



UNIVERSITAS INDONESIA

**PENGARUH VARIASI LAJU ALIRAN AIR PADA *VENTURI*
SCRUBBER TERHADAP REDUKSI TAR DAN BENTUK *FLAME* PADA
SISTEM GASIFIKASI BIOMASSA**

SKRIPSI

**ANGGA PURNAMA PUTRA
06 06 07 2931**

**FAKULTAS TEKNIK
PROGRAM STUDI TEKNIK MESIN
DEPOK
JUNI 2010**



UNIVERSITAS INDONESIA

**PENGARUH VARIASI LAJU ALIRAN AIR PADA *VENTURI*
SCRUBBER TERHADAP REDUKSI TAR DAN BENTUK *FLAME* PADA
SISTEM GASIFIKASI BIOMASSA**

SKRIPSI

**Diajukan sebagai salah satu syarat untuk memperoleh gelar sarjana
teknik**

**ANGGA PURNAMA PUTRA
06 06 07 2931**

**FAKULTAS TEKNIK
PROGRAM STUDI TEKNIK MESIN
KEKHUSUSAN KONVERSI ENERGI
DEPOK
JUNI 2010**

HALAMAN PERNYATAAN ORISINALITAS

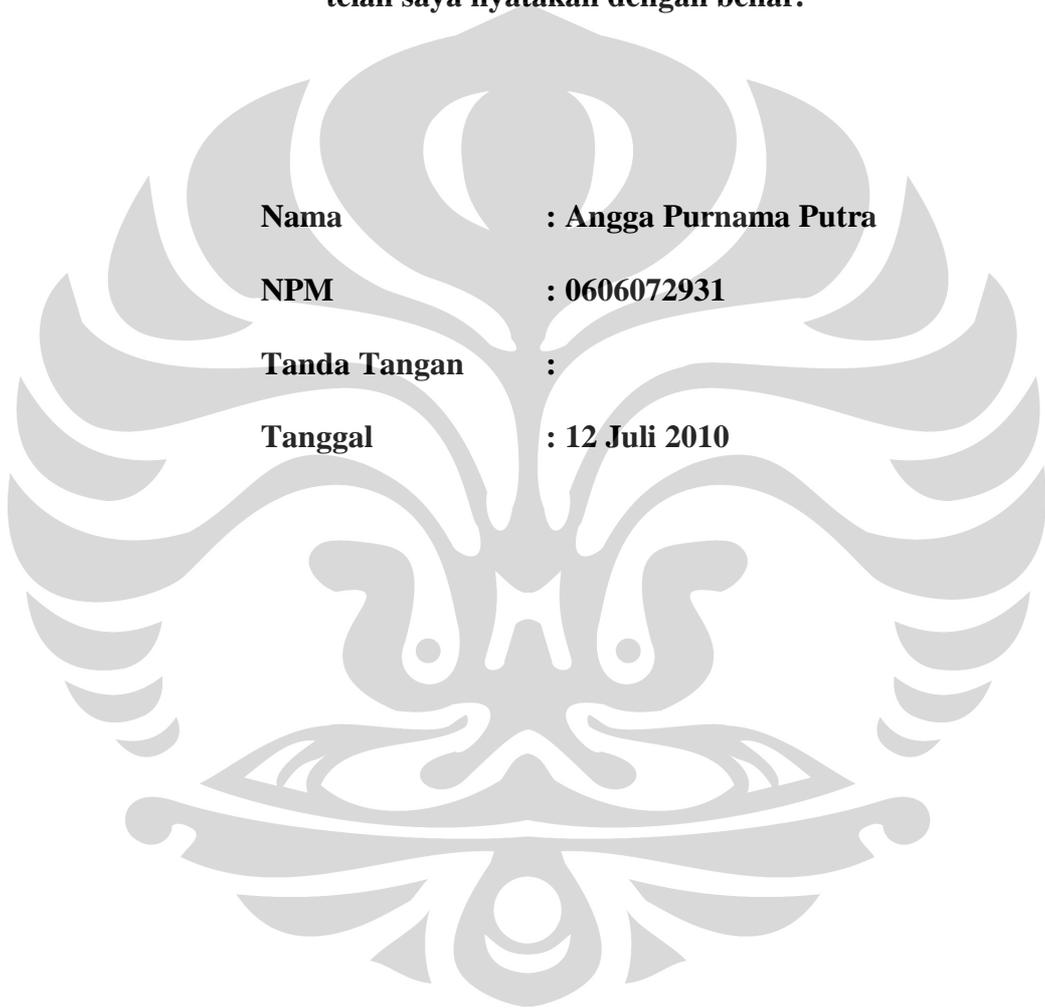
**Skripsi ini adalah hasil karya saya sendiri,
dan semua sumber baik yang dikutip maupun dirujuk
telah saya nyatakan dengan benar.**

Nama : Angga Purnama Putra

NPM : 0606072931

Tanda Tangan :

Tanggal : 12 Juli 2010



HALAMAN PENGESAHAN

Skripsi ini diajukan oleh :
Nama : Angga Purnama Putra
NPM : 0606072931
Program Studi : Teknik mesin
Judul Skripsi : Pengaruh variasi laju aliran air pada
venturi scrubber terhadap reduksi tar
dan bentuk flame pada sistem gasifikasi
biomassa

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

DEWAN PENGUJI

Pembimbing : Dr. Ir. Adi Suryosatyo, M.Eng ()

Penguji : Prof. Dr. Ir. I Made Kartika D., Dipl.-Ing ()

Penguji : Dr. Ir R Danardono Agus Sumarsono DEA,PE ()

Penguji : Dr. Agus Sunjarianto Pamitran ST, M.Eng ()

Ditetapkan di : Depok
Tanggal : 12 Juli 2010

KATA PENGANTAR

Puji syukur saya panjatkan kepada Tuhan Yang Maha Esa, karena atas berkat dan rahmat-Nya, saya dapat menyelesaikan skripsi ini. Penulisan skripsi ini dilakukan dalam rangka memenuhi salah satu syarat untuk mencapai gelar Sarjana Teknik Jurusan Teknik mesin pada Fakultas Teknik Universitas Indonesia. Saya menyadari bahwa, tanpa bantuan dan bimbingan dari berbagai pihak, dari masa perkuliahan sampai pada penyusunan skripsi ini, sangatlah sulit bagi saya untuk menyelesaikan skripsi ini. Oleh karena itu, saya mengucapkan terima kasih kepada:

- (1) Dr. Ir. Adi Surjosatyo., M.Eng, selaku dosen pembimbing yang telah menyediakan waktu, tenaga, dan pikiran untuk mengarahkan saya dalam penyusunan skripsi ini;
- (2) Fajri Vidian. ST, MT, selaku asisten dosen pembimbing yang telah menyediakan waktu, tenaga, dan pikiran untuk memberikan banyak masukan dalam pengujian dan mengarahkan saya dalam penyusunan skripsi ini;
- (3) Orang tua dan keluarga saya yang telah memberikan bantuan dukungan material dan moral;
- (4) Raja, Raka, Madun, Angga R, Baiqunni yang telah banyak membantu di dalam pengujian serta seluruh mahasiswa teknik mesin angkatan 2006;
- (5) Mas Arif, Pa Yasin yang telah membantu dalam pekerjaan laboratorium;

Akhir kata, saya berharap Tuhan Yang Maha Esa berkenan membalas segala kebaikan semua pihak yang telah membantu. Semoga skripsi ini membawa manfaat bagi pengembangan ilmu.

Depok, 18 Juni 2010

Angga Purnama Putra

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

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

Nama : Angga Purnama Putra
NPM : 0606072931
Program Studi : Teknik mesin
Departemen : Teknik mesin
Fakultas : Teknik
Jenis karya : Skripsi

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

**PENGARUH VARIASI LAJU ALIRAN AIR PADA VENTURI SCRUBBER
TERHADAP REDUKSI TAR DAN BENTUK FLAME PADA SISTEM
GASIFIKASI BIOMASSA**

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

Demikian pernyataan ini saya buat dengan sebenarnya.

Dibuat di : Depok

Pada tanggal : 18 Juni 2010

Yang menyatakan

(Angga Purnama Putra)

ABSTRAK

Nama : Angga Purnama Putra
Program Studi : Teknik Mesin
Judul : Pengaruh variasi laju aliran air pada *venturi scrubber* terhadap reduksi tar dan bentuk flame pada sistem gasifikasi biomassa.

Tar adalah kontaminan organik yang terbentuk selama proses gasifikasi berlangsung. Tar merupakan suatu campuran yang kompleks dari hidrokarbon yang dapat berkondensasi. Jumlah dan komposisi dari tar yang dihasilkan sangat tergantung pada jenis bahan bakar, kondisi proses pirolisis dan reaksi fase gas sekunder. Syarat yang ideal untuk berat kadar tar yang keluar gasifier tidak lebih dari 1% dari berat bahan bakar yang digunakan (JH Howson, K Casnello). Oleh karenanya dalam banyak aplikasi, kandungan tar dalam *gas product* harus dikontrol untuk mencegah berbagai macam masalah yang bisa terjadi pada keseluruhan peralatan gasifikasi atau peralatan lainnya. *Venturi scrubber* merupakan salah alat pembersih yang digunakan untuk menangkap tar yang terkandung didalam gas produser. *Venturi scrubber* menggunakan air sebagai media pembersihnya. Pada penelitian ini dilakukan pengujian pada variasi laju air yang mengalir kedalam *venturi scrubber* terhadap banyaknya tar yang dapat ditangkap, sehingga didapat laju aliran air yang tepat yang dapat menangkap tar secara optimum pada *venturi scrubber* dan mengetahui seberapa jauh pengaruh dari variasi laju aliran yang dilakukan berpengaruh terhadap flame yang terjadi pada *combustion unit* di laboratorium gasifikasi batubara dan biomassa Teknik Mesin Universitas Indonesia. Pengujian dilakukan dengan empat variasi kondisi yaitu pengaturan katub reservoir 20° dengan debit aliran 17.8 ml/s, 33.96 ml/s, 45.7ml/s, 52.92 ml/s, kemudian pengaturan katub reservoir 30° dengan debit aliran 43.32 ml/s, 93.81 ml/s, 167.01 ml/s, 209.52 ml/s, dilanjutkan dengan pengaturan katub reservoir 40° dengan debit aliran 43.9 ml/s, 113.96 ml/s, 180.15 ml/s, 257.58 ml/s, dan terakhir pengaturan katub reservoir 90° dengan debit aliran 40.78 ml/s, 112.65 ml/s, 296.09 ml/s, 500.09 ml/s . Dari pengujian yang telah dilakukan didapat bahwa variasi debit air tidak berpengaruh terhadap bentuk flame yang terjadi di *combustion unit* sedangkan untuk debit aliran optimum didalam menangkap tar, terjadi pada debit aliran sebesar 33.96 ml/s. Ini dibuktikan dari warna air yang dihasilkan dari venturi scrubber. Pada kondisi debit aliran ini, warna air yang dihasilkan lebih pekat dibandingkan dengan yang lain.

Kata kunci :

Venturi scrubber, gasifikasi, tar, laju aliran air, *flame*.

ABSTRACT

Name : Angga Purnama Putra
Study Program : Teknik Mesin
Title : The Influence of water stream variety into venturi scrubber to reduce tar and the influence of stream variety to flame in gasification of biomassa.

Tar is organic contaminant which is formed during gasification. Tar is a complex mixture of condensed hydro-carbon. The amount and the composition of resulted tar depends on kind of fuel, condition of pyrolysis process and reaction of gas secondary phase. The ideal condition of weight content of tar that is resulted by gasifier is not more than 1 % out of weight of fuel is used by (JH Howson, K Casnello). Therefore, in many applications, the content of tar in gas product must be controlled to prevent appeared obstacles on the whole of gasification equipment or others. Venturi Scrubber is one of the cleaners which is used to catch tar in gas producer. Venturi Scrubber uses water as means of its cleaner. The experiment in the water stream variety in this research flows into ventury Scrubber to know how much tar that it could be caught. Thus, it is known that there is an exact water stream which could catch optimum tar in venturi Scrubber and to know how far the influence of stream variety to flame in combustion unit of coal gasification laboratory and biomass Mechanical Engineering University of Indonesia. This research was done with four condition variety main reservoir valve. First, for main reservoir valve 20°, with variation of flow rate were 17.8 ml/s, 33.96 ml/s, 45.7ml/s, 52.92 ml/s, and then for main reservoir valve 30°, with variation of flow rate were 43.32 ml/s, 93.81 ml/s, 167.01 ml/s, 209.52 ml/s, be continued for main reservoir valve 40° with variation of flow rate were 43.9 ml/s, 113.96 ml/s, 180.15 ml/s, 257.58 ml/s, and last for main reservoir valve 90° with variation of flow rate were 40.78 ml/s, 112.65 ml/s, 296.09 ml/s, 500.09 ml/s. From this research could be taken a conclusion that variation of flow rate didn't have a influence about form of flame in combustion unit and for the optimum flow rate to catch optimum tar in venturi Scrubber was 33.96 ml/s. It was proofed from the colour of water exit in venturi scrubber. In this condition, the colour of water was tough than others.

Key word :

Venturi scrubber, gasification, tars, water stream, flame.

DAFTAR ISI

HALAMAN JUDUL	i
HALAMAN PERNYATAAN ORISINALITAS	ii
HALAMAN PENGESAHAN	iii
KATA PENGANTAR	iv
HALAMAN PERNYATAAN PERSETUJUAN PUBLIKASI	
TUGAS AKHIR UNTUK KEPENTINGAN AKADEMIS	v
ABSTRAK	vi
ABSTRACT	vii
DAFTAR ISI	viii
DAFTAR GAMBAR	xi
DAFTAR TABEL	xiii
DAFTAR LAMPIRAN	xiv
DAFTAR SIMBOL	xv
BAB I PENDAHULUAN	1
I.1 Judul Penelitian	1
I.2 Latar Belakang Masalah.....	3
I.3 Perumusan Masalah	3
I.4 Tujuan Penelitian.....	3
I.5 Metodologi Penelitian	3
I.6 Batasan Masalah	3
I.7 Sistematika Penulisan	4
BAB II DASAR TEORI	5
II.1 Gasifikasi.....	5
II.2 Produk Gasifikasi.....	6
II.3 Proses Pembentukan Tar	6
II.4 Prinsip Dasar Filtrasi (<i>Scrubber</i>)	7
II.5 <i>Wet Scrubber</i>	8
II.6 Metode Pengumpulan Partikel	11
II.6.1 <i>Impaction</i>	13
II.6.2 <i>Diffusion</i>	14
II.6.3 Mekanisme Pengumpulan Lainnya	15
II.7 <i>Venturi Scrubber</i>	16
II.7.1 Prinsip Pengoperasian	17
II.8 <i>Entrainment Separator</i>	18
BAB III METODOLOGI PENGUJIAN	20
III.1 Skematik Alat Pengujian.....	20

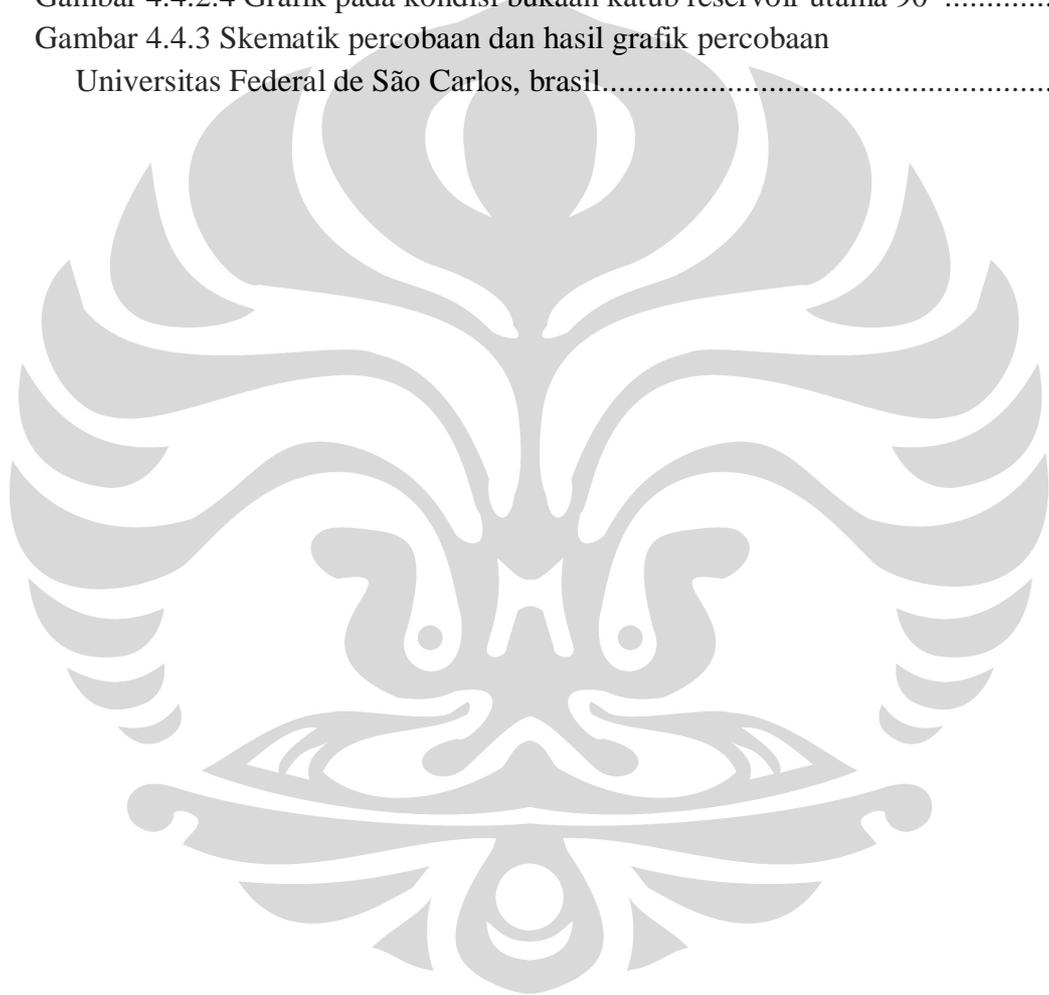
III.2	Alat Pengujian	22
III.2.1	<i>Venturi Scrubber</i>	22
III.2.2	<i>Entrainment Separator</i>	22
III.2.3	Reservoir Air Utama	23
III.2.4	Sistem Pemipaan	24
III.2.4.1	Sistem pipa air masuk reservoir	24
III.2.4.2	Sistem pipa air keluar reservoir	24
III.2.4.3	Sistem pipa air masuk <i>venturi Scrubber</i>	25
III.2.4.4	Sistem pipa air masuk <i>combustion unit</i>	26
III.2.5	Sistem bukaan katub pada reservoir utama	26
III.2.6	Sistem bukaan katub pada <i>venturi Scrubber</i>	27
III.2.7	Sistem bukaan katub pada <i>combustion unit</i>	27
III.2.8	<i>Blower</i> Hisap.....	28
III.2.9	<i>Combustion unit</i>	28
III.3	Alat Pengukuran	29
III.3.1	Termokopel.....	29
III.3.2	Display Termokopel.....	29
III.3.3	Gelas ukur.....	29
III.3.4	<i>Stopwatch</i>	30
III.3.5	Busur derajat	30
III.2.7	Tempat penampungan	30
III.4	Persiapan pengujian	31
III.4.1	Persiapan bahan bakar	31
III.4.2	Pengisian air pada reservoir utama	32
III.4.3	Persiapan dan pengaturan alat ukur.....	32
III.5	Prosedur pengujian, pengukuran, dan pengambilan data.....	32
III.5.1	Pengukuran	32
III.5.2	Penyalaaan Gasifikasi	34
III.5.3	Pengambilan data	36
III.5.4	Selesai pengujian.....	37
BAB IV	HASIL DAN ANALISA.....	38
IV.1	Hasil Pengujian.....	38
IV.2	Grafik debit aliran air	38
IV.2.1	Bukaan katub reservoir utama	38
IV.2.2	Grafik bukaan katub <i>venturi scrubber</i>	39
IV.3	Grafik temperatur <i>flame</i> dan <i>combustion unit</i>	41
IV.3.1	Grafik temperatur pada termokopel 1	41
IV.3.2	Grafik temperatur pada termokopel 2	42
IV.4	Perbandingan tar yang didapat secara visual.....	43
IV.4.1	Perbandingan warna tar dengan variasi katub Reservoir utama	44

IV.4.1.1	Bukaan katub reservoir utama 20°	44
IV.4.1.2	Bukaan katub reservoir utama 30°	44
IV.4.1.3	Bukaan katub reservoir utama 40°	45
IV.4.1.4	Bukaan katub reservoir utama 90°	46
IV.4.1.5	Analisi dan Kesimpulan	46
IV.4.2	Perbandingan warna tar dengan variasi katub <i>Venturi scrubber</i>	47
IV.4.2.1	Bukaan katub reservoir utama 20°	47
IV.4.2.2	Bukaan katub reservoir utama 30°	48
IV.4.2.3	Bukaan katub reservoir utama 40°	49
IV.4.2.4	Bukaan katub reservoir utama 90°	50
IV.4.3	Analisis hasil tar terhadap literatur	50
IV.4.4	Analisis hasil tar terhadap persamaan pada literatur.....	53
BAB V	KESIMPULAN	57
	DAFTAR PUSTAKA	58
	LAMPIRAN	59

DAFTAR GAMBAR

Gambar 2.1 Sistem Downdraft dan pembagian daerah pembakaran.....	5
Gambar 2.2 Skema Reaksi Gasifikasi dan Pembentukan Tar	7
Gambar 2.3 Contoh desain venturi scrubber	9
Gambar 2.4 Contoh desain tower scrubber	10
Gambar 2.5 <i>Impaction</i>	13
Gambar 2.6 Difusi.....	14
Gambar 2.7 Kurva hipotesis ukuran partikel dan collection efficiency.....	15
Gambar 2.8 Penampang atas <i>venturi scrubber</i> dan <i>Venturi scrubber</i>	17
Gambar 2.9 Skema aliran gas pada venturi scrubber.....	18
Gambar 2.10 Cyclonic separator	19
Gambar 3.1 Skematik alat pengujian	20
Gambar 3.2.1 <i>Venturi scrubber</i>	22
Gambar 3.2.2 <i>Entrainment Separator</i>	23
Gambar 3.2.3 Reservoir Air Utama	24
Gambar 3.2.4.1 Sistem Pemipaan air keluar reservoir.....	24
Gambar 3.2.4.2 Sistem Pemipaan air masuk <i>venturi scrubber</i>	25
Gambar 3.2.4.3 Sistem Pemipaan air masuk <i>combustion unit</i>	26
Gambar 3.2.5 Sistem bukaan katub pada reservoir utama	27
Gambar 3.2.6 Sistem bukaan katub pada <i>venturi scrubber</i>	27
Gambar 3.2.7 Sistem bukaan katub pada <i>combustion unit</i>	27
Gambar 3.2.8 <i>Blower</i> Hisap	28
Gambar 3.2.9 <i>Combustion unit</i>	28
Gambar 3.3.1 Termokopel	29
Gambar 3.3.2 Display termokopel.....	29
Gambar 3.3.3 Gelas ukur	30
Gambar 3.3.4 Busur derajat.....	30
Gambar 3.3.5 Tempat penampungan	31
Gambar 4.2.1 Grafik aliran pada reservoir utama	38
Gambar 4.2.2 Grafik aliran pada bukaan reservoir utama 20°	39
Gambar 4.2.2 Grafik aliran pada bukaan reservoir utama 30°	39
Gambar 4.2.2 Grafik aliran pada bukaan reservoir utama 40°	40
Gambar 4.2.2 Grafik aliran pada bukaan reservoir utama 90°	40
Gambar 4.3.1 Termokopel 1.....	41
Gambar 4.3.1 Grafik temperatur termokopel 1 vs debit aliran <i>venturi scrubber</i>	41
Gambar 4.3.2 Termokopel 2.....	42
Gambar 4.3.2 Grafik temperatur termokopel 2 vs debit aliran <i>venturi scrubber</i>	43
Gambar 4.4.1.1 Perbandingan warna tar pada katub reservoir utama 20°	44

Gambar 4.4.1.2 Perbandingan warna tar pada katub reservoir utama 30°	45
Gambar 4.4.1.3 Perbandingan warna tar pada katub reservoir utama 40	45
Gambar 4.4.1.4 Perbandingan warna tar pada katub reservoir utama 90°	46
Gambar 4.4.2.1 Grafik pada kondisi bukaan katub reservoir utama 20°	48
Gambar 4.4.2.2 Grafik pada kondisi bukaan katub reservoir utama 30°	48
Gambar 4.4.2.3 Grafik pada kondisi bukaan katub reservoir utama 40°	49
Gambar 4.4.2.4 Grafik pada kondisi bukaan katub reservoir utama 90°	50
Gambar 4.4.3 Skematik percobaan dan hasil grafik percobaan	
Universitas Federal de São Carlos, brasil	52



DAFTAR TABEL

Tabel 2.1 Produk gas yang dihasilkan gasifikasi.....	6
Tabel 2.2 Mekanisme pengumpulan partikel	13
Tabel 3.5.1 <i>Flow chart</i> pengukuran.....	33
Tabel 3.5.3 <i>Flow chart</i> pengambilan data.....	36
Tabel 4.4.2 Konversi kepekatan warna tar dengan angka.....	47
Tabel 4.4.2.1 Tabel debit aliran dengan nilai kepekatan	47
Tabel 4.4.2.2 Tabel debit aliran dengan nilai kepekatan	48
Tabel 4.4.2.3 Tabel debit aliran dengan nilai kepekatan	49
Tabel 4.4.2.4 Tabel debit aliran dengan nilai kepekatan	50



DAFTAR LAMPIRAN

Lampiran 1 Bahan bakar yang digunakan pada pengujian dan Data aliran air dari reservoir utama	59
Lampiran 2 Data aliran air dengan variasi katub reservoir	50
Lampiran 3 Temperatur <i>flame</i> pada <i>combustion</i> unit	62



DAFTAR SIMBOL

Simbol	Keterangan	Satuan
Q	Debit air	ml/s
T	Temperatur	°C
Degree	Derajat	Derajat
D	Ukuran droplet	m
v_{rel}	Kecepatan relative air-gas	m/s
σ	Tegangan permukaan dari liquid	N/m
ρ_l	Density liquid	kg/m ³
μ_l	Viskositas liquid	N s/m
Q_l	Debit liquid	m ³
Q_g	Debit gas	m ³
D_d	Diameter rata-rata droplet yang terbentuk	m
d_p	Diameter partikel	m
V_g	Kecepatan gas	m/s
ψ	Penangkapan secara inertial	
Pe	Penangkapan secara difusi	
μ_g	Viskositas dinamik gas	N s/m
ρ_p	Kerapatan partikel	kg/m ³
K_B	Konstanta Boltzmann ($1,38 \times 10^{-23}$)	J/K
C	Konstantas Cunningham	
T	Temperatur	K

BAB I

PENDAHULUAN

I.1 Judul Penelitian

Pengaruh variasi laju aliran air pada *venturi scrubber* terhadap reduksi tar dan bentuk *flame* pada sistem gasifikasi biomassa.

I.2 Latar Belakang Masalah

Gasifikasi adalah suatu proses termokimia yang mengubah bahan bakar padat menjadi gas mampu bakar. Gas yang dihasilkan dari proses gasifikasi ini dapat digunakan untuk pemanasan, pembangkit dan penggerak mesin pembakaran seperti mesin diesel. Hasil dari proses gasifikasi adalah produser gas serta unsur pengotor seperti tar dan ash.

Gasifikasi merupakan suatu metode yang digunakan untuk mengurangi emisi yang dihasilkan apabila bahan bakar seperti batubara dibakar secara langsung. Gas produser yang dihasilkan oleh proses gasifikasi adalah campuran gas mampu bakar (seperti CO, H₂, CH₄) dan gas tidak mampu bakar (seperti CO₂, N₂, tar dan ash). Jumlah unsur-unsur dalam gas produser tergantung dari jenis bahan bakar yang digunakan dan kondisi operasional.

Pengotor atau kontaminan partikel dan organik, seperti tar merupakan suatu masalah yang harus dihadapi pada proses gasifikasi baik menggunakan bahan bakar biomassa maupun batubara. Apabila gas produser digunakan langsung untuk pemanasan tidak akan menimbulkan masalah tetapi apabila gas produser digunakan seperti pada mesin diesel maka jika tidak dilakukan filtrasi terhadap tar yang dihasilkan dari proses gasifikasi maka akan mempengaruhi baik performa maupun kemungkinan terjadinya percepatan keausan dari mesin. Oleh karena itu, untuk mengeliminasi kandungan-kandungan yang tidak diinginkan digunakan *dry scrubber* dan *wet scrubber*.

Pada laboratorium gasifikasi biomassa dan batubara di jurusan Teknik Mesin Universitas Indonesia, digunakan pengeleminasian jenis *dry scrubber* menggunakan *cyclon* dan *separator*, dan *wet scrubber* menggunakan sistem *venturi scrubber*. Penelitian ini merupakan penelitian lanjutan yang telah

dilakukan sebelumnya oleh Panji Khairumizan pada tahun 2008 dengan judul Studi eksperimental implementasi *venturi scrubber* pada sistem gasifikasi batubara. Pada penelitian sebelumnya telah dilakukan perancangan *venturi scrubber* dan pengujiannya, tetapi dikarenakan sumber air yang digunakan tidak memiliki aliran yang konstan, maka dilakukan kembali pengujian dengan membuat suatu sistem penampungan air sebagai sumber utama air yang mengalir kedalam *venturi scrubber*. Penelitian ini hanya difokuskan pada *venturi scrubber*, untuk mengetahui seberapa besar tar yang berhasil tertangkap didalam *venturi scrubber* berdasarkan variasi aliran air yang digunakan.

I.3 Perumusan Masalah

Berdasarkan pengujian yang telah dilakukan di laboratorium gasifikasi, terdapat masalah-masalah yang ada pada *venturi scrubber* dan telah diidentifikasi sebagai berikut:

1. Laju aliran air yang masuk kedalam sistem *venturi scrubber* tidak konstan, sehingga variasi bukaan katub aliran air tidak bisa dilakukan dengan baik.
2. Cara pengukuran banyak tar yang didapat dari *venturi scrubber*.
3. Pengaruh bentuk flame yang terjadi pada *combution unit* terhadap berbagai variasi aliran air pada *venturi scrubber*.

I.4 Tujuan Penelitian

Penelitian ini merupakan penelitian lanjutan yang telah dilakukan sebelumnya oleh Panji Khairumizan pada tahun 2008 dengan judul Studi eksperimental implementasi *venturi scrubber* pada sistem gasifikasi batubara. Pada penelitian sebelumnya telah dilakukan perancangan *venturi scrubber* dan pengujiannya, tetapi dikarenakan sumber air yang digunakan tidak memiliki aliran yang konstan, maka dilakukan kembali pengujian dengan membuat suatu sistem penampungan air sebagai sumber utama air yang mengalir kedalam *venturi scrubber* sehingga pada pengujian ini didapat :

1. Laju optimum aliran air ke *venturi scrubber*.
2. Perbandingan tar yang dihasilkan pada setiap laju aliran air.

3. Melihat pengaruh dari *venturi scrubber* terhadap nyala *flame* yang terjadi.

I.5 Metodologi Penelitian

Metodologi penelitian dalam penulisan tugas akhir ini adalah sebagai berikut :

1. Persiapan Eksperimental
 - Identifikasi masalah yang akan dibahas
 - Penelusuran literatur
2. Pengujian dan Pengambilan Data
 - Pengukuran laju aliran air yang masuk kedalam *venturi scrubber* menggunakan gelas ukur dan stopwatch.
 - Pengambilan sampel air yang keluar dari sistem *venturi scrubber*.
 - Pengukuran temperatur pada *combustion unit* dengan laju alir air yang berbeda.
 - Perbandingan dan visualisasi foto dari sampel air yang keluar dari sistem *venturi scrubber*.
3. Hasil dan Analisa
 - Grafik variasi laju alir air terhadap bukaan katub.
 - Grafik variasi temperatur terhadap variasi laju air pada *combustion unit*.
 - Perbandingan visual air sebelum percobaan dan hasil percobaan.
 - Analisa grafik variasi laju air terhadap bukaan katub
 - Analisa grafik variasi temperatur terhadap variasi laju air pada *combustion unit*.
4. Kesimpulan

I.6 Batasan Masalah

Penelitian hanya dilakukan pada *venturi scrubber* yang telah ada. Perubahan hanya dilakukan pada penyuplaian aliran air kedalam *venturi scrubber* sehingga didapat variasi laju air terhadap hasil tar yang ditangkap oleh *venturi scrubber*.

I.7 Sistematika Penulisan

Penulisan skripsi ini dikelompokkan menjadi beberapa bab. Bab-bab tersebut saling berurutan sehingga membentuk suatu bahasan yang berkesinambungan. Pembahasan diawali dengan pendahuluan dan diakhiri dengan bab kesimpulan. Selengkapnya, bab-bab tersebut adalah:

Bab I PENDAHULUAN

Bab ini berisi latar belakang masalah mengapa penelitian ini dilakukan, perumusan masalah, tujuan penelitian dan batasan masalah.

Bab II Dasar Teori

Bab ini akan menguraikan tentang dasar-dasar teori yang menjadi dasar pengujian.

Bab III METODE PENELITIAN

Pada bab ini diuraikan tentang skematik alat pengujian, alat pengujian, alat pengukuran, persiapan pengujian, prosedur percobaan serta metoda pengambilan data.

Bab IV HASIL DAN ANALISA

Bab ini berisi analisa hasil pengolahan data yang diperoleh dari percobaan di laboratorium kemudian dibandingkan terhadap teori yang dibahas pada bab II.

Bab V KESIMPULAN

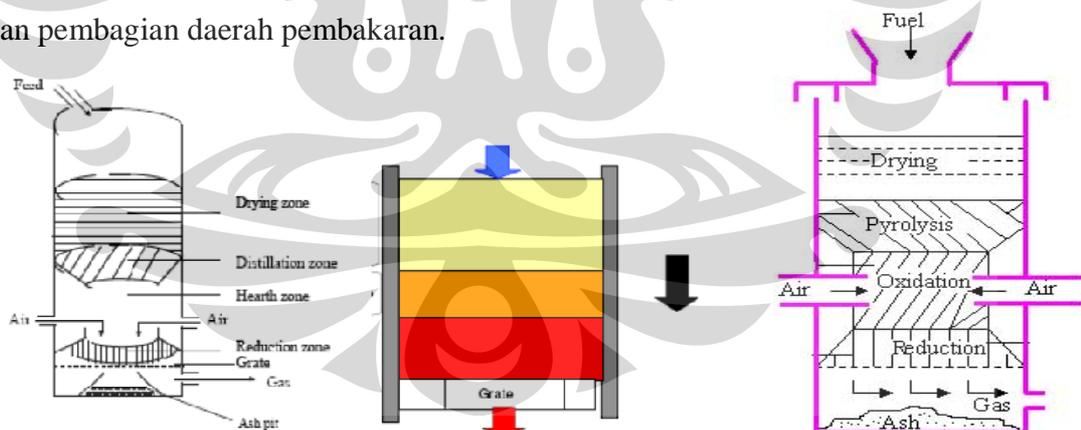
Kesimpulan akan memberikan gambaran ringkas keseluruhan metode, apa yang telah dilakukan dan hasil analisa. Kesimpulan ini diharapkan dapat memberikan referensi untuk menentukan bukaan katub *reservoir* utama dan bukaan katub *venturi scrubber* yang tepat agar didapat tar pada pembuangan *venturi scrubber* yang optimum dan panas yang ditangkap oleh aliran air yang masuk ke *burner* yang optimum juga.

BAB II DASAR TEORI

II.1 Gasifikasi

Gasifikasi adalah suatu teknologi proses yang mengubah bahan padat menjadi gas. Bahan padat yang dimaksud adalah bahan bakar padat termasuk didalamnya, biomass, batubara, dan arang dari proses *oil refinery*. Pada pengujian ini digunakan bahan bakar biomassa yaitu tempurung kelapa. Hal ini dikarenakan pemanfaatan tempurung kelapa sekarang baru sebatas dibakar untuk menghasilkan arang aktif. Tempurung kelapa merupakan salah satu biomassa yang berpotensi untuk dapat menghasilkan energy. Indonesia menghasilkan 1,1 juta ton/tahun tempurung dengan kemungkinan energi yang dapat dihasilkan $18,7 \times 10^6$ GJ/tahun^[1].

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



Gambar 2.1 Sistem Downdraft dan pembagian daerah pembakaran^[2]

Pembagian daerah pembakaran yang terjadi pada proses gasifikasi^[3] :

- Zona Pengeringan, Bahan bakar pada daerah ini akan melepaskan kandungan air dan menjadi kering karena pengaruh panas dari pembakaran yang berlangsung di bagian bawah daerah ini. Pada zona pengeringan ini terjadi

perubahan fasa air menjadi uap air yang akan mengalami proses kimia selanjutnya

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

II.2 Produk Gasifikasi

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

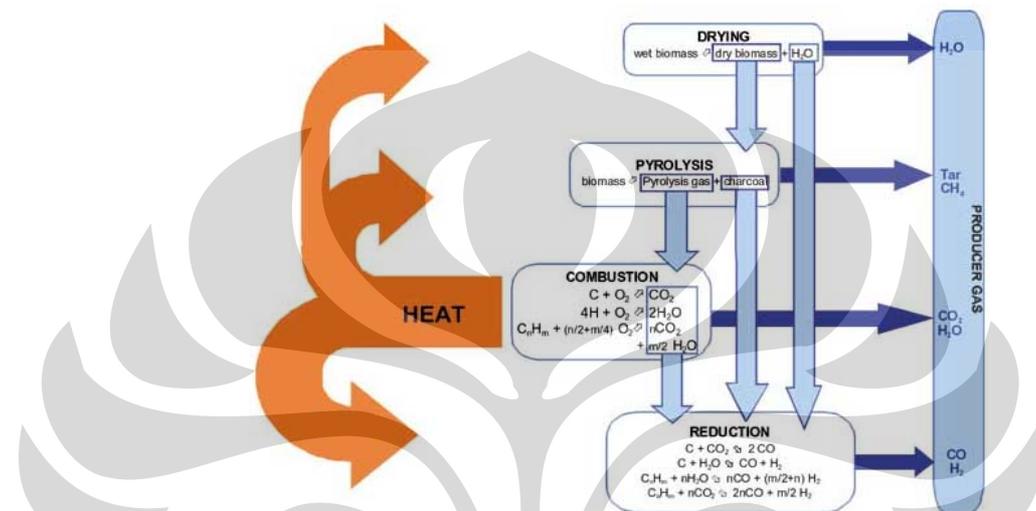
Hasil Gasifikasi	Gas Kotor yang belum dibersihkan	Perlu Dihilangkan sebelum Operasi Sintesa	Komposisi gas bersih
Gas yang dihasilkan	CO, H ₂ , CH ₄ , H ₂ S, NH ₃ , dan Partikulat	H ₂ S, NH ₃	CO, H ₂ , CH ₄

Tabel 2.1 Produk Gas yang dihasilkan dari proses gasifikasi^[4]

II.3 Proses Pembentukan Tar

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

Tar tidak akan menjadi masalah jika tidak berkondensasi. Ketika proses gasifikasi masuk tahap pirolisis dengan temperatur antara 800 – 900°C, berdasar analisa, berat tar yang terbentuk berkisar antara 1 – 2% dari berat bahan bakar kering. Saat temperatur 800°C, tar yang terbentuk utamanya adalah jenis hidrokarbon aromatik. Pada 900°C, banyaknya jenis dan total jumlahtar berkurang lebih lanjut^[5].



Gambar 2.2 Skema Reaksi Gasifikasi dan Pembentukan Tar^[2]

Namun bagaimanapun ketika gas didinginkan maka akan timbul permasalahan berupa terjadinya kontaminasi baik pada pendingin gas aliran kebawah maupun peralatan pembersih gas hasil gasifikasi. Oleh karenanya, dalam banyak aplikasi, kandungan tar dalam *gas product* harus dikontrol untuk mencegah bermacam masalah yang bisa terjadi pada keseluruhan peralatan gasifikasi.

II.4 Prinsip Dasar Filtrasi (*Scrubber*)

Sistem filtrasi (*scrubber*) adalah kumpulan berbagai macam alat kendali polusi udara yang dapat digunakan untuk membuang partikel atau gas dari arus gas keluaran industri^[6]. Gas hasil pembakaran dari dalam reaktor biasanya masih bercampur dengan berbagai unsur-unsur yang tidak diperlukan atau bahkan dapat mengganggu apabila digunakan dalam proses selanjutnya sebagai contoh untuk mesin penggerak, selain itu juga masih mempunyai temperatur yang tinggi. Oleh

karena itu gas yang keluar selalu didinginkan serta dibersihkan terlebih dahulu dengan cara melewati dalam suatu unit penyaring atau filtrasi.

Terdapat dua macam jenis filtrasi (*scrubber*) yang biasa digunakan, yaitu dengan cara basah (contoh : *wet scrubber* dan *spray scrubber*) atau dengan cara kering (contoh : *cyclone* dan *separator*). Prinsip dasar dari semua jenis filtrasi (*scrubber*) adalah sama yaitu membersihkan gas dari unsur-unsur seperti senyawa-senyawa sulphur, senyawa-senyawa nitrogen, debu yang terangkut oleh gas, kelembaban dari gas, Temperatur gas, serta produk dari distilasi yaitu tar, minyak, gas-gas yang tak terkondensasi dan uap air^[3]. Sehingga gas yang dihasilkan dari unit filtrasi ini diharapkan telah bersih dan aman untuk dipergunakan kembali seperti menghidupkan mesin penggerak.

Pada Laboratorium Gasifikasi dan Biomasa, jenis sistem filtrasi yang digunakan adalah cara basah dan kering, Filtrasi kering yaitu *cyclone* yang digunakan untuk memfiltrasi terlebih dahulu gas sebelum masuk kedalam *wet scrubber*, sehingga diharapkan dengan bergerak sentrifugal kebawah partikel-partikel (pengotor) akan jatuh kebawah sehingga yang masuk ke *wet scrubber* hanya tinggal partikel-partikel yang berukuran kecil. Kemudian yang kedua adalah *wet scrubber*, gas hasil pembakaran yang telah keluar dari *cyclon* akan masuk kedalam *wet scrubber* lalu masuk kedalam separator sehingga gas yang keluar diharapkan benar-benar bersih sesuai standar yang ada.

II.5 *Wet Scrubber*

Wet scrubber adalah istilah yang digunakan untuk menggambarkan variasi alat yang menggunakan cairan untuk membuang polutan. Pada *wet scrubber*, arus gas kotor dibawa menuju kontak dengan cairan pencuci dengan cara menyemprotkan, mengalirkannya atau dengan metode kontak lainnya. Tentu saja desain dari alat kontrol polusi udara (termasuk *wet scrubber*) tergantung pada kondisi proses industri dan sifat alami polutan udara yang bersangkutan.

Karakteristik *exhaust gas* dan sifat debu, jika terdapat partikel, adalah hal yang sangat penting. *Scrubber* dapat didesain untuk mengumpulkan polutan partikel dan /atau gas. *Wet scrubber* membuang partikel dengan cara menangkapnya dalam tetesan atau butiran cair. Sedangkan untuk polutan gas

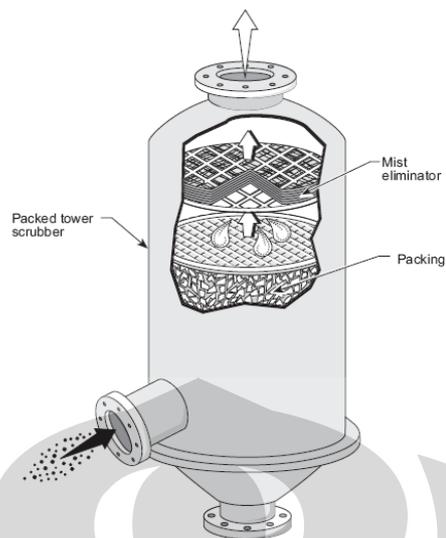
proses *wet scrubber* adalah dengan melarutkan atau menyerap polutan ke dalam *liquid*. Adapun butiran *liquid* yang masih terdapat dalam arus gas pasca pencucian selanjutnya harus dipisahkan dari gas bersih dengan alat lain yang disebut *mist eliminator* atau *entrainment separator*.

Terdapat banyak konfigurasi *scrubber* dan sistem *scrubber*, semuanya didesain untuk menyediakan kontak yang baik antara *liquid* dan gas kotor. Gambar 2.3 dan 2.4 menunjukkan dua contoh desain *wet scrubber*, termasuk *entrainment separator*nya.. *Mist eliminator* untuk *venturi scrubber* biasanya adalah alat terpisah yang disebut *cyclonic separator*. Gambar 2.4 memiliki desain tower dimana *mist eliminator* dibangun di atas struktur.



Gambar 2.3 Contoh desain venturi scrubber

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



Gambar 2.4 Contoh desain tower scrubber

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

Kemampuan *wet scrubber* untuk mengumpulkan partikulat berukuran kecil seringkali berhubungan langsung atau proporsional dengan *input power scrubber*. Alat *low energy* seperti *spray tower* digunakan untuk mengumpulkan partikel lebih besar dari 5 micrometer . Untuk menghasilkan efisiensi tinggi dari pembuangan partikel 1 mikrometer (atau kurang) umumnya membutuhkan alat *high energy* seperti venturi atau alat besar seperti *condensation scrubber*. Sebagai tambahan, *entrainment separator* yang didesain dan dioperasikan dengan baik penting untuk mendapatkan efisiensi pembuangan yang tinggi, semakin besar jumlah butiran liquid yang tidak tertangkap oleh *mist eliminator*, semakin besar potensi level emisi potensial.

Wet scrubber yang membuang polutan gas disebut *absorber*. Kontak gas-liquid yang baik sangat penting untuk menghasilkan efisiensi pembuangan yang tinggi pada *absorber*. Sejumlah desain *wet scrubber* digunakan untuk membuang polutan gas, dengan *packed tower* dan *plate tower* menjadi yang umum digunakan. Apabila arus gas produser mengandung kedua polutan gas dan partikel, *wet scrubber* secara umum adalah satu-satunya alat kendali polusi udara yang dapat membuang kedua jenis polutan. *Wet scrubber* dapat menghasilkan

efisiensi pembuangan yang tinggi untuk polutan partikel atau gas, bahkan pada contoh tertentu, dapat memperoleh efisiensi pembuangan yang tinggi untuk kedua polutan pada sistem yang sama. Bagaimanapun juga, di kebanyakan kasus, kondisi operasi terbaik untuk pembuangan partikel adalah yang terburuk bagi pembuangan gas. Secara umum, menghasilkan efisiensi pembuangan partikel dan gas tinggi bersamaan membutuhkan sifat salah satu polutan mudah untuk dibuang (gas yang sangat larut dalam liquid atau partikel yang cukup besar dan mudah tertangkap).

Sebagai alat pengendali partikel, *wet scrubber* (disebut juga *wet collector*) dinilai performanya terhadap *fabric filter* dan *electrostatic precipitator* (ESPs). Beberapa keunggulan *wet scrubber* dibandingkan alat-alat tersebut adalah :

- *Wet scrubber* memiliki kemampuan untuk mengatasi temperatur dan kelembapan tinggi.
- Pada *wet scrubber*, *flue gas* didinginkan, menghasilkan kebutuhan ukuran peralatan yang lebih kecil secara keseluruhan.
- *Wet scrubber* dapat membuang baik polutan gas maupun partikel padat.
- *Wet scrubber* dapat menetralkan gas yang korosif.

Sedangkan kelemahan *wet scrubber* adalah korosi, kebutuhan akan *mist removal* untuk menghasilkan efisiensi tinggi, dan kebutuhan akan *treatment* atau penggunaan kembali liquid pencuci.

II.6 Metode Pengumpulan Partikel

Wet scrubber menangkap partikel debu yang kecil relatif terhadap butiran liquid yang besar. Di kebanyakan *wet scrubber*, droplet yang dihasilkan biasanya adalah lebih dari 50 mikrometer (dalam range 150 – 500 mikrometer). Sebagai tolak ukur, ukuran diameter rambut manusia berkisar antara 50 sampai 100 mikrometer. Distribusi ukuran partikel yang akan dibuang dalam sistem tergantung dari sumber. Contohnya, partikel yang dihasilkan dari peralatan mekanik (*crush* atau *grind*) cenderung besar (di atas 10 mikrometer), sedangkan partikel yang berasal dari *combustion* atau reaksi kimia akan memiliki partikel yang kecil (kurang dari 5 mikrometer) atau berukuran submikrometer. Ukuran partikel yang paling kritis adalah antara 0,1 – 0,5 mikrometer karena partikel

dengan ukuran tersebut adalah yang paling sulit dikumpulkan atau dibuang oleh *wet scrubber*. Droplet atau butiran air dihasilkan dengan beberapa metode sebagai berikut :

- Injeksi liquid pada tekanan tinggi melalui nozzle yang didesain khusus.
- Mengalirkan arus gas menuju kolam liquid.
- Membenamkan rotor yang berputar dalam kolam liquid.

Droplet – droplet tersebut mengumpulkan partikel dengan menggunakan satu atau lebih mekanisme pengumpulan. Mekanisme tersebut adalah *impaction*, *direct interception*, *diffusion*, *electrostatic attraction*, *condensation*, *centrifugal force*, dan gravitasi yang akan dijelaskan pada tabel 2.2 di bawah ini. Namun *impaction* dan *diffusion* dua mekanisme yang utama.

Mekanisme	Penjelasan
<i>Impaction</i>	Partikel yang terlalu besar untuk mengalir disepanjang arus streamline gas di sekitar droplet akan bertubrukan dengannya.
Difusi	Partikel yang sangat kecil bergerak secara acak , bertubrukan dengan droplet karena mereka terkurung dalam ruang yang terbatas.
<i>Direct interception</i>	Kelanjutan dari mekanisme <i>impaction</i> . Titik pusat partikel mengikuti streamline sekitar droplet, namun peleburan terjadi jika jarak antara partikel dan droplet kurang dari radius partikel.
<i>Electrostatic attraction</i>	Partikel dan droplet menjadi saling berlawanan dan tertarik satu sama lain.
Kondensasi	Ketika gas panas menjadi dingin dengan cepat, partikel dalam arus gas dapat bertindak sebagai inti kondensasi, dan akhirnya semakin besar.
Gaya sentrifugal	Bentuk atau kurvatur dari sistem menyebabkan arus gas berputar dalam gerakan spiral, melemparkan partikel besar ke dinding sistem.

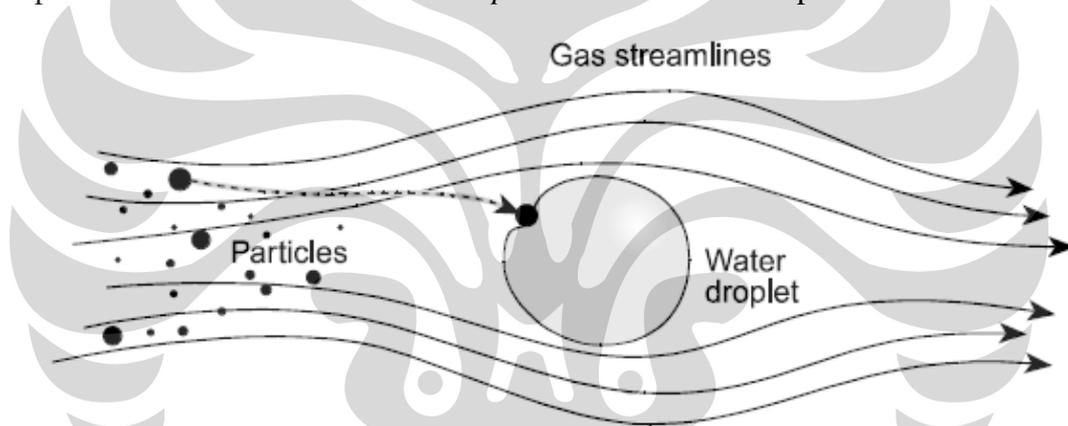
Gravitasi	Partikel yang cukup besar dan bergerak lambat akan jatuh dan dikumpulkan.
-----------	---

Tabel 2.2 Mekanisme pengumpulan partikel

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

II.6.1 *Impaction*

Pada sistem *wet scrubber*, partikel debu cenderung untuk mengikuti streamline dari arus gas. Namun, ketika droplet liquid diinjeksikan ke dalam arus gas, partikel tidak dapat selalu mengikuti streamline tersebut karena partikel akan menyimpang di sekitar droplet (gambar 2.5). Massa partikel menyebabkan partikel labil dari streamline dan *impact* atau menabrak droplet.

Gambar 2.5 *Impaction*

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

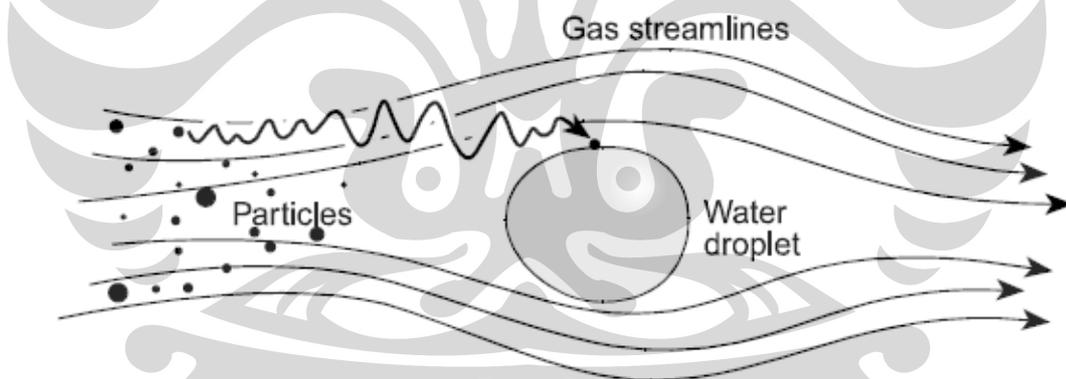
Impaction meningkat seiring dengan bertambahnya ukuran diameter partikel dan kecepatan relatif antara partikel dan droplet. Semakin besar ukuran partikel, semakin susah ia untuk mengikuti arus streamline di sekitar droplet. Dan juga jika partikel bergerak lebih cepat relatif terhadap droplet liquid, maka kesempatan partikel akan menabrak droplet semakin besar. *Impaction* adalah mekanisme pengumpulan yang paling dominan untuk *scrubber* yang memiliki kecepatan arus gas lebih dari 0.3m/s (1 ft/s) (Perry 1973). Kebanyakan *scrubber* memang beroperasi dengan kecepatan di atas 0.3m/s. Oleh karena itu, pada

kecepatan ini, partikel dengan diameter lebih besar dari 1.0 μm dapat terkumpul oleh mekanisme ini.

Impaction juga meningkat seiring berkurangnya ukuran droplet liquid, karena kehadiran droplet yang lebih banyak di dalam vessel meningkatkan kecenderungan partikel akan menabrak droplet.

II.6.2 Diffusion

Partikel yang sangat kecil (kurang dari 0.1 μm dalam diameter) selalu bergerak secara acak dalam arus gas. Partikel-partikel tersebut sangat kecil sehingga seperti menyatu dengan molekul gas saat bergerak dalam arus gas. Sifat bercampur tersebut menyebabkan partikel tersebut untuk bergerak satu arah dahulu lalu arah lain dalam gerakan acak, atau terdifusi, di dalam gas. Gerakan tidak beraturan ini dapat menyebabkan partikel bertabrakan dengan droplet dan terkumpul (gambar 2.6). Karena itu, difusi adalah mekanisme pengumpulan utama untuk *wet scrubber* untuk partikel lebih kecil dari 0.1 μm .



Gambar 2.6 Difusi

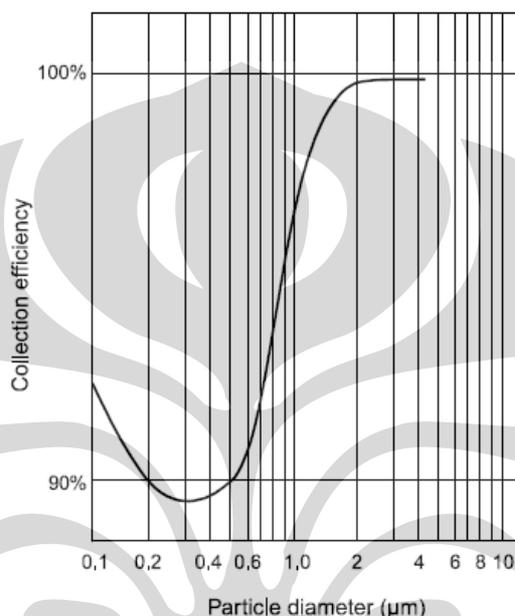
(sumber : Gerald T. Joseph, Scrubber system operation review Self-instructional manual, North Carolina State University)

Laju difusi tergantung pada :

- Kecepatan relatif antara partikel dan droplet.
- Diameter partikel.
- Diameter droplet.

Untuk *Impaction* dan difusi, *collection efficiency* meningkat seiring meningkatnya kecepatan relatif (input tekanan liquid atau gas) dan penurunan ukuran liquid-

droplet. Bagaimanapun juga, pengumpulan polutan dengan cara difusi meningkat seiring menurunnya ukuran partikel. Mekanisme ini memungkinkan *scrubber* tertentu untuk secara efektif membuang partikel yang sangat kecil (kurang dari 0.1 μm). Dalam range partikel kira-kira 0.1 – 1.0 μm , tidak ada mekanisme pengumpulan yang mendominasi baik *impaction* atau difusi. Hubungan ini digambarkan dalam gambar 2.7.



Gambar 2.7 Kurva hipotesis yang menggambarkan hubungan antara ukuran partikel dan collection efficiency untuk wet scrubber (sumber : Gerald T. Joseph, Scrubber system operation review Self-instructional manual, North Carolina State University)

II.6.3 Mekanisme Pengumpulan Lainnya

Beberapa tahun terakhir ini, beberapa produsen manufaktur *scrubber* telah menelaah mekanisme pengumpulan yang lain seperti *electrostatic attraction* dan *condensation* untuk memaksimalkan pengumpulan partikel tanpa meningkatkan konsumsi power. Pada *electrostatic attraction*, partikel ditangkap dengan cara discharge terlebih dahulu. Lalu, partikel yang telah terisi akan terikat satu sama lain, membentuk partikel yang lebih besar dan mudah untuk dikumpulkan, atau terkumpul di permukaan. *Condensation* uap air pada partikel memicu pengumpulan dengan menambah massa pada partikel. Mekanisme lain seperti

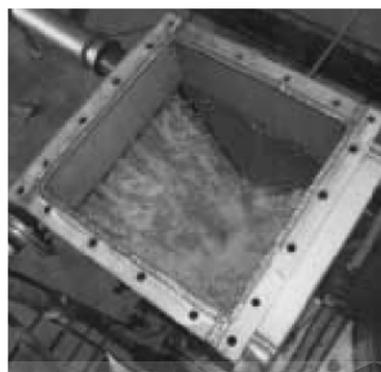
gravitasi, gaya sentrifugal, dan direct interception sedikit mempengaruhi pengumpulan partikel.

II.7 Venturi Scrubber

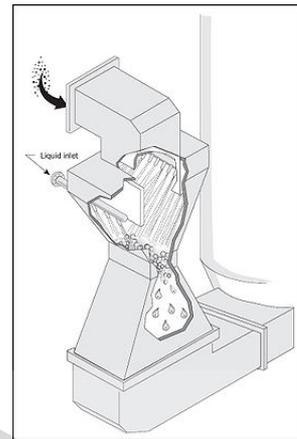
Venturi scrubber didesain secara efektif menggunakan energi dari aliran gas masuk untuk mengatomisasi air yang digunakan untuk menyaring aliran gas. *Venturi scrubber* menggunakan prinsip diferensial antara gas yang memiliki kecepatan yang tinggi dan aliran beban dari air untuk membuat droplet-droplet yang akan menangkap pengotor, dan membuat pengotor terkumpul seperti kumpulan lumpur yang akan dialirkan ke pembuangan.

Venturi scrubber terdiri dari tiga bagian, pertama *converging section*, *throat section*, *diverging section*^[7]. Aliran gas masuk kedalam *converging section*, karena bentuk venturi mengecil maka kecepatan gas akan bertambah. Air dimasukkan pada bagian awal *converging section* atau ketika memasuki bagian *throat*. Aliran gas yang masuk yang memiliki kecepatan yang tinggi pada bagian *throat* yang kecil, aliran air yang mengalir pada dinding venturi pada saat mencapai *throat* akan menghasilkan droplet-droplet air dalam jumlah yang banyak. Partikel dan gas buang yang terjadi pada *throat section* karena percampuran aliran gas yang masuk dengan dinding kabut dari droplet-droplet air. Aliran gas yang masuk kemudian keluar melewati *diverging section*.

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



Flooded inlet eliminates wet/dry interface build-up problems.



a

b

Gambar 2.8 a) Penampang atas venturi scrubber, b) Venturi scrubber
(sumber : Wet scrubber application guide, SLY inc Technology for a Clean Environment)

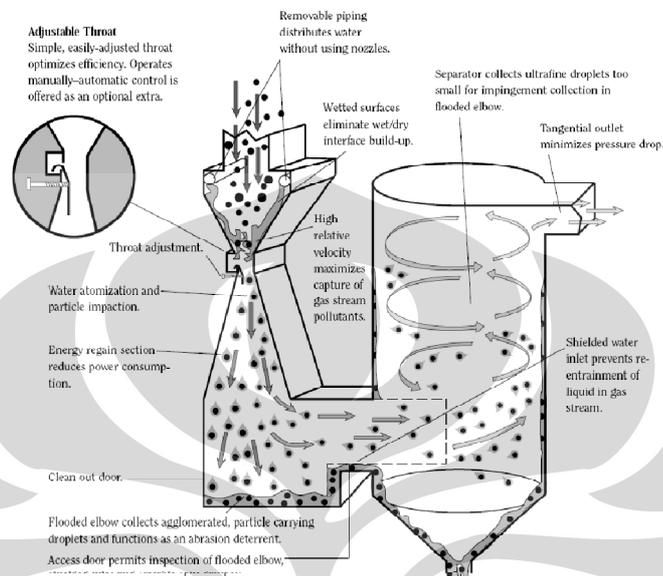
Keuntungan^[6] :

1. Sederhana, dengan mudah disesuaikan dengan pengaturan tekanan pada throat untuk efisiensi maksimum.
2. Bagian bawah yang berbentuk siku terbanjari yang berfungsi untuk mengumpulkan droplet-droplet dari pengotor.
3. Mempunyai ketahanan terhadap temperatur dan korosi yang tinggi.
4. Dapat difungsikan pada konsentrasi pengotor yang tinggi sebagai pembuangan air.

II.7.1 Prinsip Pengoperasian

Gas yang masuk yang memiliki kecepatan yang tinggi sampai pada tenggorokan dari *scrubber* akan kontak dengan air yang masuk sebagai penangkap pengotor. Air akan diatomisasi ke dalam bentuk droplet-droplet yang akan menangkap partikel-partikel pengotor dengan efisiensi yang tinggi. Gas yang telah bersih akan berkurang kecepatannya dan masuk kedalam separator, sedangkan droplet-droplet yang telah menangkap pengotor akan jatuh ke bagian bawah dari scrubber yang telah terbanjiri, sehingga mudah untuk dibuang, sedangkan droplet-droplet yang kecil akan terkumpul juga pada saat gas masuk kedalam separator. Penurunan tekanan pada saat melewati tenggorokan *scrubber*, menjadi suatu ukuran dari energi yang diperlukan untuk mengatomisasi air yang digunakan

untuk membuat droplet-droplet dan performa dari pembersihan gas. Penurunan tekanan yang tinggi, menghasilkan efisiensi yang tinggi juga untuk pengumpulan pengotor.



Gambar 2.9 Skema aliran gas pada venturi scrubber

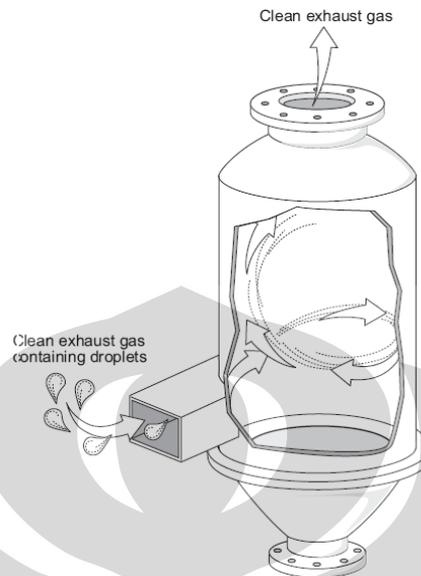
(sumber : Wet scrubber application guide, SLY inc Technology for a Clean Environment)

II.8 *Entrainment Separator*

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

Liquid yang terbawa memiliki ukuran yang bervariasi tergantung bagaimana droplet terbentuk. Droplet yang terbentuk secara fisik dari liquid (air) cukup besar (10 – 100 μm dalam diameter), sedangkan droplet yang terbentuk akibat reaksi kimia atau kondensasi berdiameter sekitar 5 μm atau kurang. Sejumlah tipe *entrainment separator* mampu memisahkan droplet tersebut, yang

paling banyak digunakan untuk tujuan pengendalian polusi udara adalah *cyclonic*, *mesh-pad*, dan *blade separator*.



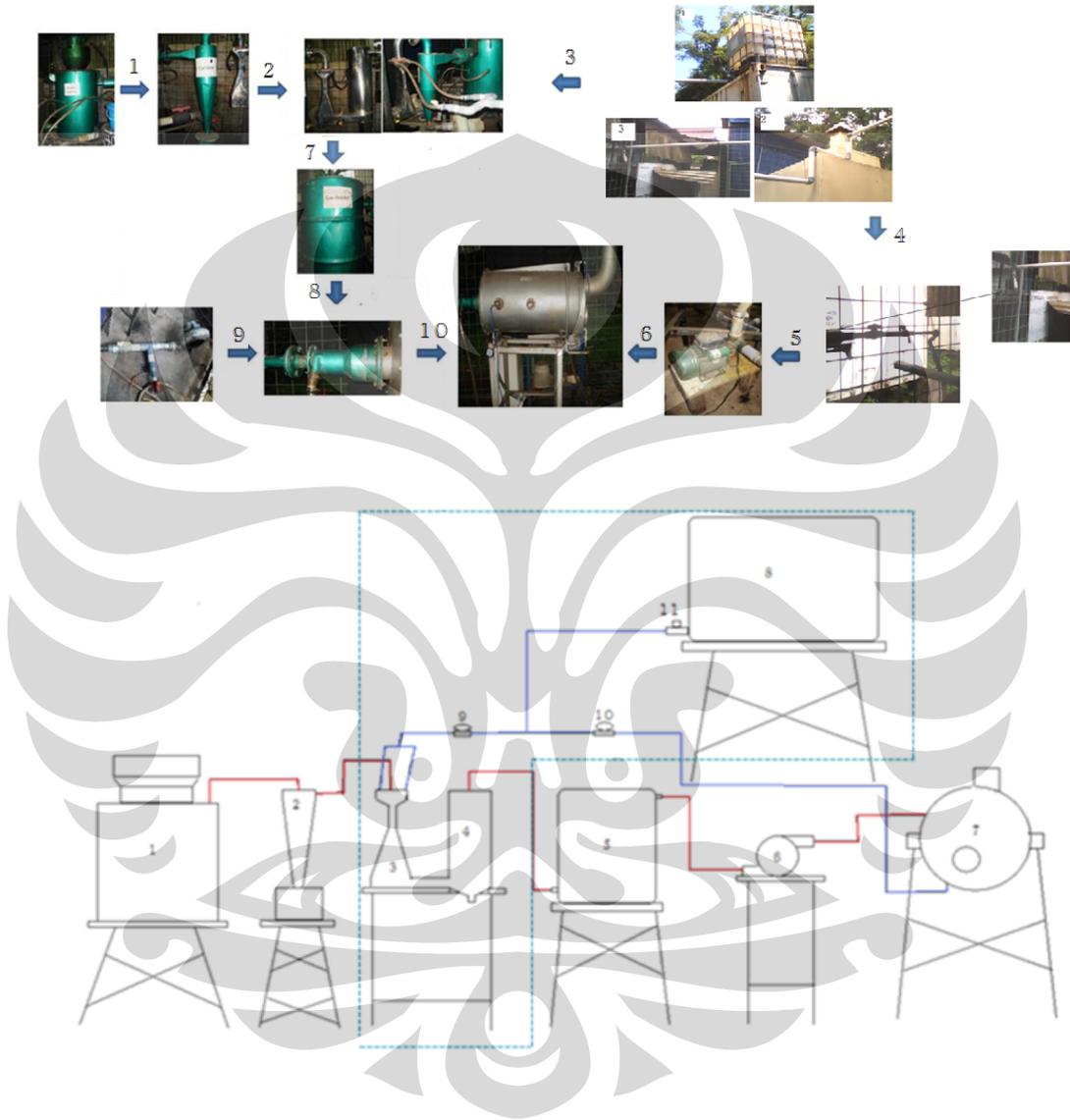
Gambar 2.10 Cyclonic separator

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

Cyclonic (centrifugal) separator yang biasanya digunakan bersama *venturi scrubber*, adalah sebuah tanki silinder dengan *inlet tangensial* dan vane pembelok. *Inlet tangensial* atau vane pembelok menciptakan gerakan memutar pada campuran arus gas-droplet. Droplet akan terlempar menuju dinding silinder akibat gaya centrifugal. Pada gambar 2.9 terlihat bahwa droplet bersatu dan jatuh turun dari dinding silinder menuju pusat lokasi dan akan didaur ulang. Konstruksi seperti ini tidak memiliki part atau bagian bergerak. Namun, memiliki masalah *plugging* atau penyumbatan bila terus digunakan secara kontinu. Pemisahan yang baik dari droplet berdiameter 10 – 25 μm dapat dilakukan. *Pressure drop* di sepanjang separator adalah 10 – 15 cm (4 -6 in.) kolom air atau 98 % efisiensi pemisahan droplet pada kisaran ukuran 20 – 25 μm .

BAB III METODELOGI PENGUJIAN

III.1 Skematik Alat pengujian



Keterangan :

- 1. Reaktor
- 2. Cyclon
- 3. Venturi Scrubber
- 4. Separator
- 5. Gas Holder
- 6. Blower Isap

- 7. Burner
- 8. Reservoir Utama
- 9. Katub Air Venturi Scrubber
- 10. Katub Air *Combustion unit*
- 11. Katub Air Reservoir Utama

— Aliran Gas
— Aliran Air

Gambar 3.1 Skematik alat pengujian

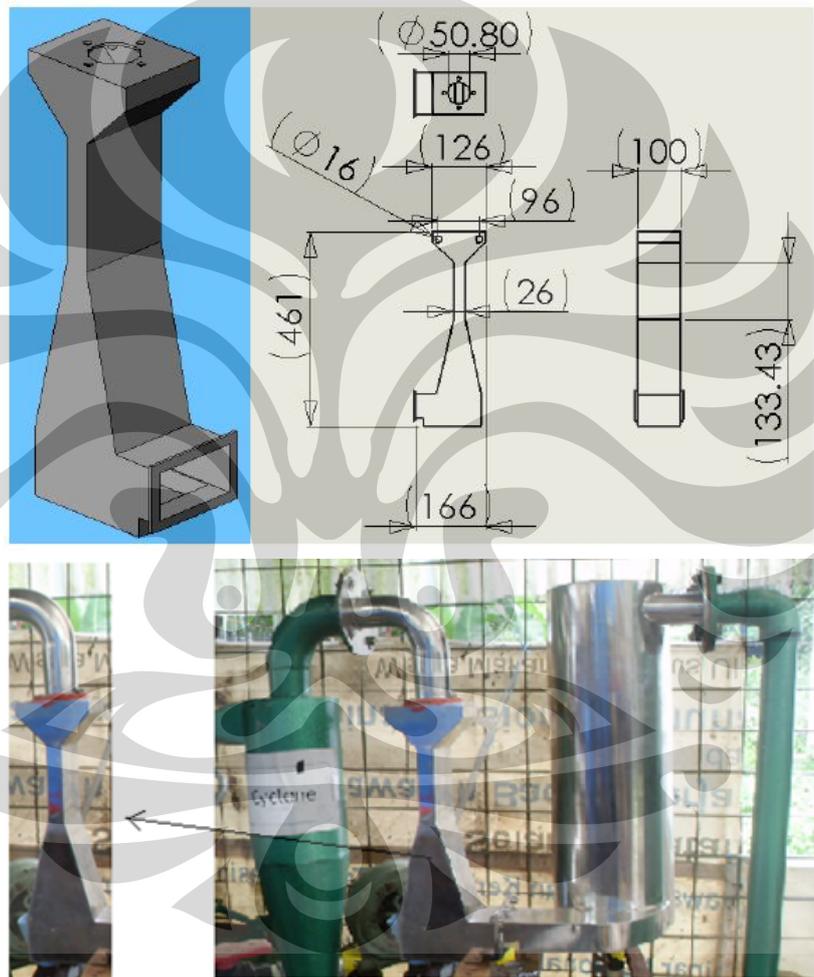
Keterangan :

1. Gas hasil mampu bakar yang dihasilkan oleh hasil gasifikasi dialirkan kedalam *cyclon*. *Cyclon* berfungsi sebagai pembersih gas dengan tipe kering. Didalam *cyclon* gas akan bergerak secara sentrifugal yang bertujuan agar partikel-partikel yang berukuran besar yang terkandung pada gas mampu bakar akan jatuh kebawah.
2. Gas mampu bakar yang telah melewati *cyclon* kemudian masuk kedalam *venturi scrubber*. *Venturi scrubber* adalah pembersih gas dengan tipe basah. Gas yang masuk akan kontak dengan air yang masuk sebagai penangkap pengotor. Kemudian gas yang telah bersih akan masuk kedalam separator. Droplet-droplet yang telah menangkap pengotor akan jatuh ke bagian bawah dari scrubber yang telah terbanjiri, sehingga mudah untuk dibuang, sedangkan droplet-droplet yang kecil akan terkumpul juga pada saat gas masuk kedalam separator.
3. Air yang mengalir kedalam *venturi scrubber* bersumber dari reservoir utama.
4. Selain mengalirkan air kedalam *venturi scrubber*, reservoir utama juga mengalirkan air ke dalam *combution unit*.
5. Sistem pemipaan aliran air masuk kedalam *combution unit*.
6. Pompa digunakan agar suplai air yang masuk kedalam *combution unit* lebih banyak sehingga tidak ada panas yang keluar dari *combution unit* (radiasi ke lingkungan).
7. Gas yang telah dibersihkan akan masuk ke *gas holder*, yang berfungsi agar suplai gas kedalam burner konstan.
8. Selanjutnya gas akan mengalir kedalam burner.
9. Suplai *secondary air* agar gas hasil gasifikasi dapat dipatik (diignisi).
10. Gas hasil gasifikasi akan bercampur dengan *secondary air* didalam *combution unit*. Dari *combution unit* dapat dilihat seberapa panjang flame yang dihasilkan, emisi yang dihasilkan dan panas yang berhasil ditangkap oleh air didalam *combution unit*.

III.2 Alat pengujian

III.2.1 Venturi Scrubber

Wet Scrubber adalah suatu alat yang digunakan untuk menangkap pengotor yang berasal dari gas mampu bakar yang dihasilkan, hal ini dikarenakan agar dapat digunakan dalam proses industri atau aplikasi lainnya, gas produser yang keluar dari reaktor gasifikasi harus terlebih dahulu dibersihkan dari polutan. Jenis *wet scrubber* yang digunakan pada laboratorium gasifikasi biomassa adalah *venturi scrubber*.

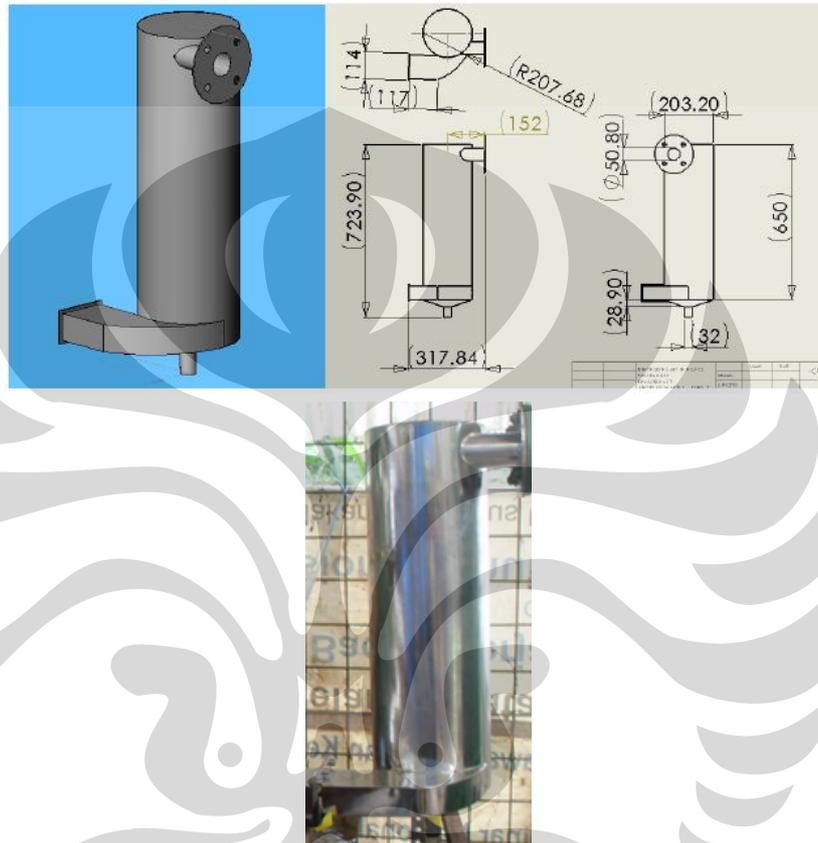


Gambar 3.2.1 Venturi Scrubber

III.2.2 Entrainment Separator

Entrainment Separator merupakan salah satu jenis dari *dry scrubber*. *Entrainment separator* atau disebut juga *mist eliminator* digunakan untuk memisahkan droplet liquid dari gas. Walaupun fungsi utama *Entrainment*

separator adalah untuk mencegah liquid yang terbawa dalam gas, namun juga sebagai fungsi *scrubber* tambahan dan mengganti cairan *scrubbing*, sehingga dapat menghemat biaya operasi. Oleh karena itu, *entrainment separator* biasanya adalah bagian terintegrasi dari sistem *wet scrubber* apapun.



Gambar 3.2.2 Entrainment Separator

III.2.3 Reservoir Air Utama

Reservoir utama ini berfungsi untuk menampung air yang dialirkan dari sumber utama, sehingga aliran air yang masuk kedalam venturi scrubber dan burner konstan. Reservoir ini mempunyai spesifikasi sebagai berikut :

- Panjang = 2 m
- Lebar = 2 m
- Tinggi = 2 m



Gambar 3.2.3 Reservoir Air Utama

III.2.4 Sistem Pemipaan

III.2.4.1 Sistem pipa air masuk reservoir

Spesifikasi ukuran pipa yang digunakan pada sistem pemipaan seperti yang ditunjukkan oleh gambar diatas adalah

1. Pipa = $\frac{3}{4}$ inchi
2. Elbow = $\frac{3}{4}$ inchi
3. Sambungan selang dan pipa = $\frac{1}{2}$ inchi
4. Selang air = $\frac{1}{2}$ inchi

III.2.4.2 Sistem pipa air keluar reservoir



Gambar 3.2.4.1 Sistem Pemipaan air keluar reservoir

Spesifikasi ukuran pipa yang digunakan pada sistem pemipaan seperti yang ditunjukkan oleh gambar diatas adalah

1. Pipa = $\frac{3}{4}$ inchi
2. Elbow = $\frac{3}{4}$ inchi
3. Sambungan T = $\frac{1}{2}$ inchi
4. Pipa venturi scrubber = $\frac{1}{2}$ inchi
5. Pipa burner = $\frac{1}{2}$ inchi

III.2.4.3 Sistem pipa air masuk *venturi scrubber*



Gambar 3.2.4.2 Sistem Pemipaan air masuk venturi scrubber

Spesifikasi ukuran pipa yang digunakan pada sistem pemipaan seperti yang ditunjukkan oleh gambar diatas adalah

1. Pipa = $\frac{3}{4}$ inchi
2. Katub bukaan air = $\frac{3}{4}$ inchi
3. Sambungan T = $\frac{1}{2}$ inchi
4. Sambungan pipa dan selang = $\frac{1}{2}$ inchi

III.2.4.4 Sistem pipa air masuk *combustion unit*



Gambar 3.2.4.3 Sistem Pemipaan air masuk burner

Spesifikasi ukuran pipa yang digunakan pada sistem pemipaan seperti yang ditunjukkan oleh gambar diatas adalah

1. Pipa = $\frac{3}{4}$ inchi
2. Katub bukaan air = $\frac{3}{4}$ inchi
3. Selang air = $\frac{3}{4}$ inchi
4. Pompa air = $\frac{3}{4}$ inchi

III.2.5 Sistem bukaan katub pada reservoir utama

Pada pengujian ini yang menjadi salah satu variasi adalah bukaan katub reservoir utama, bukaan katub ini dibuka setiap 10° . Tetapi dikarenakan ada beberapa kondisi aliran yang sama pada beberapa kondisi bukaan katub maka hanya beberapa bukaan yang dilakukan pengujian.



Gambar 3.2.5 Sistem bukaan katub pada reservoir utama

III.2.6 Sistem bukaan katub pada *venturi scrubber*

Variasi bukaan katub *venturi scrubber* dilakukan berdasarkan setiap bukaan dari katub reservoir utama sehingga setiap bukaan 10° dari katub reservoir utama, didapat variasi bukaan katub *venturi scrubber* dari 10° sampai 90° . Hal yang sama juga terjadi pada bukaan katub venturi scrubber, dikarenakan setelah dilakukan pengujian didapat hanya pada 20° , 30° , 40° , 90° yang memiliki perbedaan aliran debit air sedangkan untuk bukaan 10° aliran air tidak dapat mengalir.



Gambar 3.2.6 Sistem bukaan katub pada *venturi scrubber*

III.2.7 Sistem bukaan katub pada *combustion unit*

Pada pengujian ini tidak dilakukan variasi bukaan katub pada *burner*, hal ini dikarenakan agar didapat suatu kondisi bukaan yang optimum untuk reservoir utama dan *venturi scrubber* sehingga aliran yang ada pada *burner* dapat menyerap lebih banyak panas yang dikeluarkan oleh *burner*.



Gambar 3.2.7 Sistem bukaan katub pada *combustion unit*

III.2.8 *Blower Hisap*

Blower Hisap digunakan untuk menarik gas mampu bakar yang dihasilkan dari proses gasifikasi biomassa, *blower* ini akan menarik gas mampu bakar melewati *cyclon*, *venturi scrubber*, dan *separator* kemudian mengalirkannya kedalam *burner*.



Gambar 3.2.8 *Blower Hisap*

Spesifikasinya adalah

- Daya = 125 watt
- Rpm = 2800 rpm
- Phase = 1 phase

III.2.9 *Combustion unit*

Combustion unit digunakan sebagai tempat memantik gas mampu bakar yang telah melewati beberapa tahap penyaringan.



Gambar 3.2.9 *Burner*

III.3 Alat Pengukuran

III.3.1 Termokopel

Termokopel pada pengujian ini digunakan pertama untuk mengukur temperatur air yang keluar dari burner sehingga diketahui panas yang berhasil diserap oleh air yang mengalir masuk ke *burner* pada setiap kondisi bukaan katub baik pada reservoir utama maupun *venturi scrubber*. Kedua termokopel digunakan untuk mengukur panjang *flame* yang terjadi pada burner sehingga dapat diketahui bagaimana pengaruh dari *venturi scrubber* terhadap *flame* yang terbentuk.



Gambar 3.3.1 Termokopel

III.3.2 Display Termokopel

Display digunakan untuk membaca temperatur yang dihasilkan dari termokopel.



Gambar 3.3.2 Display termokopel

III.3.3 Gelas ukur

Pada pengujian ini, gelas ukur digunakan untuk mengukur volume aliran yang keluar dari *venturi scrubber* sehingga volumenya selalu konstan pada setiap waktu. Dikarenakan debit air didapat dari perhitungan

bukan dari pengukuran, maka volume merupakan salah satu parameter yang digunakan untuk menghitung debit dari aliran.



Gambar 3.3.3 Gelas ukur

III.3.4 *Stopwatch*

Pada pengujian ini, *stopwatch* berfungsi untuk mengukur berapa waktu yang diperlukan aliran debit air yang keluar pada setiap volume yang telah ditentukan.

III.3.5 Busur derajat

Busur derajat digunakan untuk mengukur besarnya bukaan katub, baik katub reservoir utama maupun katub *venturi scrubber*.



Gambar 3.3.4 Busur derajat

III.3.6 Tempat penampungan

Tempat penampungan yang digunakan pada perngujian ini adalah botol minuman kemasan 1 liter dan 600 ml. Botol ini digunakan untuk menampung air yang keluar dari *venturi scrubber*. Dengan menggunakan botol kemasan air, dapat terlihat perbedaan jumlah pengotor yang

tertangkap pada setiap kondisi bukaan katub baik untuk reservoir utama maupun katub *venturi scrubber*. Perbedaan yang terlihat berdasarkan perbedaan warna dan kepekatan dari air yang dihasilkan.



Gambar 3.3.5 Tempat Penampungan

III.4 Persiapan Pengujian

III.4.1 Persiapan Bahan bakar

Persiapan bahan bakar dilakukan agar tidak mengalami hambatan pada saat pengujian sedang dilaksanakan. Persiapan meliputi :

1. Penyesuaian ukuran bahan bakar baik batok kelapa, arang dan batu bara. Hal ini bertujuan agar pada saat bahan bakar terbakar, dapat terbakar secara seragam.
2. Jumlah dari bahan bakar yang akan digunakan selama pengujian berlangsung, hal ini bertujuan untuk mengetahui dari awal sebelum pengujian jika bahan bakar tidak mencukupi sehingga tidak mengganggu pengujian yang sedang dilaksanakan.
3. Jumlah biomassa tempurung kelapa yang akan digunakan selama pengujian, agar tidak ada hambatan pada saat pemasukan bahan bakar dibutuhkan. Sehingga didapat api yang selalu konstan.

III.4.2 Pengisian air pada reservoir utama

Pengisian air pada reservoir utama sangat penting, hal ini dikarenakan sumber air yang akan masuk kedalam *venturi scrubber* dan *burner* berasal dari reservoir utama. Oleh karena itu untuk menghindari terhambatnya pengisian air, maka reservoir air diisi sehari sebelum pengujian.

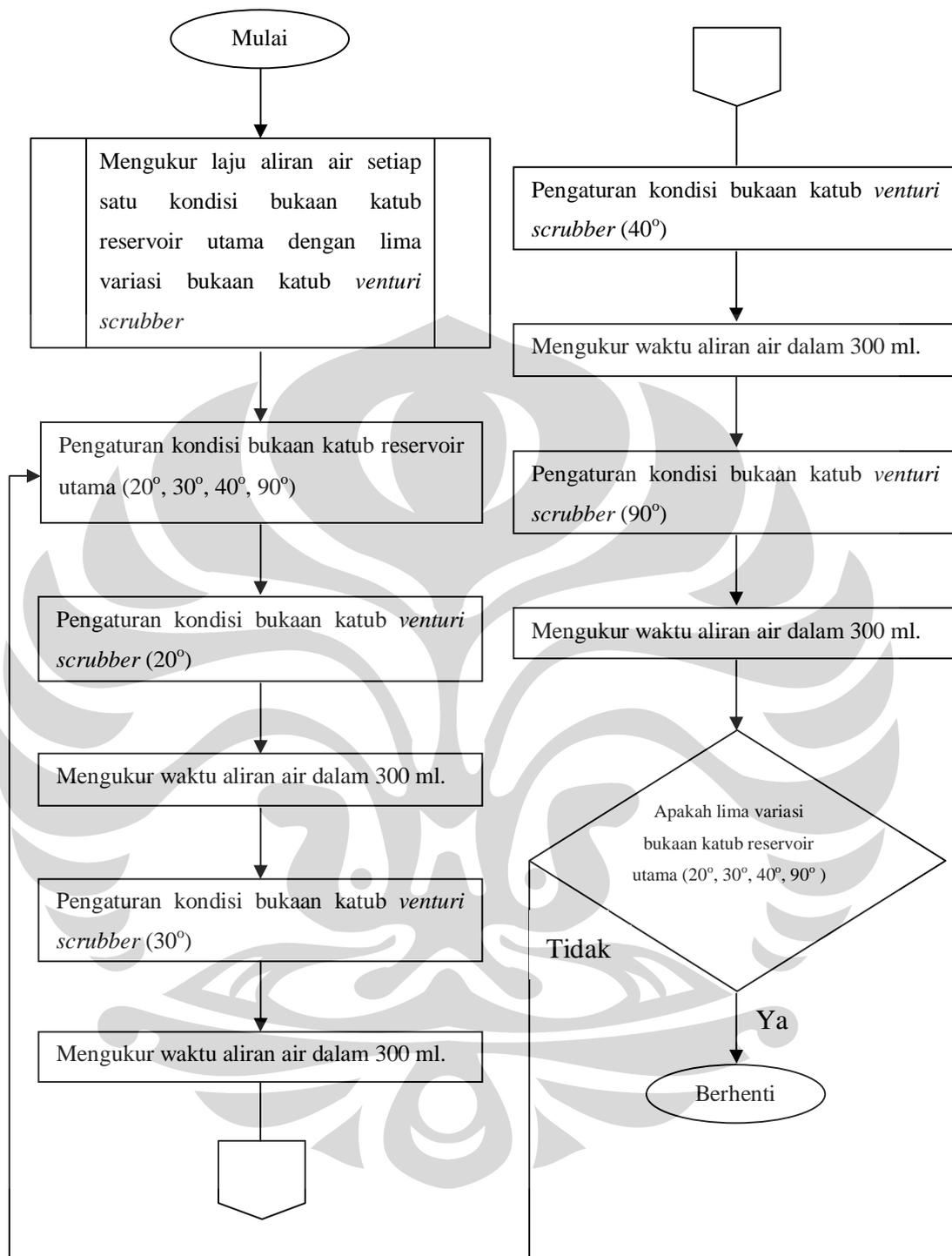
III.4.3 Persiapan dan Pengaturan alat ukur

Persiapan alat ukur sangat penting, hal ini dikarenakan jangan sampai pada saat pengujian alat ukur yang ingin digunakan menghilang. Oleh karena itu dilakukan persiapan apa saja alat ukur yang belum lengkap sehingga tidak dapat menyebabkan pengujian terganggu yaitu seperti busur derajat, stopwatch, dan gelas ukur. Pengaturan alat ukur diperlukan untuk mendeteksi apakah alat ukur tersebut berfungsi atau tidak. Alat ukur yang perlu dilakukan pengecekan adalah termokopel, sehingga dapat diketahui apakah termokopel masih berfungsi atau tidak.

III.5 Prosedur Pengujian, Pengukuran, dan Pengambilan data

III.5.1 Pengukuran

Setelah peralatan penunjang dipasang, persiapan selanjutnya adalah mengukur laju alir air pada katub *venturi scrubber* menggunakan gelas ukur dan *stopwatch*. Sebelum gasifikasi dinyalakan dan *gas produser* mengalir melalui *venturi scrubber*, perlu dipastikan air mengalir dengan baik sekaligus membersihkan bagian dalam sistem venturi scrubber dari debu dan kotoran lainnya. Berikut ini adalah *flow chart* didalam pengukuran aliran debit air setiap kondisi variasi :

Tabel 3.5.1 *Flow chart* pengukuran

1. Mengatur bukaan katub reservoir utama menggunakan busur derajat yang berfungsi sebagai penunjuk putaran katub saat akan dilakukan pengujian. Bukaan katub pertama adalah 20° , hal ini dikarenakan pada saat 10° aliran air belum mengalir.
2. Memasang busur derajat pada katub *venturi scrubber* yang berfungsi sebagai penunjuk putaran katub *venturi scrubber* saat akan dilakukan pengujian.
3. Memutar katub *venturi scrubber* pada derajat angka dimana air mulai mengalir yaitu 20° dan isi gelas ukur sampai penuh (300 ml), pada saat yang bersamaan tekan *stopwatch*.
4. Ketika permukaan air pada gelas ukur sampai pada garis 300 ml, tekan *stopwatch* dan catat waktunya. Kegiatan ini dilakukan sampai 3 kali lalu diambil hasil rata-ratanya.
5. Untuk memperoleh laju alir air pada derajat angka 20° , dilakukan dengan membagi 300 ml dengan hasil waktu yang diperoleh, maka laju alir air yang didapat dalam satuan ml/detik.
6. Mengulangi langkah ke-3 sampai ke-4 dengan putaran katub pada derajat angka berbeda (30° , 40° , 90°) sampai putaran katub mencapai batas maksimum.
7. Mengulangi langkah ke-1 sampai ke-4 dengan putaran katub pada derajat angka yang berbeda, sampai putaran katub mencapai batas maksimum.

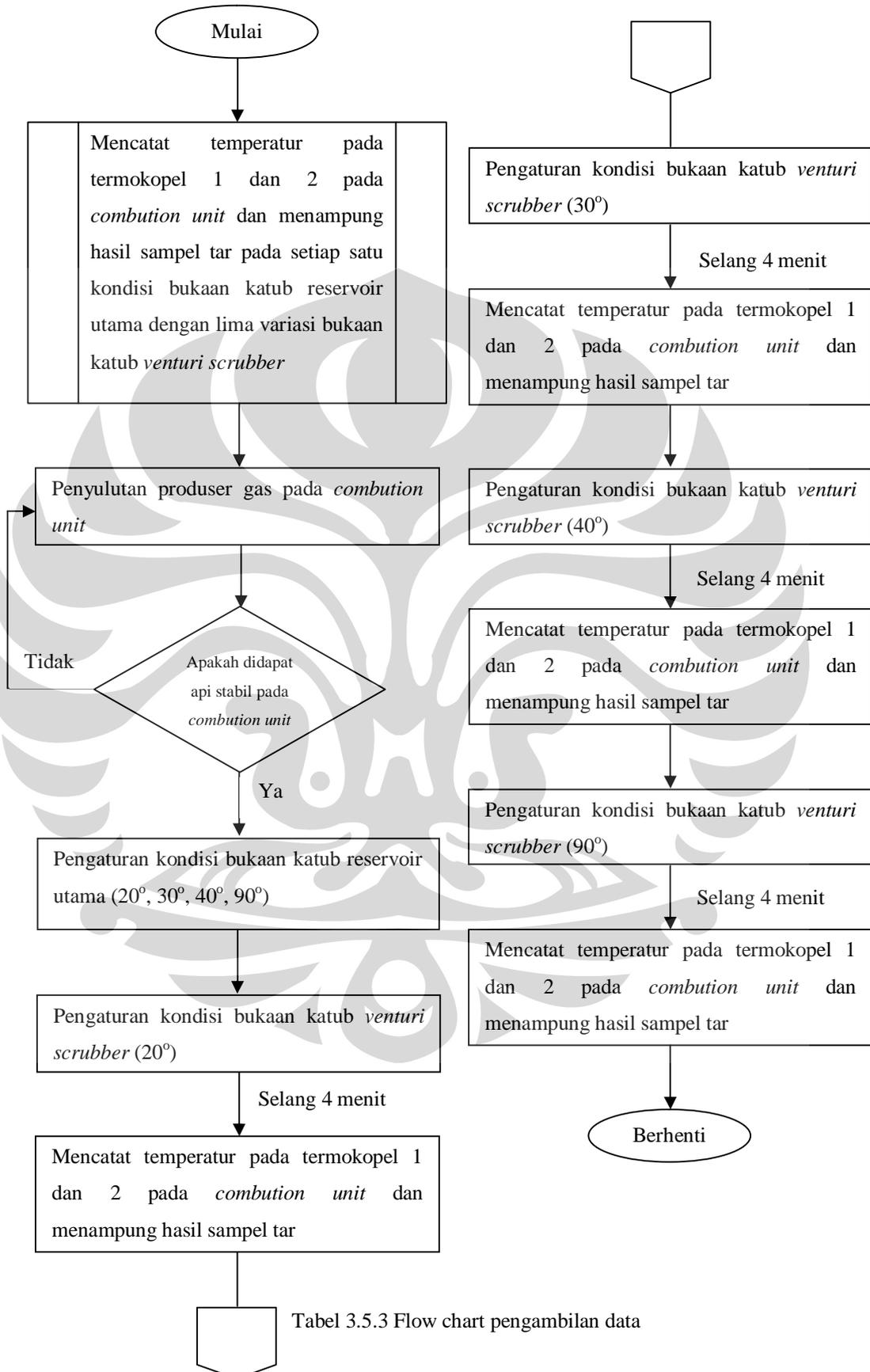
III.5.2 Penyalaan Gasifikasi

1. Memasukkan arang pada dasar refraktori reaktor sampai ke tenggorokan masing-masing ± 1 kg kemudian ditambah 1 kg batok kelapa. Cara pemasukkanya adalah diawali dengan arang terlebih dahulu, lalu kemudian batok kelapa. Bagian teratas dimasukkan sabut kelapa.
2. Penyalaan awal dengan bantuan minyak tanah, gunakan sabut kelapa sebagai penyulut untuk memulai proses pembakaran. Pada saat termokopel 2 menunjukkan temperatur 200°C dan termokopel 3

menunjukkan $400^{\circ}\text{C} - 600^{\circ}\text{C}$, dilakukan pemasukan arang sebanyak 1 kg kembali, hal ini dilakukan berulang hingga temperatur termokopel 2 mencapai diatas 900°C sehingga total arang yang dimasukan untuk mencapai temperatur diatas 900°C adalah 4 kg. Bahan bakar pada pengujian kali ini adalah biomassa dari tempurung kelapa yang memiliki LHV 22000 kJ/kg dan memiliki temperatur penyalaaan $900-1000^{\circ}\text{C}$.

3. Setelah temperatur termokopel 2 mencapai diatas 900°C , masukan bahan bakar sebanyak 1 kg, lakukan hal ini berulang sampai menghasilkan gas mampu bakar pada *burner*.
4. Pada saat didapat gas mampu bakar mempunyai tanda-tanda dapat dipatik dan timbul asap tipis, maka bahan bakar ditambah sebanyak 2 kg setiap satu kali pemasukan bahan bakar. Suplai udara primer sebesar bukaan penuh katub yaitu 90 derajat. (waktu ini disebut waktu ke- nol).
5. Setelah asap terlihat tipis menandakan terdapat banyak komponen mampu bakar pada *gas producer*. Segera tutup feeding door dengan *mounting*.
6. Lakukan penyulutan (ignisi) dengan pemantik kepada ujung *burner*. Bila belum tersulut, lakukan berulang-ulang.
7. Lidah api pada *burner* akan terbentuk dan akan bertahan hingga *blow off* dalam waktu $\pm 2 \text{ s/d } 3 \text{ menit}$.
8. Setelah lidah api *blow off* dan *producer gas* mulai menipis (tidak pekat), segera menambahkan kembali bahan bakar tempurung kelapa sebanyak 2 kg.
9. Setelah penambahan, dilanjutkan dengan menyalakan *blower mixing* pada *burner*.
10. Dan seterusnya hingga bahan bakar seluruhnya terpakai dan gas produser sudah tidak mampu bakar lagi.

III.5.3 Pengambilan data



Tabel 3.5.3 Flow chart pengambilan data

1. Setelah asap yang dihasilkan di *burner* mulai pekat dan tipis, dan pada saat dipatik didapat api yang menempel pada *burner* di *combution unit*, pengambilan data dapat dimulai. Buka katub reservoir utama pada bukaan terendah yaitu dimulai dari 20°, kemudian buka katub *venturi scrubber* mulai dari bukaan terendah yaitu 20° sampai 90°, selang waktu pengambilan data setiap kondisi bukaan katub *venturi scrubber* adalah rata-rata 4 menit.
2. Mencatat perubahan temperatur termokopel yang ada pada *combution unit*, temperatur ini menunjukkan panjang api yang terentuk dan besarnya panas yang diserap oleh air yang menyelimuti *combution unit*.
3. Letakkan tempat penampungan air (botol) di tempat keluaran air *venturi scrubber*. Sehingga didapat sampel tar yang tertangkap pada setiap kondisi bukaan katub *venturi scrubber*.
4. Ulangi langkah 1-3 untuk bukaan katub reservoir utama yaitu 30°, 40°, dan 90°.

III.5.4 Selesai pengujian

1. Menutup katub pada *reservoir* utama dan katub pada *venturi scrubber*.
2. Tetap menyalakan blower *primary air* untuk mengeluarkan seluruh asap dan residu yang masih tersisa di dalam reaktor.
3. Setelah \pm 2 jam (kondisi reaktor mulai dingin dan bara sudah tidak menyala lagi) mengeluarkan abu sisa pembakaran melalui lubang pembuangan pada reaktor *gasifier*.
4. Kondisi refraktori reaktor dibiarkan menjadi dingin hingga mencapai temperatur ruang, selama 1 hari penuh. Setelah itu membuka tutup reaktor dan membersihkan seluruh bagian dalam reaktor dan *burner* dengan menyembrotkan udara dari *blower* untuk menghindari tar mengeras menjadi kerak.

BAB IV

HASIL DAN ANALISA

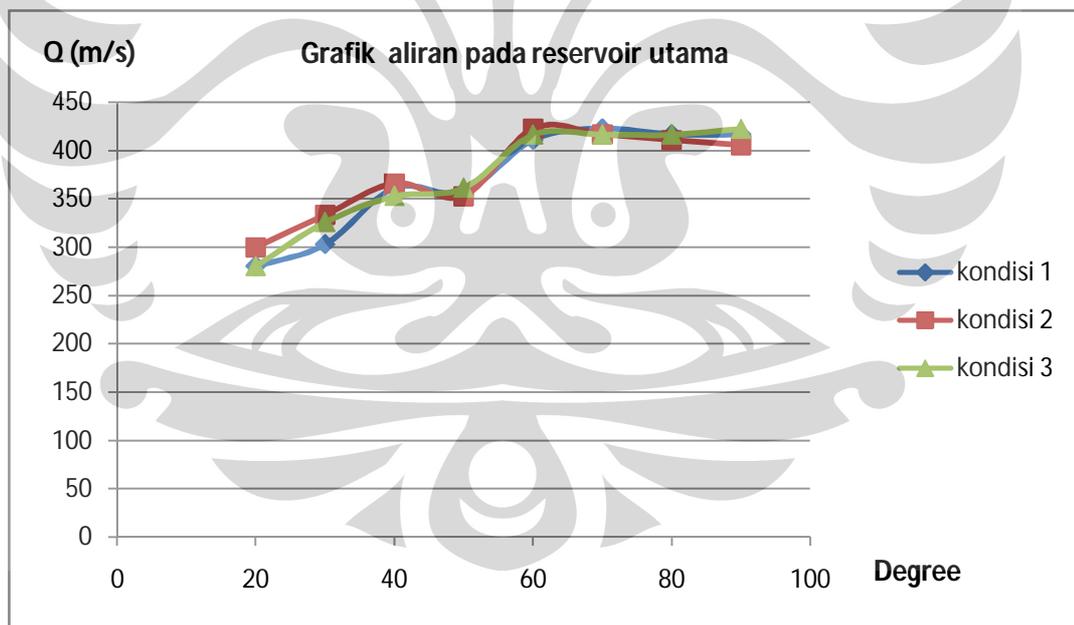
IV.1 Hasil Pengujian

Data yang akan diambil pada pengujian ini adalah

1. Aliran debit aliran pada setiap bukaan katub, dengan kondisi variasi bukaan katub baik pada katub reservoir utama maupun katub venturi scrubber.
2. Temperatur pada combustion unit.
3. Temperatur air yang keluar dari combustion unit.
4. Tar yang dihasilkan pada setiap variasi bukaan katub.

IV.2 Grafik debit aliran air

IV.2.1 Bukaan Katub reservoir utama

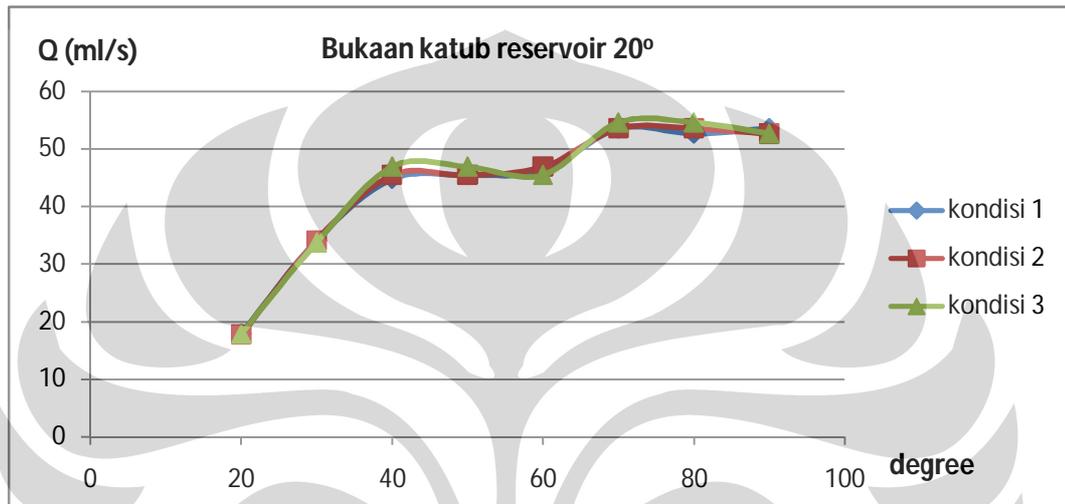


Gambar 4.2.1 Grafik aliran pada reservoir utama

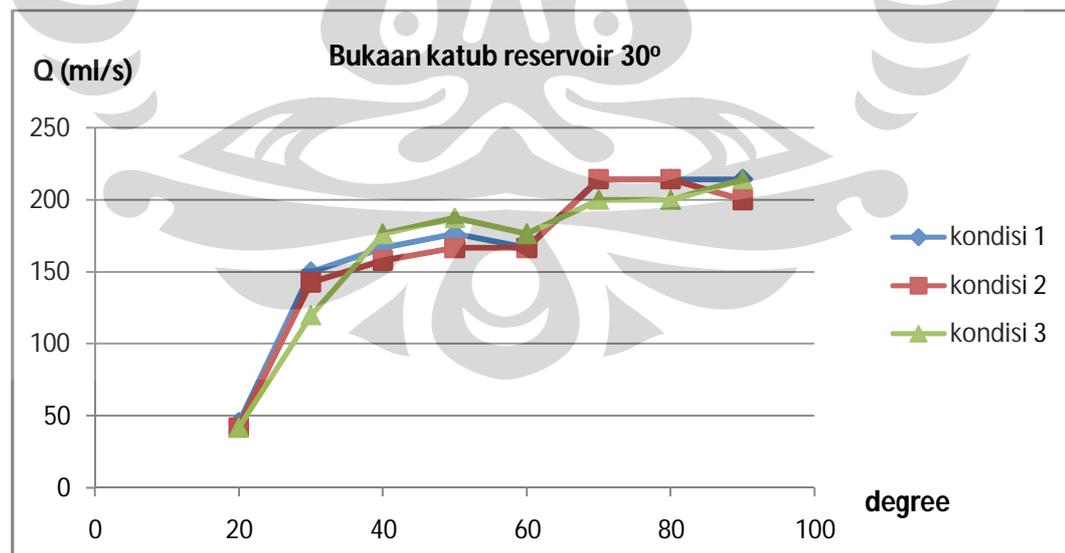
Grafik diatas didapat dari hasil pengukuran debit air yang keluar dari reservoir utama, pengukuran dilakukan sebanyak tiga kali. Pengukuran ini dilakukan untuk mengetahui bukaan katub yang memiliki debit air yang sama sehingga mempermudah pada saat pengambilan data. Data dari grafik diatas terdapat pada

lampiran. Dari grafik diatas dapat diambil kesimpulan bahwa debit aliran untuk bukan katub 40° dan 50° serta bukaan katub 60° , 70° , 80° , dan 90° memiliki debit air yang sama sehingga didapat hanya bukaan katub 20° , 30° , 40° dan 90° yang akan diambil pada saat pengambilan data.

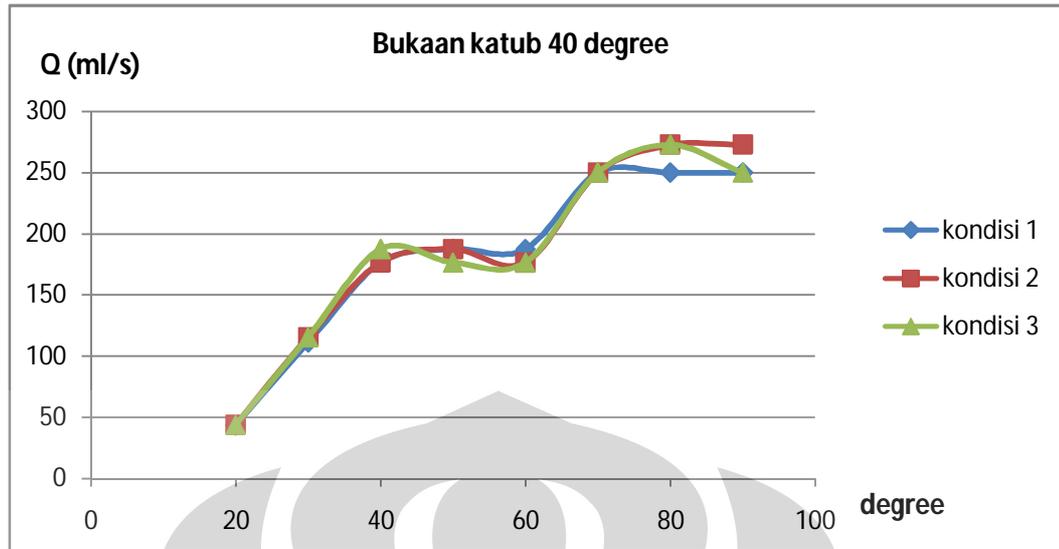
IV.2.2 Grafik bukaan katub *Venturi Scrubber*



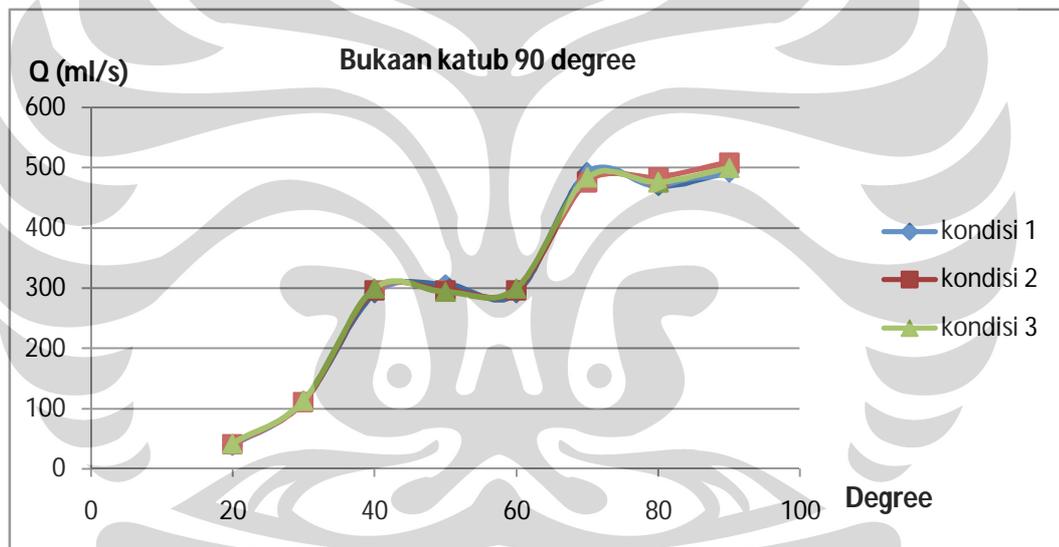
Gambar 4.2.2 Grafik aliran pada bukaan reservoir utama 20°



Gambar 4.2.2 Grafik aliran pada bukaan reservoir utama 30°



Gambar 4.2.2 Grafik aliran pada bukaan reservoir utama 40°



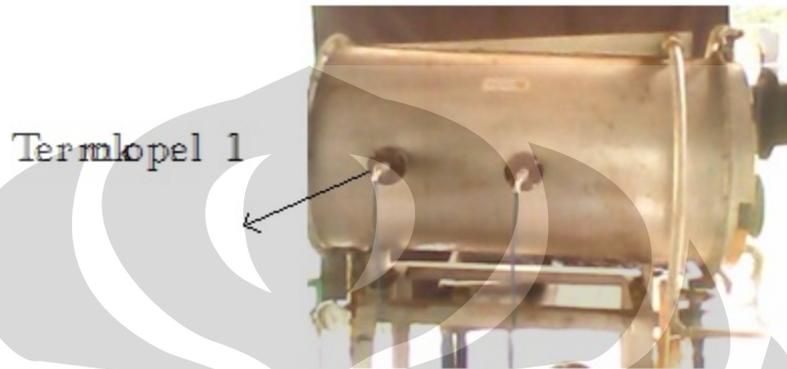
Gambar 4.2.2 Grafik aliran pada bukaan reservoir utama 90°

Grafik diatas didapat dari hasil pengukuran debit air yang keluar dari *venturi scrubber*, pengukuran dilakukan sebanyak tiga kali setiap bukaan katub reservoir utama. Pengukuran ini dilakukan untuk mengetahui bukaan katub yang memiliki debit air yang sama sehingga mempermudah pada saat pengambilan data. Data dari grafik diatas terdapat pada lampiran. Dari grafik diatas dapat diambil kesimpulan bahwa debit aliran pada *venturi scrubber* untuk bukaan katub 40°, 50°, dan 60° serta bukaan katub 70°, 80°, dan 90° memiliki debit air yang sama

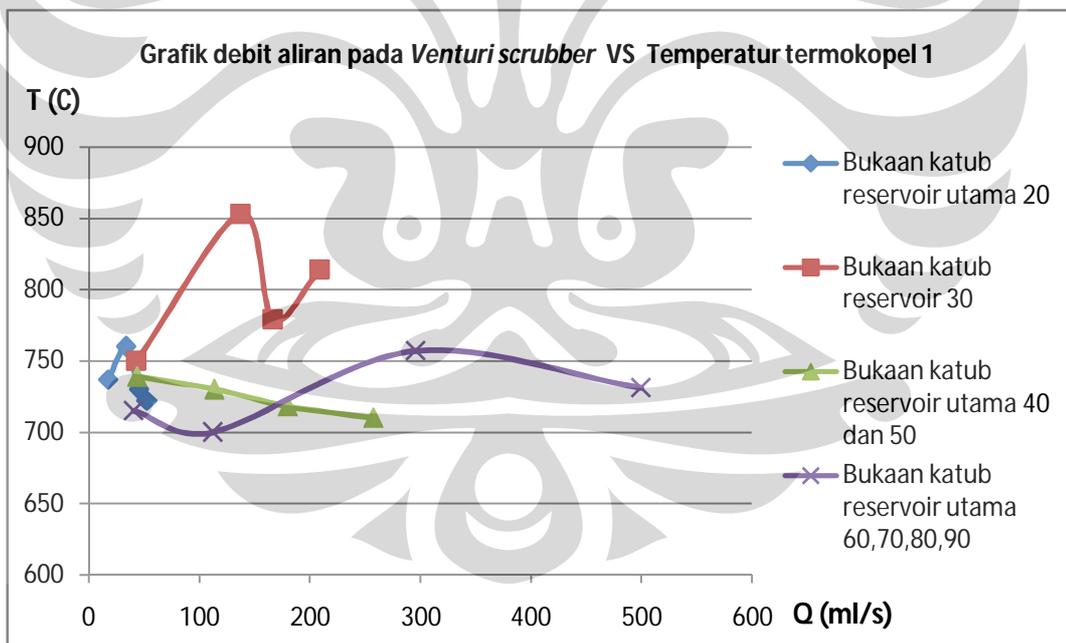
sehingga didapat hanya bukaan katub 20°, 30°, 40° dan 90° yang akan diambil pada saat pengambilan data.

IV.3 Grafik temperatur *flame* pada *Combustion unit*

IV.3.1 Grafik temperatur pada termokopel 1



Gambar 4.3.1 Termokopel 1



Gambar 4.3.1 Grafik temperatur termokopel 1 terhadap debit aliran pada *venturi scrubber*

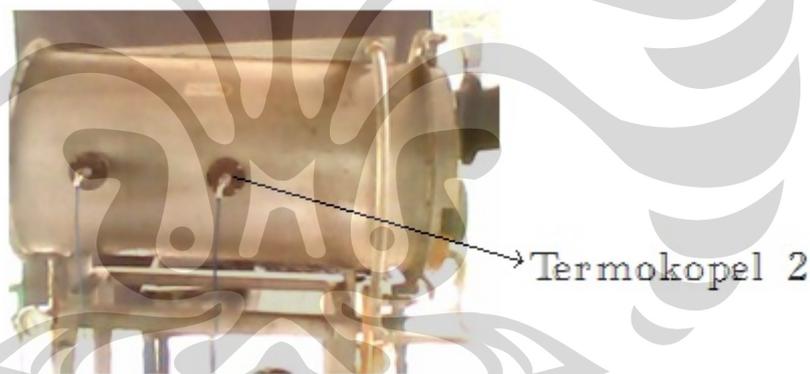
Dari grafik diatas terlihat bahwa perubahan temperatur pada termokopel 1 tidak terlalu signifikan dibawah 100°C. Perubahan temperatur yang terjadi pada setiap bukaan katub *venturi scrubber* dapat disebabkan oleh penambahan bahan

bakar pada gasifier, hal ini karena bahan bakar yang digunakan hanya sebanyak 2 kg per batchnya, sehingga gas tidak stabil, hal lain yang menyebabkan perubahan temperatur adalah dikarenakan api yang terbentuk bentuknya tidak stabil, hal ini dapat dikarenakan pengaruh dari *secondary air*, penggunaan *swirl* dan dari udara yang ada pada sekitar burner.

Pada grafik diatas terlihat juga bahwa pada kondisi bukaan katub reservoir utama 30° terjadi perubahan temperatur yang sangat signifikan. Hal ini dapat terjadi dikarenakan pada pengambilan data dilakukan variasi suplai dari *secondary air* yang digunakan, pada grafik terlihat temperatur termokopel 1 mencapai 850 °C, kondisi ini terjadi tanpa ada penambahan *secondary air* pada combustion unit.

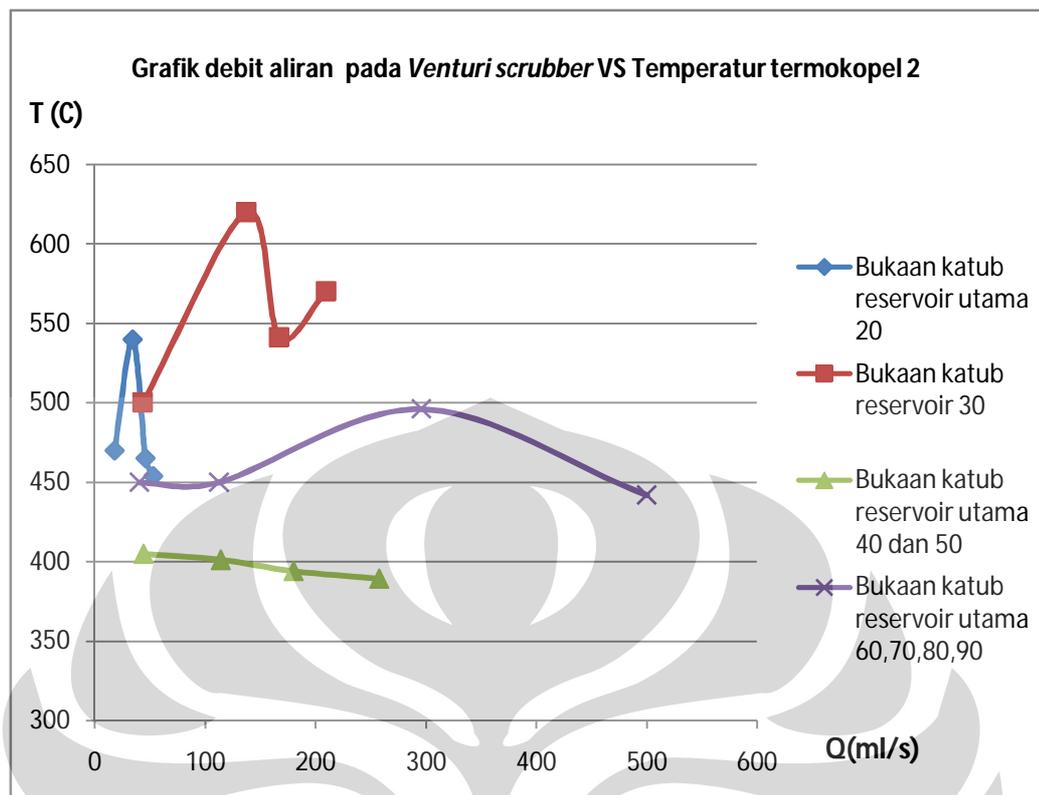
Berdasarkan grafik yang ada dapat disimpulkan bahwa pengaruh laju aliran dalam *venturi scrubber* tidak mempengaruhi bentuk flame yang terjadi.

IV.3.2 Grafik temperatur pada termokopel 2



Gambar 4.3.2 Termokopel 2

Dari grafik termokopel 2 dibawah terlihat bahwa grafik yang terbentuk berpola sama seperti grafik pada temperatur 1, hal ini terjadi dikarenakan temperatur pada termokopel 2 menunjukkan seberapa panjang *flame* yang terbentuk pada termokopel 1, sehingga temperatur yang tercatat pada termokopel 2 merupakan temperatur radiasi dari *flame* yang terjadi.



Gambar 4.3.2 Grafik temperatur termokopel 2 terhadap debit aliran pada venturi scrubber

Dari grafik diatas dapat disimpulkan bahwa *flame* yang terbentuk pada *combustion unit* tidak ada pengaruhnya terhadap setiap variasi laju aliran pada *venturi scrubber*. Sehingga penggunaan *venturi scrubber* tidak berpengaruh terhadap bentuk *flame* yang terjadi hal ini dikarenakan *venturi scrubber* hanya membersihkan *gas produser* tetapi tidak menghambat aliran *gas produser* ke *burner*.

IV.4 Perbandingan Tar yang didapat secara visual

Berdasarkan sampel yang didapat dari hasil pengujian yang telah dilakukan untuk semua variasi bukaan katub reservoir utama *scrubber* didapatkan grafik perbandingan warna tar yang dihasilkan untuk semua kondisi variasi tersebut.

IV.4.1 Perbandingan warna tar dengan variasi bukaan katub reservoir utama

IV.4.1.1 Bukaan katub reservoir utama 20°

Perbandingan hasil tar pada bukaan katub reservoir utama 20° yang memiliki variasi debit air yaitu 17.8 ml/s, 33.96 ml/s, 45.7 ml/s, 54.9 ml/s.



Gambar 4.4.1.1 Perbandingan warna tar pada bukaan katub reservoir utama 20°

Pada gambar diatas terlihat bahwa pada laju air 33.96 ml/s merupakan keadaan optimum didalam penangkapan tar. Berdasarkan literatur yang ada, yaitu semakin banyak jumlah aliran air yang masuk kedalam venturi scrubber, maka akan semakin banyak tar yang tertangkap sampai suatu keadaan yang optimum. Dan dari gambar diatas terlihat bahwa aliran air optimum terjadi pada debit air sebesar 33.96 ml/s.

IV.4.1.2 Bukaan katub reservoir utama 30°

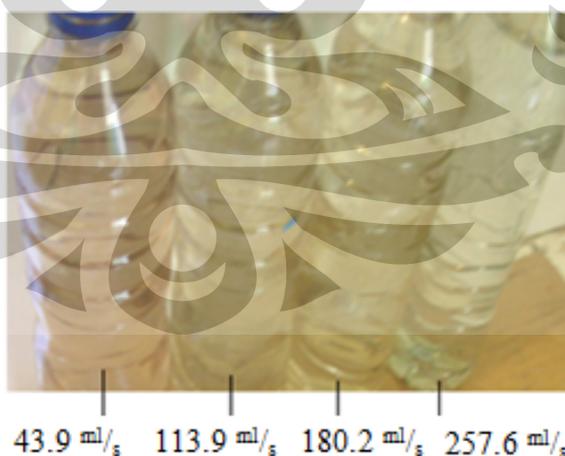
Perbandingan hasil tar pada bukaan katub reservoir utama 30° dengan variasi debit air 43.3 ml/s, 137.6 ml/s, 167.1 ml/s, 209.5 ml/s. Pada gambar dibawah terlihat bahwa pada debit air 43.3 ml/s adalah kondisi dimana *venturi scrubber* memiliki aliran yang optimum didalam penangkapan tar.



Gambar 4.4.1.2 Perbandingan warna tar pada bukaan katub reservoir utama 30°

IV.4.1.3 Bukaan katub reservoir utama 40°

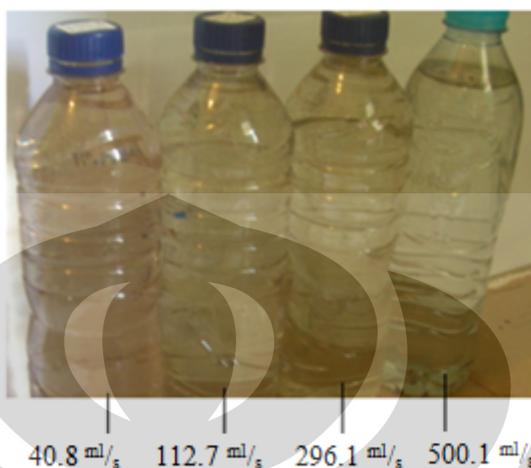
Perbandingan hasil tar pada bukaan katub reservoir utama 40° dengan variasi debit air 43.9 ml/s, 113.9 ml/s, 180.2 ml/s, 257.6 ml/s. Pada gambar dibawah terlihat bahwa pada kondisi debit air 43.9 ml/s, memiliki aliran yang optimum didalam penangkapan tar. Hal ini dikarenakan pada kondisi inilah aliran debit air yang masuk kedalam *venturi scrubber* dalam keadaan optimum dan banyak terbentuk droplet-droplet air.



Gambar 4.4.1.3 Perbandingan warna tar pada bukaan katub reservoir utama 40°

IV.4.1.4 Bukaannya katub reservoir utama 90°

Perbandingan hasil tar pada bukaan katub reservoir utama yaitu 90° dengan variasi debit air 40.8 ml/s, 112.7 ml/s, 296.1 ml/s, 500.1 ml/s.



Gambar 4.4.1.4 Perbandingan warna tar pada bukaan katub reservoir utama 90°

Pada gambar diatas terlihat bahwa pada kondisi debit air 40.8 ml/s adalah kondisi yang memiliki aliran yang optimum didalam penangkapan tar.

IV.4.1.5 Analisa dan Kesimpulan

Berdasarkan pengujian yang telah dilakukan dan perbandingan yang telah dilakukan didapat bahwa bukaan reservoir dengan kondisi 20° merupakan bukaan katub yang optimum untuk menangkap tar dan pengotor lainnya. Pada keadaan ini besarnya variasi aliran debit yang tercipta adalah 17.8 ml/s, 33.96 ml/s, 45.7 ml/s, 54.9 ml/s. Hal ini dikarenakan pada kondisi bukaan katub reservoir utama 20° inilah air hasil keluaran *venturi scrubber* sangat pekat terlebih pada debit air 33.96 ml/s.

Berdasarkan literatur yang didapat bahwa jumlah tar dan pengotor lainnya yang terkumpul meningkat seiring bertambahnya jumlah air yang digunakan sampai mencapai keadaan optimum^[8], sedangkan Gerald T. Joseph mengungkapkan bahwa *collection efficiency* suatu venturi scrubber meningkat seiring bertambahnya luas permukaan air

yang tercipta^[9], dalam hal ini adalah terbentuknya droplet-droplet air yang mampu menangkap tar dan pengotor lainnya. Berdasarkan perbandingan visual diatas didapat bahwa nilai optimum dari debit air terjadi pada bukaan 20° dan pada kondisi bukaan inilah banyak droplet-droplet yang dibentuk sehingga semakin banyak menangkap tar atau pengotor lainnya.

IV.4.2 Perbandingan warna tar dengan bukaan katub *venturi scrubber*

Untuk mendapatkan suatu grafik dari perbandingan visual yang telah dilakukan maka nilai kepekatan diasumsikan dengan angka sehingga dapat dibentuk suatu grafik.

Pekat	4
agak pekat	3
tidak pekat	2
jernih	1

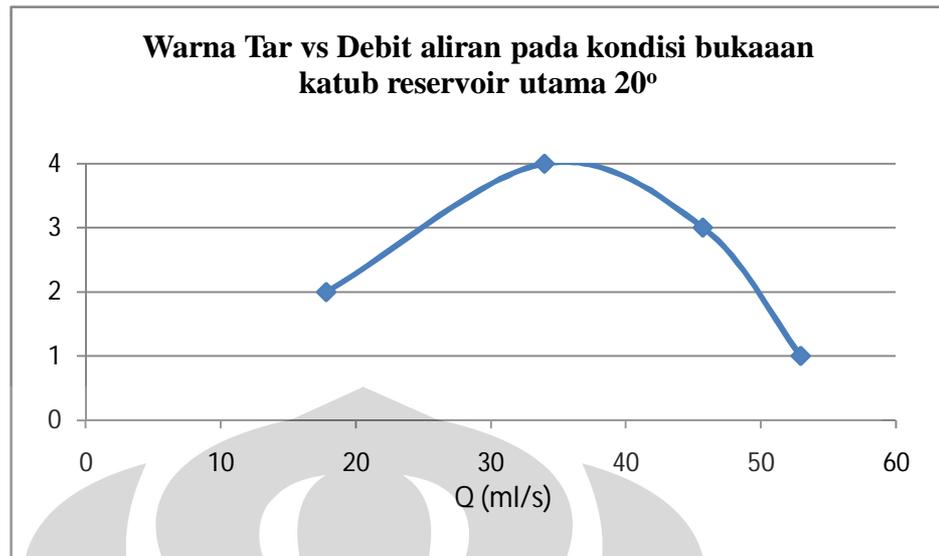
Tabel 4.4.2 Konversi kepekatan warna tar dengan angka

IV.4.2.1 Bukaan katub reservoir utama 20°

Debit (ml/s)	Nilai
17,8	2
33,96	4
45,7	3
52,94	1

Tabel 4.4.2.1 Tabel debit aliran dan nilai kepekatan

Dari grafik dibawah terlihat bahwa debit aliran 33,96 ml/s merupakan debit aliran optimum untuk menangkap tar, kondisi ini terjadi bukaan katub reservoir utama 20° dan pada bukaan katub *venturi scrubber* 30°. Sesuai dengan literatur yang ada dapat dianalisa bahwa dengan kondisi ini droplet-droplet air sangat banyak terbentuk sehingga lebih banyak menangkap tar dan partikel lainnya.

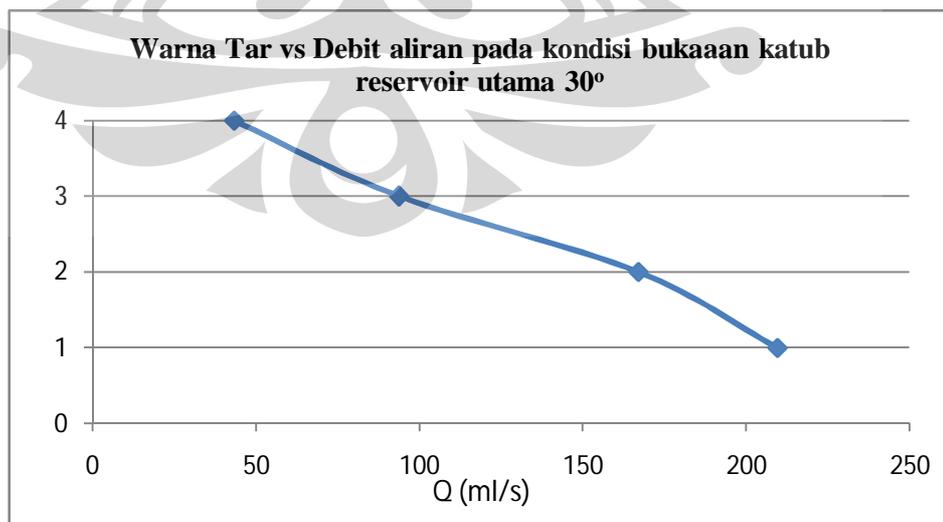


Gambar 4.4.2.1 Grafik pada kondisi bukaan katub reservoir utama 20°

IV.4.2.2 Bukaan katub reservoir utama 30°

Debit (ml/s)	Nilai
43,32	4
93,81	3
167,01	2
209,52	1

Tabel 4.4.2.2 Tabel debit aliran dan nilai kepekatan



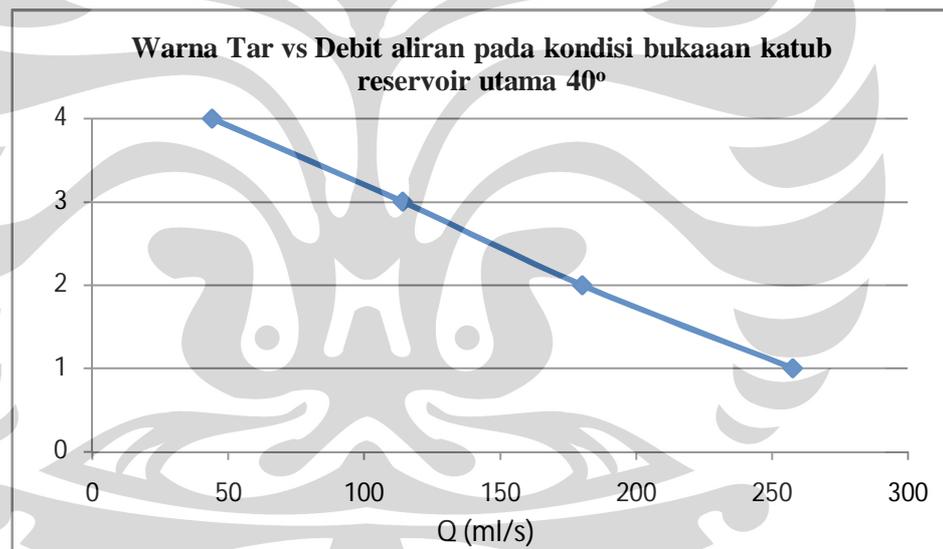
Gambar 4.4.2.2 Grafik pada kondisi bukaan katub reservoir utama 30°

Dari grafik diatas terlihat bahwa hasil tar optimum dapat ditangkap pada kondisi debit air $43,32 \text{ ml/s}$, hal ini terlihat dari warna air yang pekat pada kondisi ini.

IV.4.2.3 Bukaannya katub reservoir utama 40°

Debit (ml/s)	Nilai
43,9	4
113,96	3
180,15	2
257,58	1

Tabel 4.4.2.3 Tabel debit aliran dan nilai kepekatan



Gambar 4.4.2.3 Grafik pada kondisi bukakaan katub reservoir utama 40°

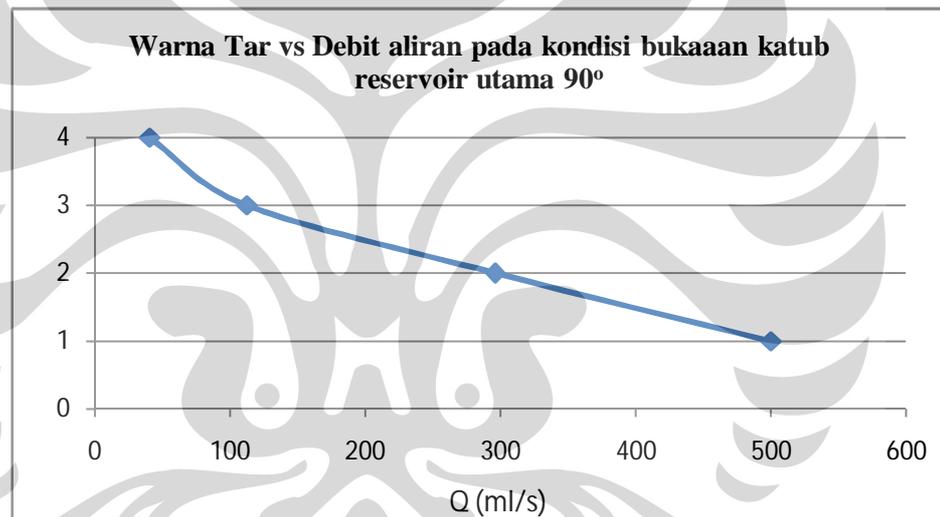
Dari grafik diatas terlihat bahwa hasil tar optimum dapat ditangkap pada kondisi debit air $43,9 \text{ ml/s}$, yaitu pada kondisi bukakaan katub reservoir utama 40° dan kondisi bukakaan katub *venturi scrubber* 20° .

IV.4.2.4 Bukaannya katub reservoir utama 90°

Debit (ml/s)	Nilai
40,78	4
112,65	3
296,09	2
500,09	1

Tabel 4.4.2.4 Tabel debit aliran dan nilai kepekatan

Dari grafik dibawah terlihat bahwa tar dapat secara optimum ditangkap pada kondisi debit air 40,78 ml/s. Kondisi ini terjadi pada bukaan katub reservoir utama 90° dan katub *venturi scrubber* 20°.



Gambar 4.4.2.4 Grafik pada kondisi bukaan katub reservoir utama 90°

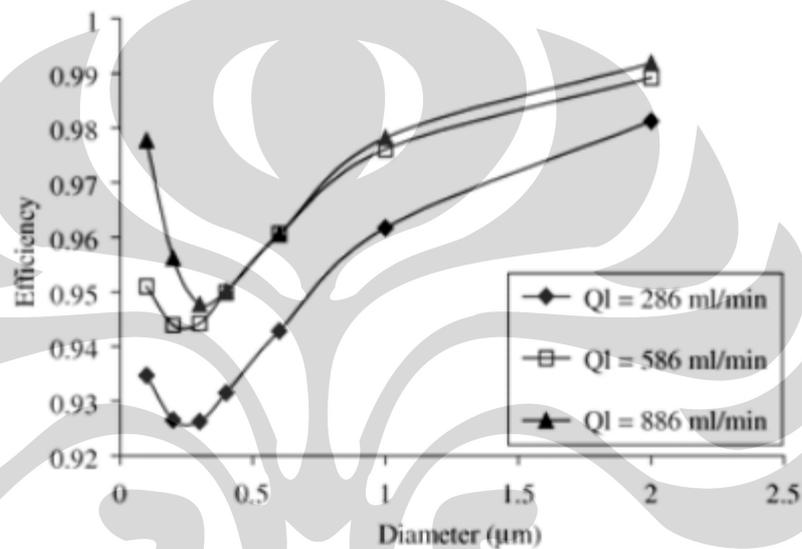
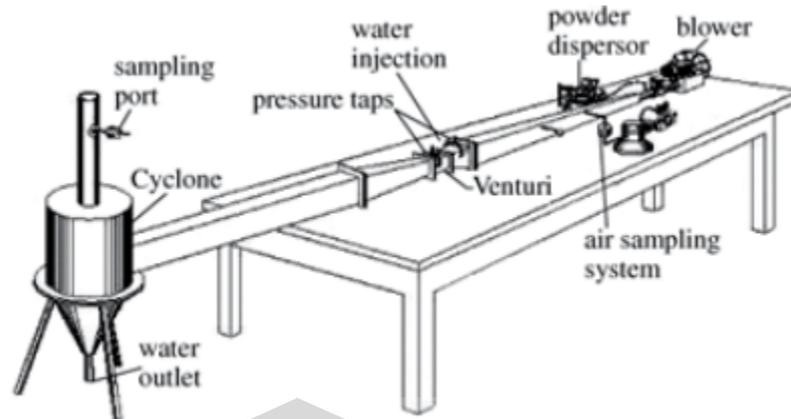
IV.4.3 Analisa hasil dari tar terhadap literatur

Berdasarkan data yang didapat dari pengujian yang telah dilakukan, didapat bahwa semakin besar debit aliran air yang masuk kedalam *venturi scrubber* maka dari perbandingan secara visual yang telah dilakukan didapat tar yang dapat ditangkap semakin berkurang, tetapi berbeda dengan kondisi bukaan reservoir utama 20°, pada kondisi ini hasil tar yang optimum dapat ditangkap pada bukaan katub *venturi scrubber* 30° dengan debit air 33,96 ml/s.

Berdasarkan dari referensi literatur dari penelitian yang dilakukan oleh A.P. Ribeiro dari Federal University of São Carlos mengatakan bahwa jumlah tar dan pengotor lainnya yang terkumpul meningkat seiring bertambahnya jumlah air yang digunakan sampai batas optimum. Sedangkan Gerald T. Joseph mengungkapkan bahwa *collection efficiency* suatu venturi scrubber meningkat seiring bertambahnya luas permukaan air yang tercipta, dalam hal ini adalah terbentuknya droplet-droplet air yang mampu menangkap tar dan pengotor lainnya.

Jika dibandingkan antara hasil pengujian dan referensi yang digunakan, pada kondisi bukaan reservoir utama 20° , pada kondisi ini hasil tar yang optimum dapat ditangkap pada bukaan katub *venturi scrubber* 30° dengan debit air $33,96 \text{ m}^3/\text{s}$ merupakan kondisi aliran optimum, lapisan air yang terbentuk pada dinding bagian dalam venturi scrubber dan percikan atau droplet yang tercipta mencapai tingkat maksimum dalam menangkap tar dan pengotor lainnya. Sehingga jika laju alir air kurang dari kondisi tersebut maka lapisan air pada dinding *throat* belum sempurna, dan jika lebih dari titik tersebut droplet yang tercipta akan berkurang.

Maria Angélica Martins Costa et al, Universitas Federal de São Carlos, Brasil pada tahun 2005 pernah melakukan percobaan serupa dengan menggunakan venturi scrubber namun dengan skala yang lebih kecil. Venturi scrubber yang digunakan juga berjenis *rectangular* atau persegi. Debu atau pengotor yang digunakan adalah *mineral rock* dengan densitas 3030 kg/m^3 dan dapat larut dalam air. Untuk mengetahui lebih detail mengenai percobaan ini dapat dilihat pada lampiran. Gambar 5.6 di bawah ini menunjukkan skematik percobaan dan hasil grafik yang diperoleh.



Gambar 4.4.3 Skematik percobaan dan hasil grafik percobaan Universitas Federal de São Carlos, brasil

(sumber : Scielo.php.htm, Maria Angélica Martins Costa et al, Universitas Federal de São Carlos, brasil)

Dari gambar grafik di atas terlihat bahwa jumlah partikel pengotor yang tertangkap (ditunjukkan oleh efisiensi) meningkat seiring bertambahnya jumlah air yang digunakan sampai batas tertentu. Efisiensi pada laju alir 286 ml/min dan 586 ml/min terlihat cukup meningkat. Namun efisiensi dari laju alir 586 ml/min ke 886 ml/min hanya mengalami sedikit kenaikan, bahkan cenderung sama untuk partikel berukuran 0,5 – 0,7 µm. Hal ini menunjukkan bahwa pada batas laju alir air ini efisiensi sudah tidak meningkat jika jumlah air terus ditambah. Jumlah air yang terlalu banyak akan membuat droplet yang terbentuk tidak maksimal untuk menangkap partikel, dengan kata lain air tidak

akan sempat untuk menangkap partikel. Lapisan air pada dinding venturi juga akan cepat bertambah sehingga menjadi kurang maksimal dalam menangkap partikel pengotor.

Apabila ditinjau dari hasil pengujian yang telah dilakukan, efektifitas venturi scrubber meningkat seiring bertambahnya jumlah air yang digunakan sampai batas tertentu, yaitu 33,96 ml/s. Kemudian akan menurun jika jumlah air berlebihan. Adapun lekukan yang terjadi pada gambar grafik 5.6 pada ukuran partikel $\pm 0,3 \mu\text{m}$ di ketiga laju alir air, disebabkan oleh mekanisme penangkapan partikel. Inertial impaction bekerja pada partikel berukuran besar, dan difusi bekerja pada partikel yang sangat kecil.

Dari literatur juga didapat bahwa penambahan jumlah debit air yang digunakan akan menambah efisiensi. Tetapi bagaimanapun, penggunaan debit air yang besar pada tenggorokan yang kecil akan menyebabkan *jet penetration*. Pada kondisi ini, jet akan mengatomisasi pada bagian tengah tenggorokan yang menyebabkan droplet mengendap, sehingga mengurangi jumlah dari air yang mampu menjadi droplet. Hal ini sangat berpengaruh terhadap penangkapan partikel secara difusi yang menangkap partikel berukuran kecil.

IV.4.4 Analisa hasil dari tar terhadap persamaan pada literatur

Berdasarkan grafik yang didapat dari perbandingan warna setiap sampel air dari *venturi scrubber*, didapat bahwa semakin besar laju aliran air semakin kurang kepekatan dari air yang dihasilkan atau dengan kata lain semakin sedikit tar yang dapat tertangkap. Dari literatur didapat bahwa banyak sekali parameter yang mempengaruhi *collection efficiency* dari suatu *venturi scrubber* yaitu

1. *Droplet size*
2. *Concentration distribution*
3. *Liquid-to-gas ratio*
4. *Jet penetration*
5. *Liquid film fraction*

Dari lima parameter diatas, *droplet size* yang merupakan dasar penting untuk menunjukkan performa dari *venturi scrubber* tersebut (Mayinger and Neumann, 1978). Kecepatan dari gas yang masuk sangat mempengaruhi ukuran dari droplet yang terbentuk, semakin besar kecepatan gas maka akan semakin berkurang ukuran droplet yang terbentuk^[10]. Hal ini dikarenakan pada pengujian ini gas dari hasil gasifikasi konstan dan hanya kecepatan dari air yang hanya dilakukan variasi sehingga parameter kecepatan gas yang dapat menyebabkan *jet penetration* tidak dapat terjadi. Selanjutnya ukuran droplet dipengaruhi oleh ratio dari liquid-gas. Penambahan ratio liquid-gas akan mengurangi ukuran droplet yang terbentuk, tetapi Nukiyama and Tanasawa (1938) and Boll et al. (1974) menemukan bahwa penambahan ukuran droplet hanya memiliki sedikit pengaruh sedangkan Fernández Alonso et al. (2001) menyatakan bahwa tidak ada pengaruh yang signifikan dari penambahan liquid-gas terhadap pengaruh ukuran droplet yang terbentuk. Dibawah ini adalah persamaan yang dibuat oleh Nukiyama and Tanasawa (1938)^[11]:

$$D_{32} = \frac{0.585}{v_r} \sqrt{\frac{\sigma}{\rho_l}} + 1.683 \times 10^{-3} \left(\frac{\mu_l}{\sqrt{\sigma \rho_l}} \right)^{0.45} \left(\frac{1000 Q_l}{Q_g} \right)^{1.5}$$

D = Ukuran droplet

v_{rel} = Kecepatan relative air-gas

σ = Tegangan permukaan dari liquid

ρ_l = *Density* liquid

μ_l = Viskositas droplet

Q_l = Debit liquid

Q_g = Debit gas

Jika persamaan ini dihubungkan dengan hasil dari pengujian yang telah dilakukan, maka pada saat debit air 33.96 ml/s merupakan kondisi

dimana ukuran droplet telah maksimum yang menyebabkan warna hasil air yang keluar dari *venturi scrubber* sangat pekat dibandingkan yang lain. sedangkan pada saat debit air berubah menjadi 43.32 ml/s, 43.9 ml/s, 40.78 ml/s warna air hasil keluaran *venturi scrubber* menghasilkan warna yang pekat juga tetapi apabila dibandingkan dengan debit air 33.96 ml/s kepekatan pada kondisi ini lebih dari kondisi yang lain. Analisis dari literatur diatas pada saat debit air bertambah maka semakin berkurang droplet yang terjadi sesuai persamaan diatas sampai kondisi optimum, hal ini terbukti pada saat debit air yang digunakan lebih dari 100 ml/s kepekatan warna air cenderung sama sampai debit air 500 ml/s.

Selain dari ukuran droplet, metode penangkapan partikel juga merupakan faktor yang mempengaruhi besarnya *collection efficiency*, dari persamaan dibawah terlihat bahwa ada dua metode yang umum didalam penangkapan tar pada droplet yaitu secara inertial dan difusi, metode penangkapan secara inertial menangkap partikel lebih dari 0.5 mm sedangkan untuk partikel dibawah keadaan tersebut metode penangkapannya adalah secara difusi.

Persamaan *Collection efficiency* :

$$\eta(d_p) = 1 - \exp \left[-51.9 \left(\frac{Q_t(1-F_f)\rho_l D_d}{A_{th}\mu_g} \right)^{0.19} (\psi^{0.169} + 2813Pe^{-0.581}) \right]$$

Persamaan Penangkapan inertial (ψ) dan difusi (Pe)^[81] :

$$\psi = \frac{\rho_p d_p^2 V_g C}{18 \mu_g D_d}$$

$$Pe = \frac{V_g D_d 3\pi \mu_g d_p}{K_B T C}$$

D_d = Diameter rata-rata droplet yang terbentuk (m)

d_p = Diameter partikel (m)

V_g = Kecepatan gas (m/s)

ψ = penangkapan secara inertial

Pe = Penangkapan secara difusi

μ_g = Viskositas dinamik gas (N s/m)

ρ_p = kerapatan partikel (kg/m^3)

K_B = Konstanta Boltzmann ($1,38 \times 10^{-23}$ J/K)

C = Konstantas Cunningham

T = Temperatur (K)

Dari persamaan diatas dapat dianalogikan bahwa semakin kecil droplet yang terbentuk maka penangkapan secara inertial akan semakin tinggi, tetapi kebalikan dengan difusi, semakin besar droplet yang terbentuk maka akan semakin kecil efek dari penangkapan secara difusi. Sedangkan untuk *collection efficiency* dengan semakin besar debit air dan ukuran droplet semakin kecil maka akan semakin besar efisiensi yang dihasilkan tetapi untuk besarnya tar yang tertangkap tergantung dari nilai inertial dan difusinya.

Jika dibandingkan dengan tar hasil pengujian, semakin besar debit air maka warna air yang dihasilkan semakin kurang kepekataannya, hal ini dimungkinkan efisiensi masih tinggi karena partikel yang tertangkap adalah partikel berukuran besar, hal ini terbukti dari penglihatan secara visual dari sampel yang ada sedangkan yang mempengaruhi kepekatan warna dapat disebabkan dari partikel berukuran kecil atau minyak yang terkondensasi. Dengan ini dapat disimpulkan perbedaan kepekatan warna tidak dapat menjadi tolak ukur besarnya *efficiency collection* hal ini dikarenakan *efficiency collection* yang tinggi juga bisa didapat dari partikel ukuran besar yang tertangkap seperti gambar 4.4.3. Besaranya debit air yang digunakan hanya berpengaruh terhadap penangkapan partikel, semakin besar debit air yang digunakan maka cenderung konstan didalam penangkapan partikel yang berukuran kecil.

BAB V

KESIMPULAN

Pada penelitian ini dilakukan pengujian variasi laju air yang mengalir kedalam *venturi scrubber* terhadap banyaknya tar yang dapat ditangkap, sehingga didapat laju aliran air yang tepat yang dapat menangkap tar secara optimum pada *venturi scrubber* dan mengetahui seberapa jauh pengaruh dari variasi laju aliran yang dilakukan berpengaruh terhadap flame yang terjadi pada *combustion unit*.

Pengujian dilakukan dengan empat variasi kondisi pengaturan katub reservoir utama yaitu pengaturan katub reservoir 20° dengan debit aliran 17.8 ml/s, 33.96 ml/s, 45.7 ml/s, 52.92 ml/s, kemudian pengaturan katub reservoir 30° dengan debit aliran 43.32 ml/s, 93.81 ml/s, 167.01 ml/s, 209.52 ml/s, dilanjutkan dengan pengaturan katub reservoir 40° dengan debit aliran 43.9 ml/s, 113.96 ml/s, 180.15 ml/s, 257.58 ml/s, dan terakhir pengaturan katub reservoir 90° dengan debit aliran 40.78 ml/s, 112.65 ml/s, 296.09 ml/s, 500.09 ml/s. Dari pengujian ini didapat bahwa variasi debit aliran tidak berpengaruh terhadap bentuk flame yang terjadi di *combustion unit*, hal ini terlihat dari grafik temperatur pada termokopel 1 yang hanya memiliki sedikit perbedaan temperatur pada setiap variasi debit aliran, perbedaan ini disebabkan dari penggunaan swirl pada burner dan jumlah *secondary air* yang digunakan sehingga mempengaruhi pencampuran dari bahan bakar dan udara.

Untuk debit aliran optimum didalam menangkap tar, terjadi pada debit aliran sebesar 33.96 ml/s. Pada kondisi debit aliran ini, warna air yang dihasilkan lebih pekat dibandingkan dengan yang lain. Hal ini dapat dibuktikan dari perbandingan visual yang dilakukan terhadap hasil sampel keluaran air dari *venturi scrubber* dengan setiap variasi kondisi debit aliran. Berdasarkan analisis dari literatur hal ini dapat terjadi dikarenakan pada kondisi debit aliran tersebut, terbentuk ukuran-ukuran droplet yang optimum untuk menangkap tar dengan ratio *liquid to gas* yang tepat juga.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] Budiono, chayun.,”Tantangan dan Peluang Usaha Pengembangan Energi Terbarukan di Indonesia, Konvensi Kelistrikan Indonesia 2003, Jakarta, Oktober 2003.
- [2] <http://www.sasak.org/univ-ks/tepat-guna/1485-teknologi-gasifikasi-biomassa-alternatif-solusi-bahan-bakar-oven-tembakau-bagian-1-konsep-dasar>.(Minggu tanggal 23 mei jam 16.00)
- [3] CCIT, Teknologi gasifikasi.
- [4] Koestoer, R.A, et al., *Studi Batubara Indonesia, Potensi, Teknologi, dan Pemanfaatannya* (Depok: Laboratorium Perpindahan Kalor DTM FTUI,1997), hal II-11.
- [5] JH. Howson, K, Cosnello, *Risk Reduction Measures For The Development of Biomass Rotary Kiln Gasification*, Journal, ETSU B/U1/00646/REP, 2002.
- [6] <http://id.wikipedia.org/wiki/Gasifikasi> (Selasa tanggal 4 mei jam 10.30)
- [7] http://en.wikipedia.org/wiki/Wet_scrubber (Sabtu tanggal 1 mei jam 21.00)
- [8] Maria Angélica Martins Costa; Ana Paula Rodrigues Alves Ribeiro; Érica Rodrigues Tognetti; Mônica Lopes Aguiar; José Antônio Silveira Gonçalves; José Renato Coury, “*Performance of a Venturi scrubber in the removal of fine powder from a confined gas stream*”, Journal, Departamento de Química, Universidade Federal de São Carlos, C.P. 676, 13565-905 São Carlos - SP, Brazil.
- [9] Gerald T. Joseph, Scrubber system operation review Self-instructional manual, North Carolina State University.
- [10] Mayinger, F. and Neumann, M., Dust Collection in Venturi Scrubbers, German Chemical Engineering, vol. 1, pp. 289-293, 1978.
- [11] Nukiyama, S. and Tanasawa, Y., Experiment on Atomization of Liquid by Means of Air Stream, Transactions of the Society of Mechanical Engineers - Japan, vol. 4, no. 14, pp. 86-93, 1938.



Lampiran 1 :

Bahan bakar yang digunakan pada pengujian

Bahan Bakar	Temperatur masuk	Jumlah
Arang	T ruang (35)	1 kg
	T 2 (> 200)	1 kg
	T 2 (> 600)	1 kg
	T 2 (> 800)	1 kg
	T 2 (>900)	1 kg
Batok Kelapa	T ruang (35)	1 kg
Batok Kelapa	T 2 (>900)	2 kg
	T 2 (>900)	2 kg
	T 2 (>900)	2 kg
	T 2 (>900)	2 kg
	T 2 (>900)	2 kg
	T 2 (>1000)*	2 kg
	T 2 (>1000)	2 kg
	T 2 (>1100)	2 kg
	T 2 (>1100)	2 kg
	T 2 (>1100)	2 kg

(*) Pengambilan data dimulai

Data aliran air pada variasi bukaan katub reservoir utama dengan kondisi katub *venturi scrubber* tertutup dan katub *combution unit* terbuka penuh

Bukaan katub (degree)	Volume (ml)	Waktu (s)	Waktu (s)	Waktu (s)	Debit (ml/s)	Debit (ml/s)	Debit (ml/s)	Rata-rata debit (ml/s)
20	300	1,07	1	1,07	280,37	300	280,37	286,92
30	300	0,99	0,9	0,92	303,03	333,33	326,09	320,82
40	300	0,83	0,82	0,85	361,45	365,85	352,94	360,08
50	300	0,84	0,85	0,83	357,14	352,94	361,45	357,18
60	300	0,73	0,71	0,72	410,96	422,54	416,67	416,72
70	300	0,71	0,72	0,72	422,54	416,67	416,67	418,62
80	300	0,72	0,73	0,72	416,67	410,96	416,67	414,76
90	300	0,72	0,74	0,71	416,67	405,41	422,54	414,87

Lampiran 2 :

Data aliran air pada satu bukaan katub reservoir utama dengan variasi bukaan katub *venturi scrubber*

Bukaan Katub Reservoir (degree)	Bukaan Katub Wet scrubber (degree)	Volume (ml)	Waktu (s)	Waktu (s)	Waktu (s)	Debit (ml/s)	Debit (ml/s)	Debit (ml/s)	Rata-rata debit (ml/s)
20	10	300	mati	mati	mati	mati	mati	mati	mati
	20	300	16,8	16,9	16,8	17,86	17,75	17,86	17,82
	30	300	8,8	8,8	8,9	34,09	34,09	33,71	33,96
	40	300	6,7	6,6	6,4	44,78	45,45	46,87	45,70
	50	300	6,6	6,6	6,4	45,45	45,455	46,87	45,93
	60	300	6,5	6,4	6,6	46,15	46,88	45,45	46,16
	70	300	5,6	5,6	5,5	53,57	53,57	54,54	53,89
	80	300	5,7	5,6	5,5	52,63	53,57	54,54	53,58
	90	300	5,6	5,7	5,7	53,57	52,63	52,63	52,94

Bukaan Katub Reservoir (degree)	Bukaan Katub Wet scrubber (degree)	Volume (ml)	Waktu (s)	Waktu (s)	Waktu (s)	Debit (ml/s)	Debit (ml/s)	Debit (ml/s)	Rata-rata debit (ml/s)
30	10	300	mati	mati	mati	mati	mati	mati	mati
	20	300	6,6	7,1	7,1	45,45	42,25	42,25	43,32
	30	300	3,1	3,3	3,2	96,77	90,91	93,75	93,81
	40	300	1,8	1,9	1,7	166,67	157,89	176,47	167,01
	50	300	1,7	1,8	1,6	176,47	166,67	187,5	176,88
	60	300	1,8	1,8	1,7	166,67	166,67	176,47	169,93
	70	300	1,4	1,4	1,5	214,293	214,29	200	209,52
	80	300	1,4	1,4	1,5	214,29	214,29	200	209,52
	90	300	1,4	1,5	1,4	214,29	200	214,29	209,52

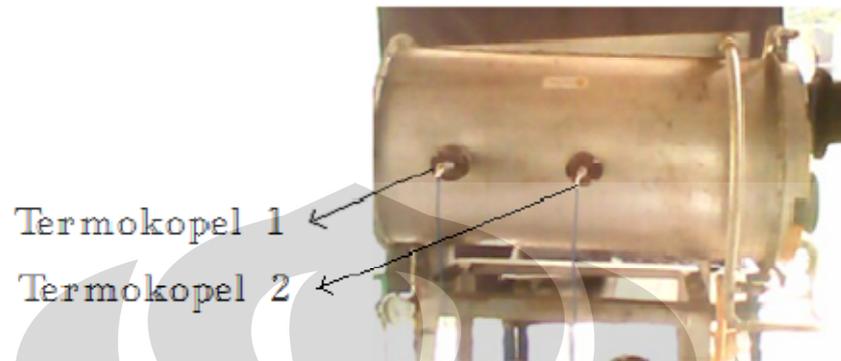
(lanjutan)

Bukaan Katub Reservoir (degree)	Bukaan Katub Wet scrubber (degree)	Volume (ml)	Waktu (s)	Waktu (s)	Waktu (s)	Debit (ml/s)	Debit (ml/s)	Debit (ml/s)	Rata-rata debit (ml/s)
40	10	300	mati	mati	mati	mati	mati	mati	mati
	20	300	6,9	6,8	6,8	43,48	44,12	44,12	43,90
	30	300	2,7	2,6	2,6	111,118	115,38	115,385	113,96
	40	300	1,7	1,7	1,6	176,478	176,47	187,5	180,15
	50	300	1,6	1,6	1,7	187,5	187,5	176,47	183,82
	60	300	1,6	1,7	1,7	187,5	176,47	176,47	180,15
	70	300	1,2	1,2	1,2	250	250	250	250
	80	300	1,2	1,1	1,1	250	272,72	272,72	265,15
	90	300	1,2	1,1	1,2	250	272,72	250	257,58

Bukaan Katub Reservoir (degree)	Bukaan Katub Wet scrubber (degree)	Volume (ml)	Waktu (s)	Waktu (s)	Waktu (s)	Debit (ml/s)	Debit (ml/s)	Debit (ml/s)	Rata-rata debit (ml/s)
90	10	300	mati	mati	mati	mati	mati	mati	mati
	20	300	7,81	7,24	7,06	38,41	41,44	42,49	40,78
	30	300	2,66	2,69	2,64	112,78	111,52	113,64	112,65
	40	300	1,03	1,01	1	291,26	297,03	300	296,09
	50	300	0,98	1,01	1,02	306,12	297,03	294,12	299,08
	60	300	1,03	1,01	1	291,26	297,03	300	296,09
	70	300	0,61	0,63	0,62	491,80	476,19	483,87	483,95
	80	300	0,64	0,62	0,63	468,75	483,87	476,19	476,273
	90	300	0,61	0,59	0,6	491,80	508,47	500	500,09

Lampiran 3 :

Temperatur flame yang terbentuk pada *combustion unit*



Gambar termokopel pada *combustion unit*

Bukaan katub reservoir utama	Bukaan katub venturi scrubber	T 1 (°C)	T 2 (°C)	Debit (ml/s)
20	20	737	470	17,8
	30	760	540	33,96
	40	730	465	45,7
	90	722	454	52,94
30	20	750	500	43,32
	30	853	620	137,62
	40	779	541	167,01
	90	814	570	209,52
40	20	739	405	43,9
	30	730	401	113,96
	40	718	394	180,15
	90	710	389	257,58
90	20	715	450	40,78
	30	700	450	112,65
	40	757	496	296,1
	90	731	442	500,09