and fumes.

Special Remarks on Explosion Hazards:

Secondary alcohols are readily autooxidized in contact with oxygen or air, forming ketones and hydrogen peroxide. It can become potentially explosive. It reacts with oxygen to form dangerously unstable peroxides which can concentrate and explode during distillation or evaporation. The presence of 2-butanone increases the reaction rate for peroxide formation. Explosive in the form of vapor when exposed to heat or flame. May form explosive mixtures with air. Isopropyl alcohol + phosgene forms isopropyl chloroformate and hydrogen chloride. In the presence of iron salts, thermal decomposition can occur, which in some cases can become explosive. A homogeneous mixture of concentrated peroxides + isopropyl alcohol are capable of detonation by shock or heat. Barium perchlorate + isopropyl alcohol gives the highly explosive alkyl perchlorates.

It forms explosive mixtures with trinitromethane and hydrogen peroxide. It produces a violent explosive reaction when heated with aluminum isopropoxide + crotonaldehyde. Mixtures of isopropyl alcohol + nitroform are explosive.

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 away from heat. Keep away from sources of ignition. Ground all equipment containing material. Do not ingest. Do not breathe gas/fumes/vapor/spray. Avoid contact with eyes. 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. Keep away from incompatibles such as oxidizing agents, acids.

Storage:

Store in a segregated and approved area. Keep container in a cool, well-ventilated area. Keep container tightly closed and sealed until ready for use. 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: 983 STEL: 1230 (mg/m³) [Australia] TWA: 200 STEL: 400 (ppm) from ACGIH (TLV) [United States] [1999] TWA: 980 STEL: 1225 (mg/m³) from NIOSH TWA: 400 STEL: 500 (ppm) from NIOSH TWA: 400 STEL: 500 (ppm) [United Kingdom (UK)] TWA: 999 STEL: 1259 (mg/m³) [United Kingdom (UK)] TWA: 400 STEL: 500 (ppm) from OSHA (PEL) [United States] TWA: 980 STEL: 1225 (mg/m³) from OSHA (PEL) [United States] Consult local authorities for acceptable exposure limits.

Section 9: Physical and Chemical Properties

Physical state and appearance: Liquid.

Odor:

Pleasant. Odor resembling that of a mixture of ethanol and acetone.

Taste: Bitter. (Slight.)

Molecular Weight: 60.1 g/mole

Color: Colorless.

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

Boiling Point: 82.5°C (180.5°F)

Melting Point: -88.5°C (-127.3°F)

Critical Temperature: 235°C (455°F)

Specific Gravity: 0.78505 (Water = 1)

Vapor Pressure: 4.4 kPa (@ 20°C)

Vapor Density: 2.07 (Air = 1)

Volatility: Not available.

Odor Threshold:

22 ppm (Sittig, 1991) 700 ppm for unadapted panelists (Verschuren, 1983).

Water/Oil Dist. Coeff.: The product is equally soluble in oil and water, log(oil/water) = 0.1

Ionicity (In Water): Not available.

Dispersion Properties: See solubility in water, methanol, diethyl ether, n-octanol, acetone.

Solubility:

Easily soluble in cold water, hot water, methanol, diethyl ether, n-octanol, acetone. Insoluble in salt solution. Soluble in benzene. Miscible with most organic solvents including alcohol, ethyl alcohol, chloroform.

Section 10: Stability and Reactivity Data

Stability: The product is stable.

Instability Temperature: Not available.

Conditions of instability: Heat, ignition sources, incompatible materials

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

Corrosivity: Non-corrosive in presence of glass.

Special Remarks on Reactivity:

Reacts violently with hydrogen + palladium combination, nitroform, oleum, COCl₂, aluminum triisopropoxide, oxidants. Incompatible with acetaldehyde, chlorine, ethylene oxide, isocyanates, acids, alkaline earth, alkali metals, caustics, amines, crotonaldehyde, phosgene, ammonia. Isopropyl alcohol reacts with metallic aluminum at high temperatures. Isopropyl alcohol attacks some plastics, rubber, and coatings. Vigorous reaction with sodium dichromate + sulfuric acid.

Special Remarks on Corrosivity: May attack some forms of plastic, rubber and coating

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): 3600 mg/kg [Mouse]. Acute dermal toxicity (LD50): 12800 mg/kg [Rabbit]. Acute toxicity of the vapor (LC50): 16000 8 hours [Rat].

Chronic Effects on Humans:

CARCINOGENIC EFFECTS: A4 (Not classifiable for human or animal.) by ACGIH, 3 (Not classifiable for human.) by IARC. **DEVELOPMENTAL TOXICITY:** Classified Reproductive system/toxin/female, Development toxin [POSSIBLE]. May cause damage to the following organs: kidneys, liver, skin, central nervous system (CNS).

Other Toxic Effects on Humans:

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

Special Remarks on Toxicity to Animals: Not available.

Special Remarks on Chronic Effects on Humans:

May cause adverse reproductive/teratogenic effects (fertility, fetotoxicity, developmental abnormalities (developmental toxin)) based on animal studies. Detected in maternal milk in human.

Special Remarks on other Toxic Effects on Humans:

Acute Potential Health Effects: Skin: May cause mild skin irritation, and sensitization. Eyes: Can cause eye irritation. Inhalation: Breathing in small amounts of this material during normal handling is not likely to cause harmful effects. However, breathing large amounts may be harmful and may affect the respiratory system and mucous membranes (irritation), behavior and brain (Central nervous system depression - headache, dizziness, drowsiness, stupor, incoordination, unconsciousness, coma and possible death), peripheral nerve and sensation, blood, urinary system, and liver. Ingestion: Swallowing small amounts during normal handling is not likely to cause harmful effects. Swallowing large amounts may be harmful. Swallowing large amounts may cause gastrointestinal tract irritation with nausea, vomiting and diarrhea, abdominal pain. It also may affect the urinary system, cardiovascular system, sense organs, behavior or central nervous system (somnolence, generally depressed activity, irritability, headache, dizziness, drowsiness), liver, and respiratory system (breathing difficulty). **Chronic Potential Health Effects:** May cause defatting of the skin and dermatitis and allergic reaction. May cause adverse reproductive effects based on animal data (studies).

Section 12: Ecological Information

Ecotoxicity: Ecotoxicity in water (LC50): 100000 mg/l 96 hours [Fathead Minnow], 64000 mg/l 96 hours [Fathead Minnow].

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: : Isopropyl Alcohol UNNA: 1219 PG: II

Special Provisions for Transport: Not available.

Section 15: Other Regulatory Information**Federal and State Regulations:**

Connecticut hazardous material survey: Isopropyl alcohol Illinois toxic substances disclosure to employee act: Isopropyl alcohol Rhode Island RTK hazardous substances: Isopropyl alcohol Pennsylvania RTK: Isopropyl alcohol Florida: Isopropyl alcohol Minnesota: Isopropyl alcohol Massachusetts RTK: Isopropyl alcohol New Jersey: Isopropyl alcohol New Jersey spill list: Isopropyl alcohol Director's list of Hazardous Substances: Isopropyl alcohol Tennessee: Isopropyl alcohol TSCA 8(b) inventory: Isopropyl alcohol TSCA 4(a) final testing order: Isopropyl alcohol TSCA 8(a) IUR: Isopropyl alcohol TSCA 8(d) H

and S data reporting: Isopropyl alcohol: Effective date: 12/15/86 Sunset Date: 12/15/96 TSCA 12(b) one time export: Isopropyl alcohol SARA 313 toxic chemical notification and release reporting: Isopropyl alcohol

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).

D/SCL (EEC):

R11- Highly flammable. R36- Irritating to eyes. S7- Keep container tightly closed. S16- Keep away from sources of ignition - No smoking. S24/25- Avoid contact with skin and eyes. 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: Not available.

Other Special Considerations: Not available.

Created: 10/09/2005 05:53 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.