



UNIVERSITAS INDONESIA

**PENGARUH LAJU ALIRAN UDARA PRIMER DAN LAJU
ALIRAN AIR TERHADAP TEMPERATUR GAS MAMPU
BAKAR (GAS PRODUSER) PADA SISTEM GAS CLEANING
GASIFIKASI DOWNDRAFT**

SKRIPSI

Diajukan sebagai salah satu syarat untuk memperoleh gelar Sarjana Teknik

**REDA PAHLEVI
0906605082**

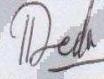
**UNIVERSITAS INDONESIA
FAKULTAS TEKNIK
PROGRAM STUDI TEKNIK MESIN
DEPOK
JANUARI 2012**

HALAMAN PERNYATAAN ORISINALITAS

Saya menyatakan dengan sesungguhnya bahwa tugas akhir dengan judul :

Pengaruh laju aliran udara primer & air venturi scrubber terhadap temperatur gas mampu bakar (gas produser) pada sistem gas cleaning gasifikasi downdraft

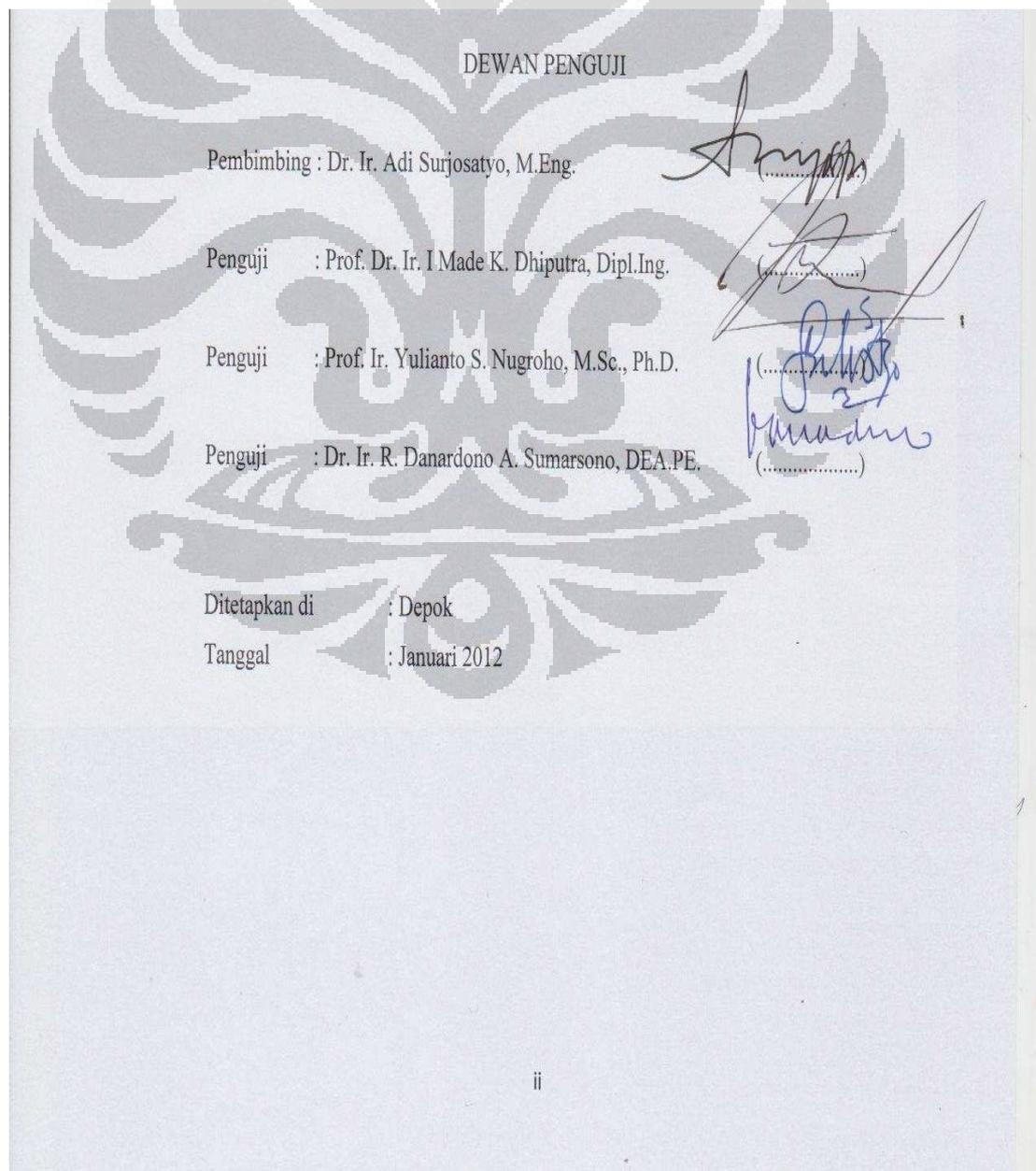
yang dibuat untuk melengkapi sebagian persyaratan menjadi Sarjana Teknik pada Program Studi Teknik Mesin Departemen Teknik Mesin Fakultas Teknik Universitas Indonesia, bukan merupakan tiruan atau duplikasi dari tugas akhir yang sudah dipublikasikan dan atau pernah dipakai untuk mendapatkan gelar kesarjanaan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

Nama : Reda Pahlevi
NPM : 0906605082
Tanda Tangan : 
Tanggal : Januari 2012

HALAMAN PENGESAHAN

Skripsi ini diajukan oleh :
Nama : Reda Pahlevi
NPM : 0906605082
Program Studi : Teknik Mesin
Judul Skripsi : Pengaruh laju aliran udara primer & air venturi scrubber terhadap temperatur gas mampu bakar (gas produser) pada sistem gas cleaning gasifikasi downdraft

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



KATA PENGANTAR

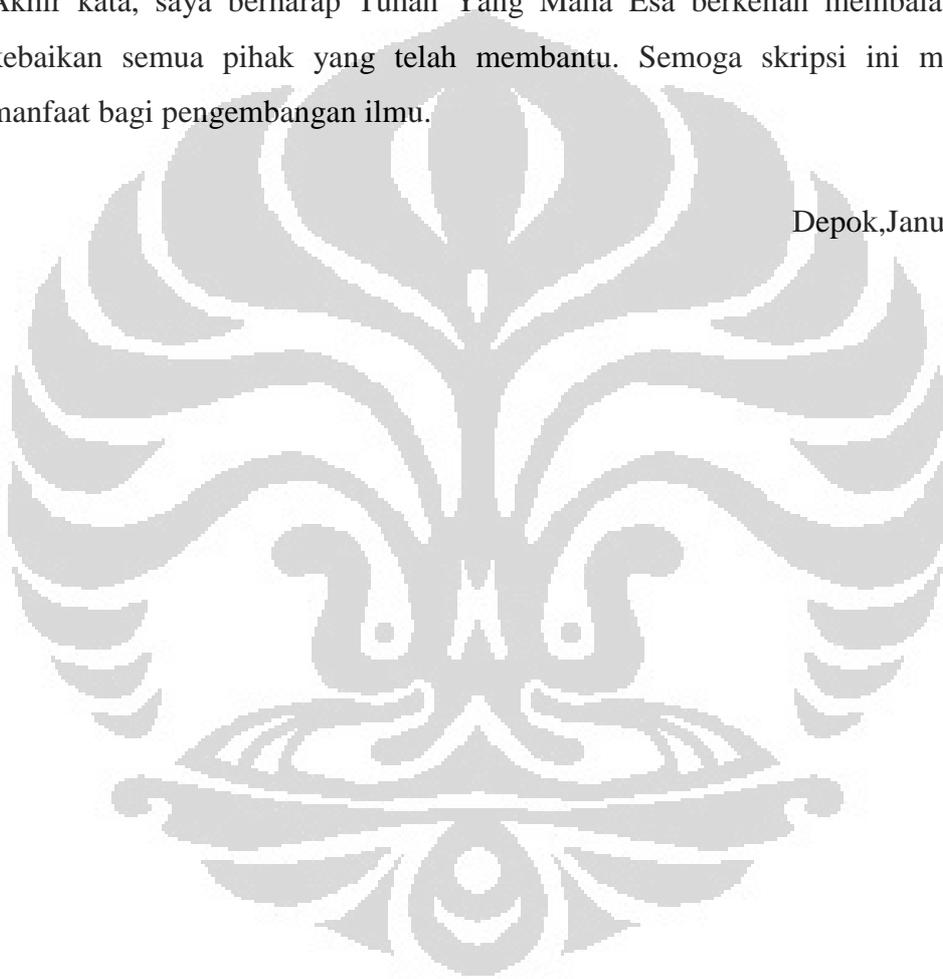
Puji syukur saya panjatkan kepada Alloh SWT, karena karunia rahmat-Nya, saya dapat menyelesaikan Tugas Akhir ini. Penulisan Tugas Akhir ini dilakukan dalam rangka memenuhi salah satu syarat untuk mencapai gelar Sarjana Teknik Jurusan Teknik Mesin Fakultas Teknik Universitas Indonesia. Saya menyadari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

- (1) Kedua orang tua saya dan adik saya, yang selalu mendukung dan mendoakan dengan tulus demi kelancaran dan kebaikan putra dan kakak menyelesaikan pendidikan.
- (2) Dr. Ir. Adi Surjosatyo, M.Eng selaku dosen pembimbing yang telah menyediakan waktu, tenaga, dan pikiran serta bantuan lain berupa dorongan moril maupun materil untuk mengarahkan saya dalam penyusunan skripsi ini yang merupakan bagian dari Riset Unggulan Universitas Indonesia.
- (3) Pak Fajri Vidian yang selalu memberikan ide dan bimbingan dalam menyelesaikan skripsi ini.
- (4) Ir.Hendri Dwi Septioratri Budiono M.Eng selaku dosen pembimbing akademis penulis yang telah memberikan masukan-masukan kepada penulis.
- (5) Bapak Suryadi, Syarif, Wasis selaku staff Departemen Teknik Mesin Universitas Indonesia yang selalu baik hati meluangkan waktu, tenaga, dan pikiran demi kelancaran skripsi ini.
- (6) Seluruh dosen dan staff Departemen Teknik Mesin Unversitas Indonesia yang telah memberikan ilmu dan pengetahuan yang bermanfaat kepada saya selama kuliah di Teknik Mesin Universitas Indonesia.
- (7) Rully Oki Rialto, Lestyant Hutabarat, dan Jhibril dari tim tar sebagai rekan kerja dan teman yang kompak dalam menyelesaikan skripsi ini.

- (8) M Adiwirabrata, dan Harry Daniel sebagai rekan kerja dari tim downdraft gasifikasi yang selalu memberikan ide-ide dan saran-saran untuk kemajuan skripsi ini.
- (9) Teman-teman Mesin Ekstensi angkatan 2009 yang selalu memberikan semangat serta masukan kepada penulis dan juga sedang berjuang dengan tugas akhirnya.

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

Depok, Januari 2012



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

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

Nama : Reda Pahlevi
NPM : 0906605082
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 laju aliran udara primer & air venturi scrubber terhadap temperatur gas mampu bakar pada sistem gas cleaning gasifikasi downdraft

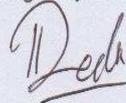
beserta perangkat yang ada (jika diperlukan). Dengan Hak Bebas Royalti Noneksklusif ini Universitas Indonesia berhak menyimpan, mengalihmedia/formatkan, mengelola dalam bentuk pangkalan data (*database*), merawat, dan memublikasikan tugas akhir saya selama tetap mencantumkan nama saya sebagai penulis/pencipta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

Demikian pernyataan ini saya buat dengan sebenarnya.

Dibuat di : Depok

Pada tanggal : Januari 2012

Yang menyatakan



(Reda Pahlevi)

v

ABSTRAK

Nama : Reda Pahlevi
Program Studi : Teknik Mesin
Judul : Pengaruh laju aliran udara primer & laju aliran air terhadap temperatur gas mampu bakar (gas produser) pada sistem gas cleaning gasifikasi downdraft

Proses gasifikasi merupakan salah satu bentuk pemanfaatan bahan bakar limbah (biomassa) untuk mendapatkan energi yang terbarukan sebagai pengganti bahan bakar fosil. Dalam proses gasifikasi tersebut selalu menghasilkan zat yang dinamai gas produser. Dalam pemanfaatannya untuk mengganti bahan bakar fosil, gas produser tersebut harus memenuhi beberapa syarat, salah satunya adalah temperatur gas produser tersebut harus sesuai dengan temperatur yang diijinkan untuk pengaplikasian ke motor pembakaran dalam. Berdasarkan literatur, temperatur gas produser yang diijinkan untuk pengaplikasian kedalam motor pembakaran dalam berada pada rentang temperatur +/- 40°C. Pengujian ini dilakukan bertujuan untuk mengetahui distribusi temperatur gas produser terhadap variasi laju aliran udara primer dengan variasi laju aliran air. Setelah pengujian diperoleh bahwa temperatur gas produser sebelum gas cleaning mengalami kenaikan seiring dengan semakin bertambahnya laju aliran udara primer. Temperatur gas produser rata-rata setelah gas cleaning yang diperoleh sebesar 37,3°C. Pengaruh laju aliran udara primer dan laju aliran air yang optimal terhadap pembentukan flame terjadi pada saat laju aliran udara primer 189,6 lpm dengan laju aliran air 10 lpm dan 20 lpm, saat laju aliran udara primer 131,4 lpm dengan laju aliran air 10 lpm dan 20 lpm dan pada saat laju aliran udara primer 89,4 lpm dengan laju aliran air 10 lpm. Durasi pembentukan flame optimal terjadi ketika laju aliran air 20 lpm untuk setiap laju aliran udara primer.

Kata kunci : Gas produser, Laju aliran udara primer, Laju aliran air, Temperatur gas produser.

ABSTRACT

Name : Reda Pahlevi
Study Programe : Mechanical Engineering
Title : The influences of flow rate primary air & water flow rate againts gas producer temperature in gas cleaning procces downdraft gasification.

Gasification process is a one form of utilization of waste fuels (biomass) for renewable energy instead of fosil fuels. On that gasification process is always produce a name of gas producer. In the utilization to replace fosil fuels, gas producer's must meet several requirements, one of which is the temperature of the gas producer's must comply with the allowable temperature for aplication to internal combustion engine. Based on the literature, the allowable temperature of gas producer for the application into internal combustion engine, is located in the temperature range +/- 40°C. This testing was conducted to detrmine the temperature distribution of the producer gas instead of flow rate primary air variations and water flow rate variations. After the testing the temperature average of gas producer after gas cleaning is earns by 37,3°C. The optimum effects of primary air flow rate and water flow rate to the formation of flame was occured when the primary air flow rate of 189,6 lpm with a water flow rate 10 lpm and 20 lpm, at the primary air flow rate of 131,4 lpm with a water flow rate of 20 lpm and when at the primary air flow rate of 89,4 lpm with water flow rate of 10 lpm. Optimal duration of flame formation occurred when the water flow rate 20 lpm for each primary air flow rate.

Key words : Gas producer, primary air flow rate, water flow rate, gas producer temperature

DAFTAR ISI

	Hal
PERNYATAAN ORISINALITAS	i
HALAMAN PENGESAHAN.....	ii
KATA PENGANTAR	iii
HALAMAN PERSETUJUAN.....	iv
ABSTRAK	vi
DAFTAR ISI.....	viii
DAFTAR GAMBAR	xi
DAFTAR TABEL.....	xii
DAFTAR GRAFIK.....	xiii
BAB 1 PENDAHULUAN	
1.1 Judul Penelitian	1
1.2 Latar Belakang Masalah.....	1
1.3 Perumusan Masalah.....	4
1.4 Tujuan Penelitian.....	4
1.5 Pembatasan Masalah	5
1.6 Metodologi Penelitian	5
1.7 Sistematika Penulisan	7
BAB 2 DASAR TEORI	
2.1 Gambaran umum teknologi gasifikasi.....	8
2.2 Karakteristik bahan bakar.....	11
2.3 Filtrasi.....	13
2.4 Motor penggerak.....	13
2.4.1 Gas hasil sebagai umpan motor.....	14

2.4.2 Mesin diesel.....	15
2.4.3 Mesin otto.....	15
2.5 Gas produser.....	16
2.5.1 Gas sintetik.....	16
2.6 Pembersihan gas sintetik (proses gas cleaning).....	17
2.6.1 Venturi scrubber.....	18
2.6.2 Cara kerja venturi scrubber.....	20

BAB 3 METODE PENELITIAN

3.1 Skematik alat pengujian.....	21
3.2 Metodologi pengujian dan pengambilan data.....	24
3.3 Persiapan pengujian.....	24
3.3.1 Set-Up bahan bakar gasifikasi.....	24
3.3.2 Set-Up alat-alat pengukuran.....	25
3.4 Prosedur pengujian dan pengukuran.....	29
3.4.1 Tahap pengujian.....	29
3.4.1.1 Persiapan awal pengujian.....	29
3.4.1.2 Proses pembakaran arang (Start-up).....	30
3.4.1.3 Proses pembakaran bahan bakar (tempurung kelapa).....	30
3.4.1.4 Proses variasi laju aliran udara primer dan laju aliran air.....	31
3.4.2 Tahap pengukuran.....	31
3.4.2.1 Pengukuran distribusi temperatur pada reaktor <i>gasifier</i>	31
3.4.2.2 Pengukuran distribusi temperatur gas produser.....	32
3.4.2.3 Penukaran terhadap pembentukan api (<i>flame</i>).....	33

BAB 4 HASIL DAN ANALISA DATA

4.1 Parameter pengujian.....	34
4.2 Hasil & Analisa distribusi temperatur pada gas produser.....	37
4.2.1 Distribusi temperatur gas produser sebelum gas cleaning.....	37
4.2.2 Distribusi temperatur gas produser setelah gas cleaning.....	39
4.3 Analisa kesalahan pengukuran temperatur gas produser sebelum gas cleaning..	45
4.4 Analisa kesalahan pengukuran temperatur gas produser setelah gas cleaning....	45

4.5 Analisa selisih temperatur gas produser sebelum gas cleaning & setelah gas cleaning	46
4.6 Analisa distribusi temperatur pada reaktor	47
4.7 Hasil & Analisa pembentukan Flame	48

BAB 5 KESIMPULAN

5.1 Kesimpulan	51
5.2 Saran.....	53

DAFTAR PUSTAKA	54
-----------------------------	----

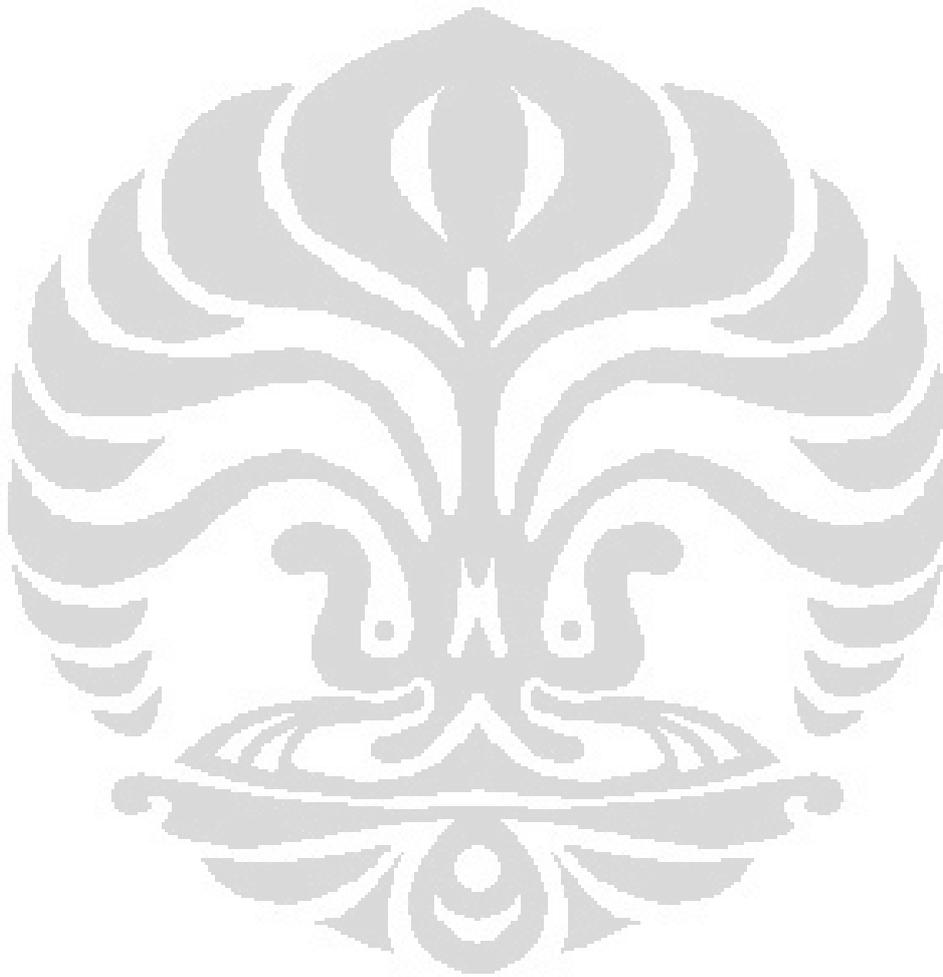


DAFTAR GAMBAR

Gambar 2.1 Perbandingan jennis-jenis gasifier	10
Gambar 2.2 a Penampang atas venturi scrubber	18
Gambar 2.2 b Venturi scrubber	18
Gambar 2.3 Contoh desain <i>venturi scrubber</i>	18
Gambar 2.4 Skema Aliran Gas pada <i>Venturi Scrubber</i>	19
Gambar 3.1 Downdraft Gasifier.....	21
Gambar 3.2 Blower	22
Gambar 3.3 Reaktor gasifier	22
Gambar 3.4 Blower hisap.....	23
Gambar 3.5 Venturi Scrubber	23
Gambar 3.6 Bahan bakar yang digunakan dalam pengujian.....	24
Gambar 3.7 Manometer U	25
Gambar 3.8 Thermokopel tipe K	26
Gambar 3.9 Digital data logger.....	26
Gambar 3.10 Inverter	27
Gambar 3.11 Water Rotameter.....	27
Gambar 3.12 Pompa air “San Ei”	28
Gambar 3.13 Tangki penampungan air.....	28
Gambar 3.14 Skematik pengukuran temperatur gas produser	32
Gambar 4.1 Katup Blower udara primer.....	33
Gambar 4.2 Katup aliran air.....	34
Gambar 4.3 Thermokopel pada reaktor gasifier	34
Gambar 4.4 Thermokopel pada gas producer	35
Gambar 4.5 Kamera handphone nokia 5800 34.....	35
Gambar 4.6 Bentuk & Kualitas flame saat variasi udara primer 30° (189,6 lpm).....	49
Gambar 4.7 Gambar 4.7 Bentuk & Kualitas flame saat variasi udara primer 45° (131,4 lpm).....	50
Gambar 4.8 Gambar 4.8 Bentuk & Kualitas flame saat variasi udara primer 60° (89,4 lpm).....	50

DAFTAR TABEL

Tabel 1.1 Pengurangan partikel dan tar pada beragam sistem pembersih gas	3
Tabel 2.1 Perbandingan gasifier.....	9



DAFTAR GRAFIK

Grafik 4.1 Temperatur gas produser sebelum gas cleaning	37
Grafik 4.1.1 Temperatur rata-rata gas produser sebelum gas cleaning.....	38
Grafik 4.2 Temperatur gas produser setelah gas cleaning, laju aliran udara primer 189,6 lpm.....	39
Grafik 4.2.1 Temperatur gas produser rata-rata setelah gas cleaning,laju aliran udara primer 189,6 lpm.....	40
Grafik 4.3 Temperatur gas produser setelah gas cleaning, laju aliran udara primer 131,4 lpm.....	41
Grafik 4.3.1 Temperatur gas produser rata-rata setelah gas cleaning,laju aliran udara primer 131,4 lpm.....	42
Grafik 4.4 Temperatur gas produser setelah gas cleaning, laju aliran udara primer 89,4 lpm.....	43
Grafik 4.4.1 Temperatur gas produser rata-rata setelah gas cleaning,laju aliran udara primer 89,4 lpm.....	44
Grafik 4.5 Distribusi temperatur pada reactor gasifier.....	47

BAB I

PENDAHULUAN

I.1 Judul Penelitian

Pengaruh laju aliran udara primer & laju aliran air terhadap temperatur gas mampu bakar (gas produser) pada sistem gas cleaning gasifikasi downdraft.

1.2 Latar Belakang Masalah

Teknologi gasifikasi merupakan suatu bentuk peningkatan pendaya-gunaan energi yang terkandung di dalam bahan bakar biomassa melalui suatu konversi dari bahan bakar padat menjadi gas mampu bakar dengan menggunakan proses degradasi termal material-material organik pada temperatur tinggi di dalam pembakaran yang tidak sempurna. Proses ini berlangsung di dalam suatu alat yang disebut *gasifier*. Dalam alat ini dimasukkan bahan bakar biomassa untuk dibakar di dalam reaktor (ruang bakar) secara tidak sempurna. Dengan kata lain, proses gasifikasi merupakan proses pembakaran parsial bahan baku padat, melibatkan reaksi antara oksigen dengan bahan bakar padat.

Uap air dan karbon dioksida hasil pembakaran direduksi menjadi gas yang mudah terbakar, yaitu karbon monoksida (CO), hidrogen (H₂) dan metan (CH₄). Gas-gas ini dapat dipakai sebagai pengganti BBM guna berbagai keperluan seperti menggerakkan mesin tenaga penggerak (diesel atau bensin), yang selanjutnya dapat dimanfaatkan untuk pembangkitan listrik, menggerakkan pompa, mesin giling maupun alat alat mekanik lainnya. Selain itu gas ini juga dapat dibakar langsung untuk tanur pembakaran, mesin pengering, oven dan sebagainya yang biasanya memerlukan pembakaran yang bersih.

Dalam kaitannya dengan proses pembakaran yang bersih maka gas-gas hasil pembakaran dari dalam reaktor, biasanya masih bercampur dengan berbagai unsur-unsur yang tidak diperlukan atau bahkan dapat mengganggu apabila digunakan dalam 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.

Secara garis besar terdapat 2 macam unit filtrasi ini, yaitu dengan cara basah (contohnya dengan *wet scrubber/venturi scrubber* dan *spray scrubber*) atau dengan cara kering (contohnya dengan *cyclone* dan *separator*). Pada dasarnya filtrasi ini akan membersihkan gas dari unsur-unsur : senyawa-senyawa sulphur, senyawa-senyawa nitrogen, debu yang terangkut oleh gas, kelembaban dari gas, temperatur gas yang tinggi, serta produk-produk dari proses distilasi yaitu : tar, minyak, gas-gas yang tak terkondensasi dan uap air. Dengan demikian gas yang keluar dari unit filtrasi ini diharapkan telah bersih dan bertemperatur yang rendah sehingga aman untuk dipergunakan dalam mesin penggerak.

Pada laboratorium termodinamika gasifikasi departemen teknik mesin Universitas Indonesia menggunakan dua sistem filtrasi yaitu dengan cara kering (*cyclone*) maupun basah (*venturi scrubber*), pemilihan sistem ini (*venturi scrubber*) sesuai dengan pernyataan Joseph Gerald T., P.E. (DMG Environmental, Inc.) mengatakan bahwa sistem pembersih gas dengan menggunakan air sebagai media pembersih (*wet scrubber*) memiliki sejumlah kelebihan dibandingkan tanpa menggunakan air (*dry scrubber*), seperti dapat mengumpulkan polutan partikulat dan gas secara bersamaan. *Wet scrubber* mengangkat partikel dengan 'menangkap'nya dalam tetesan air, sedangkan untuk polutan gas dengan cara melarutkan atau menyerapnya ke dalam air (*liquid*). Selain itu pemilihan ini berdasarkan *collection efficiency ventury scrubber* yang tertinggi (Table 1.1) yaitu antara 50% - 90%, hal ini berdasarkan hasil penelitian yang dilakukan oleh Hasler P (1998) dari beberapa tes gasifikasi biomassa.

Tabel 1.1 Pengurangan partikel dan Tar pada beragam system pembersih gas
(sumber : P. Hasler, T. Nussbaumer / Biomass and Bioenergy 16 (1999))

	Temperature (°C)	Reduction particle (%)	Reduction of Tar (%)
Sand bed filter	10 – 20	70 – 99	50 – 97
Wash tower	50 – 60	60 – 98	10 – 25
Venturi scrubber			50 – 90
Rotational atomizer	<100	95 – 99	
Wet ESP	40 – 50	>99	0 – 60
Fabric filter	130	70 – 95	0 – 50
Rotational particle separator	130	85 – 90	30 – 70
Fixed bed tar adsorber	80		50
Catalytic tar cracker	900		>95

Kemampuan atau performa sistem *gasifier*, dapat ditinjau dari beberapa kriteria :

- 1) *Equivalen Ratio*
- 2) Komposisi gas produser
- 3) Nilai kalor gas produser
- 4) Laju produksi gas
- 5) Distribusi temperatur dari zona-zona gasifikasi
- 6) Cold gas efisiensi

1.3 Perumusan Masalah

Berdasarkan literatur serta pengalaman pengujian yang telah dilakukan di laboratorium gasifikasi, terdapat masalah-masalah yang telah diidentifikasi sebagai berikut :

1. Belum adanya distribusi temperatur gas produser sebelum *gas cleaning* dan sesudah *gas cleaning* pada gasifikasi downdraft Departemen Teknik Mesin.
2. Temperatur gas produser setelah gas cleaning sebagai indikator untuk aplikasi ke motor pembakaran dalam.
3. Dampak pengaplikasian *venturi scrubber* terhadap kestabilan *flame* dilihat dari bentuk dan durasi pembentukan *flame*.

1.4 Tujuan Penelitian

Mengetahui performa pembentukan gas mampu bakar yang ditandai dengan durasi pembentukan *flame*. Metodenya adalah menganalisa distribusi temperature gas produser saat sebelum dan sesudah *gas cleaning*, serta visualisasi terhadap durasi pembentukan *flame*.

Dari latar belakang yang telah diuraikan sebelumnya, maka penulis bermaksud memfokuskan penelitian pada hal-hal sebagai berikut :

1. Mengetahui distribusi temperatur gas produser sebelum dan sesudah gas cleaning terhadap pembentukan *flame*.
2. Mengetahui durasi pembentukan *flame*.
3. Mengetahui temperatur pada zona-zona gasifikasi.
4. Mengukur temperatur gas produser setelah gas cleaning yang didapat.
5. Mengetahui penurunan temperatur gas produser sebelum gas cleaning dengan sesudah gas cleaning.

1.5 Batasan Masalah

Pengambilan data meliputi pengukuran distribusi temperatur pada gas produser saat sebelum melewati gas cleaning dan sesudah melewati gas cleaning, pengukuran temperatur pada reaktor gas gasifikasi untuk mengetahui temperatur zona-zona gasifikasi, pengukuran variasi antara laju aliran udara primer dengan laju aliran air *venturi scrubber* terhadap produksi *flame* gas produser yang terbentuk, serta pengambilan sampel foto terhadap *flame* yang terbentuk.

1.6 Metodologi Penelitian

Metodologi penelitian dalam penulisan tugas akhir ini adalah sebagai berikut :

1. Persiapan dan Perancangan
 - 1.1. Identifikasi masalah yang akan dibahas
 - 1.2. Penelusuran literatur sebagai metode untuk mendukung tujuan penulisan skripsi.
2. Pengujian dan Pengambilan Data
 - 2.1. Pengukuran laju aliran udara primer menggunakan *orifice meter* dan manometer U.
 - 2.2. Pengukuran laju aliran air venturi scrubber menggunakan *water rotameter*.
 - 2.3. Pengukuran durasi terhadap pembentukan *flame*.
 - 2.4. Pengukuran laju alir massa bahan bakar.
 - 2.5. Pengambilan dokumentasi foto terhadap pembentukan *flame* gas produser.
 - 2.6. Menganalisa hubungan laju aliran udara primer dan laju aliran air terhadap temperatur gas produser saat sebelum melewati gas cleaning dan sesudah melewati gas cleaning dengan menggunakan thermokopel tipe K.

3. Pengolahan Data dan Grafik

- 3.1. Interpretasi grafik distribusi temperatur pada gas produser sebelum *gas cleaning*.
- 3.2. Intepretasi grafik distribusi temperatur pada gas produser setelah *gas cleaning*.
- 3.3. Perbandingan visualisasi *flame* terhadap pengaruh variasi laju aliran udara primer dan laju aliran air.
4. Analisa dan Kesimpulan
 - 4.1. Menganalisa desain perancangan.
 - 4.2. Menganalisa hubungan temepratur gas produser sebelum *gas cleaning* dan sesudah *gas cleaning* terhadap pembentukan *flame*.
 - 4.3. Menganalisa hubungan laju aliran udara primer terhadap temperatur gas produser sebelum melewati *gas cleaning*.
 - 4.4. Menganalisa hubungan laju aliran udara primer dengan laju aliran air terhadap temperature gas produser setelah melewati *gas cleaning*.
 - 4.4. Menyimpulkan rancangan, hasil pengujian, pengukuran, serta hasil analisa.

I.7 Sistematika Penulisan

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

BAB I PENDAHULUAN, berisi :

latar belakang masalah, perumusan masalah, tujuan penelitian, batasan masalah, metodologi penelitian, dan sistematika penulisan.

- BAB II DASAR TEORI**, berisi :
pengenalan gas cleaning, teori dasar pembakaran dan nyala api, proses gasifikasi, dan aspek termodinamika.
- BAB III PENGUJIAN DAN PENGUKURAN** , berisi :
set-up eksperimen, prosedur eksperimen, instrumentasi pengukuran, metode pengambilan data dari pengujian serta penjabaran data-data eksperimen hasil pengukuran.
- BAB IV PENGOLAHAN DATA DAN GRAFIK**, berisi :
pengolahan data-data yang diperoleh guna memperoleh laju alir produksi gas, nilai kalor produksi gas, rasio udara, kecepatan gasifikasi spesifik, kecepatan produksi gas spesifik dan efisiensi gasifikasi serta menginterpretasikan grafik-grafik perbandingan pada beberapa kondisi pembakaran.
- BAB V ANALISA**, berisi :
Menceritakan kondisi operasional selama pengujian, distribusi temperatur gasifier terhadap waktu, Perubahan flowrate Primary Air dan gas produser yang dihisap, Perhitungan Aspek Termodinamika, Hasil Gas Produser, Kondisi *Flame* Secara Visual.
- BAB VI KESIMPULAN DAN SARAN**, berisi :
pengambilan kesimpulan dari hasil perhitungan desain, fabrikasi, serta pengolahan data. Dilengkapi dengan usulan serta saran yang diharapkan dapat membantu kesempurnaan penelitian.

BAB 2 DASAR TEORI

2.1 Gambaran umum teknologi gasifikasi

Gasifikasi adalah proses konversi bahan bakar yang mengandung karbon (baik padat maupun cair) menjadi gas yang memiliki nilai bakar dengan cara oksidasi parsial pada temperatur tinggi. Gasifikasi digunakan sebagai teknik untuk mengkonversi bahan bakar padat menjadi gas. Gas yang dihasilkan pada gasifikasi disebut gas produser yang kandungannya didominasi oleh gas CO, H₂, dan CH₄.

Untuk melangsungkan gasifikasi diperlukan suatu reaktor. Reaktor tersebut dikenal dengan nama *gasifier*. Ketika gasifikasi dilangsungkan, terjadi kontak antara bahan bakar dengan medium penggasifikasi di dalam *gasifier*. Kontak antara bahan bakar dengan medium tersebut menentukan jenis *gasifier* yang digunakan. Secara umum pengontakan bahan bakar dengan medium penggasifikasinya pada *gasifier* dibagi menjadi tiga jenis, yaitu *entrained bed*, *fluidized bed*, dan *fixed/moving bed*. Perbandingan ketiga jenis *gasifier* tersebut ditampilkan pada Tabel 1.

Sedangkan menurut prinsip kerjanya gasifikasi dibedakan menjadi 3 jenis yaitu :

- 1) *Updraft Gasifier*. Pada bagian ini pembakaran berlangsung di bagian bawah dari tumpukan bahan bakar dalam silinder, gas hasil pembakaran akan mengalir ke atas melewati tumpukan bahan bakar sekaligus mengeringkannya. Bahan bakar dimasukkan ke dalam ruang bakar dari lubang pemasukan atas.
- 2) *Crossdraft Gasifier*. Udara disemprotkan ke dalam ruang bakar dari lubang arah samping yang saling berhadapan dengan lubang pengambilan gas sehingga pembakaran dapat terkonsentrasi pada satu bagian saja dan berlangsung secara lebih banyak dalam suatu satuan waktu tertentu.

- 3) *Downdraft Gasifier*. 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.

Tabel 2.1 Perbandingan *Gasifier*

Parameter	Fixed/Moving Bed	Fluidized Bed	Entrained Bed
Ukuran umpan	< 51 mm	< 6 mm	< 0.15 mm
Toleransi kehalusan partikel	Terbatas	Baik	Sangat baik
Toleransi kekasaran partikel	Sangat baik	Baik	Buruk
Toleransi jenis umpan	Batubara kualitas rendah	Batubara kualitas rendah dan biomassa	Segala jenis batubara, tetapi tidak cocok untuk biomassa
Kebutuhan oksidan	Rendah	Menengah	Tinggi
Kebutuhan kukus	Tinggi	Menengah	Rendah
Temperatur reaksi	1090 °C	800 – 1000 °C	> 1990 °C
Temperatur gas keluaran	450 – 600 °C	800 – 1000 °C	> 1260 °C
Produksi abu	Kering	Kering	Terak
Efisiensi gas dingin	80%	89.2%	80%
Kapasitas penggunaan	Kecil	Menengah	Besar
Permasalahan	Produksi tar	Konversi karbon	Pendinginan gas produk

Dalam proses pembakaran pada gasifikasi baik dengan sistem *updraft*, *crossdraft* maupun *downdraft* terdapat tingkatan-tingkatan pembagian daerah pembakaran, yang secara berurutan adalah :

- a) 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
- b) 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.
- c) 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.
- d) Zona Reduksi. Proses pembakaran lanjutan dari hasil oksidasi, dimana reaksi pokok yang terjadi di sini adalah reaksi pertukaran air dan metan.

Proses pembakaran di atas berlangsung secara serentak di dalam keseluruhan lapisan bahan bakar yang lazim disebut “unggun” (*bed*). Terdapat 3 jenis unggun yaitu fixed bed, fluidized bed, dan entrained bed. Perbandingan ketiga jenis unggun ini dijelaskan seperti pada gambar dibawah ini :

Parameter	<i>Fixed Bed</i>	<i>Fluidized Bed</i>	<i>Entrained Bed</i>
1. Ukuran bahan bakar	10 – 100 mm	0 – 20 mm	200 mm
2. Kandungan abu maksimum	6% berat	s/d 25% berat	s/d 40% berat
3. Kadar air	20% berat	s/d 50% berat	Cukup kering
4. Temperatur operasi	800 – 1400 °C	750 – 950 °C	1200 – 2000 °C
5. Sistem kontrol	Sederhana	Agak kompleks	Komplek
6. Kapasitas	< 2,5 MW _{th}	1 – 50 MW _{th}	50 – 100 MW _{th}
7. Orde waktu penyalaan	Menit	Jam	Hari
8. Gas yang dihasilkan:			
Kandungan tar	> 250 mg/m ³	> 500 mg/m ³	0
Nilai kalor	4500 kJ/m ³	5100 kJ/m ³	4000 kJ/m ³

Sumber: Marosin, Riyanto & Sulistiyanto, Totok, *Pengalaman Operasi Penerapan Teknologi Gasifikasi di Desa Picon – Jawa Barat*, Prosiding Seminar Teknologi Gasifikasi untuk Listrik di Pedesaan, Palembang, 28 Des. 1987.

Gambar 2.1 Perbandingan jennis-jenis gasifier

Untuk mendapatkan hasil maksimal dari pendayagunaan dari gas yang dihasilkan oleh pembakaran biomassa ini, beberapa persyaratan yang perlu diketahui dan dipenuhi adalah terutama dalam hal bahan bakar umpan beserta penggerak yang akan dipergunakan, sebagai penjelasan berikut ini :

2.2 Karakteristik bahan bakar

Untuk dapat menghasilkan gas maka pada mesin ini harus diberikan umpan yang dapat berasal dari biomassa, baik sekam padi, kayu ataupun limbah pertanian. Kualitas gas yang dihasilkan oleh mesin ini sangat tergantung pada bahan umpan yang diberikan kepadanya. Oleh karena itu perlu diadakan patokan tentang bahan bakar umpan yang cocok bagi unit tersebut. Di bawah ini akan diberikan beberapa klasifikasi bahan bakar umpan yang perlu diperhatikan untuk pemilihan agar dapat diperoleh bahan yang potensial untuk dijadikan umpan. Klasifikasi ini didasarkan pada sifat-sifat bahan bakar yang mempunyai pengaruh besar terhadap gasifikasi, yaitu :

- 1) Kandungan energi bahan bakar. Adalah nilai panas yang terkandung oleh bahan bakar biomassa, biasanya dinyatakan dengan kalor yang dikandung oleh selulose dari biomassa karena selulose ini adalah merupakan bahan yang paling dominan (50 %) yang terkandung oleh biomassa.
- 2) Kelembaban bahan bakar. Kelembaban bahan bakar sangat dipengaruhi kualitas dari gas yang dihasilkan, selain itu untuk penguapan kandungan air dari bahan bakar ini dibutuhkan banyak sekali energi dan juga penyalaan serta pembakaran akan menjadi semakin sulit.
- 3) Bentuk dan ukuran bahan bakar Kemungkinan kemacetan aliran bahan akan semakin besar dengan bahan bakar yang mempunyai bentuk dan ukuran yang berbeda, yang selanjutnya akan mempengaruhi tekanan gas didalam reaktor serta aliran gas keluar. Dengan bentuk dan ukuran bahan bakar yang seragam, kemacetan seperti ini jarang terjadi.
- 4) Keseragaman bahan bakar. Mempunyai hubungan yang erat dengan kandungan energi dari bahan bakar. Dengan bahan bakar umpan yang seragam maka kualitas gas yang dihasilkan akan lebih stabil.
- 5) Berat bahan bakar dalam per meter kubik. Kapasitas muat dari hopper adalah terbatas, sehingga perlu disesuaikan dengan kebutuhan bahan bakar dari gasifikasi untuk rentang waktu tertentu. Lebih jauh hal ini akan mempengaruhi lamanya bahan bakar tinggal di dalam ruang bakar, sehingga dengan sendirinya kualitas gas tergantung padanya.
- 6) Kandungan unsur-unsur volatile (yang mudah teruapkan) dari bahan bakar. Unsur-unsur volatile adalah tar, minyak, air serta gas ikutan lainnya, yang ternyata lebih banyak mengganggu serta menimbulkan masalah apabila dipergunakan didalam mesin penggerak, oleh sebab itu bahan bakar dengan kandungan volatile yang rendah jauh lebih disukai dalam pengoperasian gasifikasi.
- 7) Kandungan abu. Kandungan abu yang tinggi akan mengurangi jumlah energi yang dihasilkan dari bahan bakar.

Dengan memperhatikan patokan di atas, maka dapat diperoleh hasil gas yang memuaskan. Dan yang lebih penting lagi dengan menggunakan gas yang mempunyai kualitas yang baik pada mesin, terutama mesin penggerak, maka akan dicapai nilai tambah yang lebih besar.

2.3 Filtrasi

Gas hasil pembakaran dari dalam reaktor biasanya masih bercampur dengan berbagai unsur-unsur yang tidak diperlukan atau bahkan dapat mengganggu apabila digunakan dalam mesin penggerak, selain itu juga masih mempunyai temperatur yang tinggi. Oleh karena itu gas yang keluar selalu didinginkan serta dibersihkan terlebih dahulu dengan cara melewatkan dalam suatu unit penyaring atau filtrasi.

Secara garis besar terdapat 2 macam unit filtrasi ini, yaitu dengan cara basah (misalnya dengan *wet scrubber* dan *spray scrubber*) atau dengan cara kering (misalnya dengan *cyclone* dan *separator*). Pada dasarnya filtrasi ini akan membersihkan gas dari unsur-unsur ; senyawa-senyawa sulphur, senyawa-senyawa nitrogen, debu yang terangkut oleh gas, kelembaban dari gas, temperatur gas, produk dari distilasi yaitu : tar, minyak, gas-gas yang tak terkondensasi dan uap air.

Dengan demikian gas yang keluar dari unit filtrasi ini diharapkan telah bersih dan aman untuk dipergunakan dalam mesin penggerak.

2.4 Mesin Penggerak

Gas hasil pembakaran oleh unit gasifikasi mempunyai sifat mudah terbakar serta kandungan energi yang cukup tinggi, oleh karenanya dapat dipergunakan sebagai bahan bakar pengganti BBM untuk mesin-mesin penggerak.

Secara garis besar, 2 jenis mesin yang banyak terdapat di pasar yaitu mesin diesel dan mesin otto, keduanya bekerja berdasarkan pembakaran-dalam dengan gerak resiprokasi torak. Kedua jenis mesin ini dapat menggunakan gas sebagai bahan bakarnya untuk menggantikan BBM.

2.4.1 GAS HASIL SEBAGAI UMPAN MOTOR

Motor bensin maupun motor diesel dapat digabungkan dengan perangkat gasifikasi untuk memanfaatkan gas hasil. Untuk maksud ini, gas hasil dialirkan ke dalam aliran udara masuk motor, dengan sambungan pipa silang atau sistem injeksi. Sambungan silang sangat sederhana dan murah sesuai untuk kapasitas rendah. Sedangkan sistem injektor agak rumit pembuatannya tetapi dapat memberikan pencampuran gas-udara yang lebih baik, dan sesuai untuk kapasitas tinggi.

Disamping panas pembakarannya, gas hasil harus memenuhi persyaratan-persyaratan berikut ini agar tidak mengurangi performansi dan umur motor:

- a. kandungan tar tidak lebih dari 100 mg/m³
- b. kandungan abu maksimum 50 mg/m³
- c. ukuran debu tidak lebih dan 10 mikrometer
- d. temperatur gas di bawah 40°C

Dalam motor bensin, seluruh kebutuhan bensin dapat digantikan dengan gas. Daya motor dapat diatur dengan pengaturan laju alir campuran gas-udara dengan komposisi tetap. Karena kecepatan pembakaran gas kurang daripada kecepatan pembakaran bensin. maka waktu pengapian busi harus diajukan, kira-kira 15 derajat lebih atas.

Dalam motor diesel, tidak seluruh kebutuhan solar dapat digantikan. Karena sedikit solar tetap diperlukan untuk sarana pengapian. Operasi ini disebut sebagai sistem bahan bakar ganda. Dalam praktek, komposisi bahan bakar ganda ini kira-kira 20% solar dan 80% gas. Pengaturan daya motor dapat dilakukan dengan pengaturan laju alir gas, sementara laju alir solar diatur pada kebutuhan minimum untuk sarana pengapian.

Daya maksimum yang dapat dihasilkan oleh motor bensin maupun motor diesel dengan bahan bakar gas turun sampai kira-kira 70% dari daya aslinya. Motor untuk penggunaan gas hasil gasifikasi sebaiknya dipilih yang mempunyai kecepatan nominal 1500 putaran permenit. Berdasarkan pengalaman, satu liter bensin atau solar dapat digantikan dengan 7,5 m³ gas dari gasifikasi 4 kg kayu atau 6 kg sekam.

2.4.2 Mesin Diesel

Bekerja dengan prinsip penyalaan dari hasil pemampatan udara oleh gerakan langkah (*stroke*) torak. Pada puncak pemampatan, dimana temperatur sudah menjadi tinggi, gas disemprotkan ke dalam ruang bakar. Namun berhubung kandungan energi dari gas masih di bawah nilai kalor minyak solar, maka dengan temperatur yang dicapai oleh pemampatan tadi belum mampu untuk membakar gas tersebut. Untuk itu perlu diberikan tambahan sedikit minyak solar guna menaikkan nilai kalor, sehingga dengan pemampatan yang sama campuran gas dan sedikit minyak solar tadi dapat terbakar dan menimbulkan tekanan untuk diteruskan ke torak untuk memutar poros. Sistem ini biasa disebut dengan sistem bahan bakar ganda (*dual fueled*). Jenis mesin diesel yang cocok untuk digunakan dengan sistem ini adalah yang mempunyai rasio kompresi antara 12-20 dengan tipe injeksi langsung (*direct injection*).

2.4.3 Mesin Otto

Sistem pembakaran pada mesin ini menggunakan sistem pengapian yang diatur oleh rangkaian sirkuit elektronis, oleh karenanya gas yang dimasukkan ke dalam mesin ini dapat langsung terbakar tanpa perlu diberi tambahan BBM lagi. Namun kelemahan dari penggunaan mesin bensin ini adalah terjadinya penurunan tenaga yang cukup banyak (*power drop*) yang diperkirakan sekitar 40%. Untuk mengatasi kehilangan tenaga tadi, biasa ditempuh 4 cara :

- 1) Menjalankan mesin dengan kecepatan tinggi secara tetap.
- 2) Dengan supercharging atau turbocharging mesin.
- 3) Dengan supercharging mesin serta supercharging gasifikasinya.
- 4) Dengan pemberian bahan bakar ganda.

Oleh karena banyaknya penurunan tenaga yang terjadi serta cara mengatasi yang dipandang juga cukup rumit, maka biasanya penggunaan mesin diesel lebih disukai daripada mesin bensin, terutama untuk negara-negara sedang berkembang.

2.5 Gas produser

2.5.1 Gas Sintetik

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

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

2.6 Pembersihan gas sintetik (proses gas cleaning)

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

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

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

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

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

2.6.1 Venturi Scrubber

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

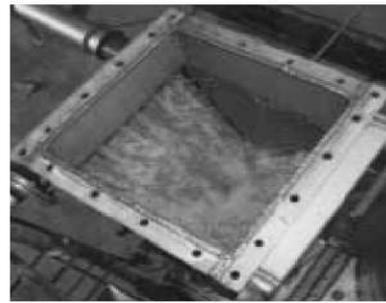
Venturi scrubber menggunakan prinsip diferensial antara gas yang memiliki kecepatan yang tinggi dan aliran beban dari air untuk membuat droplet-droplet yang akan menangkap pengotor, dan membuat pengotor terkumpul seperti kumpulan lumpur yang akan dialirkan ke pembuangan.

Venturi scrubber terdiri dari tiga bagian, pertama *converging section*, *throat section*, *diverging section*. Aliran gas masuk 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.

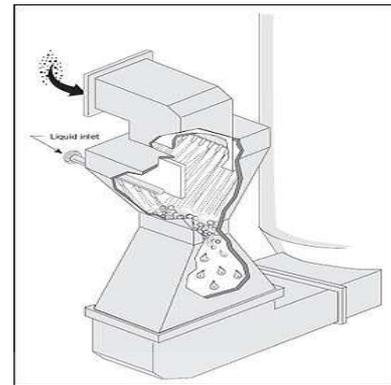
Keuntungan :

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



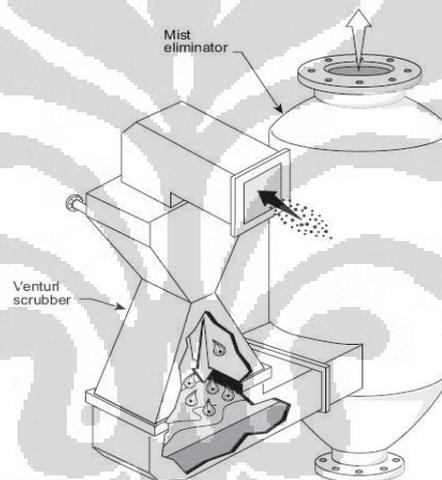
Flooded inlet eliminates wet/dry interface build-up problems.

(a)



(b)

Gambar 2.2 a) Penampang atas venturi scrubber, b) Venturi scrubber
(sumber : Venturi scrubber application guide, SLY inc Technology for a Clean Environment)

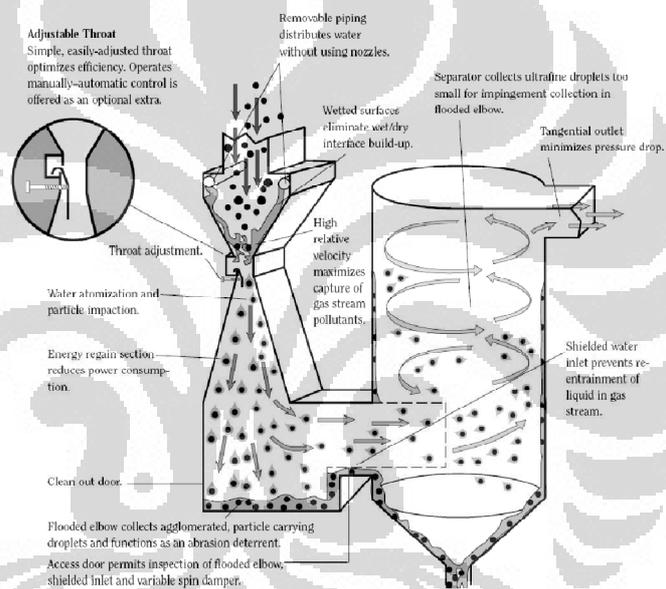


Gambar 2.3 Contoh desain venturi scrubber (sumber : Gerald T. Joseph, Scrubber system operation review Self-instructional manual, North Carolina State University)

2.6.2 Cara kerja venturi scrubber

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. Prinsip pengoperasian juga dapat dijelaskan dengan gambar di bawah ini.



Gambar 2.4 Skema Aliran Gas pada *Venturi Scrubber*

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

BAB 3

METODE PENELITIAN

3.1 Skematika alat pengujian

Proses pengujian dilakukan pada Laboratorium Termodinamika & Gasifikasi yang bertempat diareal parkir mobil gedung Departemen Teknik Mesin Universitas Indonesia.

Sebelum melakukan pengujian, pada komponen downdraft gasifikasi dilakukan penambahan *port* (dudukan) thermokopel pada sambungan (*flange*) sebelum melewati *gas cleaning* dan sesudah melewati *gas cleaning*, total penambahan port ini sebanyak dua titik.

Dibawah ini merupakan skema perangkat *downdraft gasifier* pada laboratorium termodinamika & gasifikasi.



Gambar 3.1 Downdraft Gasifier

Didalam Laboratorium Termodinamika & Gasifikasi komponen pada *fixed bed downdraft gasifier* terdiri-dari rangkaian beberapa komponen utama, diantaranya :

a) *Blower*

Fungsinya adalah sebagai penyuplai udara kedalam reaktor *gasifier* untuk kebutuhan pembakaran bahan bakar. *Blower* ini dihubungkan dengan katup pada saluran udaranya, fungsi katup ini adalah sebagai pengatur laju aliran dari udara primer.



Spesifikasi Blower :

- Flow rate max = $\frac{4,5 \text{ m}^3}{\text{menit}}$
- Kecepatan putar = 2800 rpm
- Daya = 180 watt
- Arus = 0,9 ampere
- Voltase = 220

Gambar 3.2 Blower

b) *Reaktor gasifier*

Merupakan tempat/media berlangsungnya proses-proses gasifikasi (*drying, pirolisis, combustion*, dan reduksi).



Spesifikasi reaktor gasifier :

- Diameter throat 0,11 m
- Diameter reaktor gasifier blablabla.

Gambar 3.3 Reaktor gasifier

c) Blower hisap

Blower ini berfungsi sebagai penerus (menghisap) gas mampu bakar hasil dari proses gasifikasi yang terjadi didalam reaktor.



Spesifikasi blower hisap :

- Motor 3 phase
- Power 1,5 Hp
- Arus 25 ampere
- Frekwensi 50 Hz
- Tegangan 380 volt

Gambar 3.4 Blower hisap

d) *Venturi scrubber*

Venturi merupakan komponen pembersih gas (gas produser) dari partikel-partikel pengotor khususnya Tar, sehingga gas produser tersebut dapat di aplikasikan ke media seperti *Internal Combustion Engine*/motor Pembakaran Dalam.



Gambar 3.5 Venturi Scrubber

3.2 Metodologi pengujian dan pengambilan data

Untuk melaksanakan pengujian dan pengambilan data, diperlukan beberapa tahapan. Di antaranya adalah tahapan persiapan seperti set up bahan bakar gasifikasi, dan set up instrumentasi pengambilan data (set up alat-alat pengukuran). Setelah itu melanjutkan ke tahapan pengujian dan pengambilan data (pengukuran).

3.3 Persiapan Pengujian

3.3.1 Set-up Bahan Bakar Gasifikasi

Bahan bakar yang akan digasifikasi adalah berupa tempurung kelapa sebagai salah satu biomassa. Persiapan yang dilakukan terlebih dahulu adalah memecahkan tempurung kelapa yang masih berukuran besar menjadi serpihan dengan ukuran sekitar 2 cm x 2 cm. Setelah itu serpihan tempurung kelapa dijemur untuk menghilangkan kandungan air (*moisture content*) yang ada. Penjemuran biasanya dilakukan sehari sebelum pengujian. Selain tempurung kelapa sebagai bahan bakar utama, diperlukan juga arang kayu dan minyak tanah sebagai bahan bakar untuk penyalaan awal reaktor sebelum dimasukkan tempurung kelapa.



Gambar 3.6 Bahan bakar yang digunakan dalam pengujian (tempurung kelapa, arang kayu, dan minyak tanah)

3.3.2 Set-up Alat-alat Pengukuran

Setelah mempersiapkan bahan bakar (tempurung kelapa) yang telah dijemur/dikeringkan, tahap selanjutnya adalah menyiapkan alat-alat ukur berupa :

a) Manometer U

Dua buah manometer U diletakkan antara blower dengan reaktor dan setelah reaktor menuju komponen gas cleaning (*venturi scrubber*). Manometer U berfungsi sebagai pengukur tekanan dimana pada manometer U tersebut berisikan air sebagai media untuk membaca tekanan. Pengukuran tekanan ini terjadi karena adanya gas producer yang melalui pelat orifice, dimana pelat orifice tersebut berfungsi sebagai pencipta beda tekanan. Saat gas producer melewati pelat orifice tersebut, pada saat itulah terjadi perubahan ketinggian air pada manometer U tersebut yang menunjukkan terjadi perbedaan tekanan sehingga dapat terbaca tekanan melewati kertas millimeter block.



Gambar 3.7 Manometer U

b) Thermokopel tipe K

Pada pengujian ini digunakan 6 buah thermokopel, 4 diantaranya dipasang pada reaktor gasifier sedangkan 2 sisanya dipasang pada *port* sebelum dan *port* sesudah *gas cleaning*. Pemasangan thermokopel ini bertujuan untuk mengetahui distribusi temperatur pada masing-masing zona gasifikasi dan

distribusi temperatur gas producer saat sebelum melewati *gas cleaning* dan setelah melewati *gas cleaning*.



Gambar 3.8 Thermocouple tipe K

c) Digital Temperatur Data Logger

Temperatur yang terukur oleh keenam thermokopel tersebut akan divisualisasikan melalui sebuah *data logger*. *Data logger* digital bermerk Hanyoung 850 ini memiliki 5 channel dengan satuan derajat *Celcius* ($^{\circ}\text{C}$).



Gambar 3.9 Digital data logger

d) Inverter

Inverter digunakan sebagai alat bantu untuk mengatur kecepatan putar blower hisap dalam satuan rotasi per menit (rpm). Tipe motor blower yang digunakan adalah motor 3 fasa yang memiliki 3 kabel konduktor dengan warna yang berbeda yaitu : kuning, biru, dan hitam. Kabel tersebut harus dipasang pada jalur yang sesuai pada inverter (channel u,v, dan w). Chanel “u” disesuaikan dengan kabel warna kuning, cahnnel “v” sesuai dengan kabel biru, dan channel “w” sesuai dengan kabel hitam. Kesalahan dalam pemasangan

akan mengakibatkan kegagalan fungsi dari inverter bahkan mengakibatkan kerusakan pada alat.



Gambar 3.10 Inverter

e) *Water Rotameter*

Alat ini berfungsi sebagai alat ukur laju air. Alat ini di pasang pada jalur pemipaan air, antara keluaran dari tangki penampungan air menuju ke venturi scrubber. Pemasangan alat ini bertujuan agar laju aliran air menuju *venturi scrubber* dapat berlangsung konstan.



Gambar 3.11 Water Rotameter

f) Pompa air

Pompa air ini berperan sebagai penyuplai air dari tangki penampungan air menuju venturi scrubber. Spesifikasi pompa yang digunakan sebagai berikut :

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



Gambar 3.12 Pompa air “San Ei”

g) Tangki penampungan air

Komponen ini berfungsi sebagai tempat penampungan air utama untuk berlangsungnya proses gas cleaning dalam proses gasifikasi tersebut. Air dari tangki ini lalu mengalir menuju venturi scrubber dengan menggunakan pompa yang telah terpasang dengan *water rotameter*.



Gambar 3.13 Tangki penampungan air

3.4 Prosedur Pengujian dan Pengukuran

3.4.1 Tahap pengujian

3.4.1.1 Persiapan awal pengujian

Hal-hal yang pertama kali ditempuh dalam melakukan pengujian adalah pertama-tama kita harus melaksanakan tahap persiapan awal pengujian terlebih dahulu, yang dimulai dengan :

- a. Menyiapkan arang kayu sebanyak +/- 0,5 kg atau sekitar 1/4 ember yang telah dilumuri dengan minyak tanah terlebih dahulu. Ukuran arang kayu berkisar antara 5 x 5 cm dengan ketebalan sekitar 3 cm. Arang kayu ini hanya digunakan untuk pembakaran awal.
- b. Menyiapkan tempurung kelapa sebanyak 6 kg yang telah ditimbang dengan menggunakan timbangan dan dimasukkan ke dalam ember dengan ukuran tempurung kelapa tersebut berkisar antara 2 x 2 cm dengan ketebalan 0.5 cm.
- c. Mengatur busur derajat pada katup suplai udara primer sesuai dengan posisi yang diinginkan sebagai patokan dalam variasi flow rate udara primer gasifikasi. Contoh : memutar katup kearah 30°, dimana 30° sama dengan 189,6 lpm.
- d. Memasang thermokopel tipe-K (*chromel alumnel*) yang berdiameter 0,65 mm sebanyak 4 buah pada setiap 4 *port* thermokopel, dimana saat pengujian *port* yang digunakan adalah port 2,3,4, dan 7. Setelah itu memasang 2 buah thermokopel pada *port* sebelum gas cleaning dan *port* sesudah gas cleaning. Setelah itu dilanjutkan dengan menghubungkan seluruh termokopel pada *temperature digital data logger* dengan kabel konduktor pada *channel* yang diinginkan (kabel positif ke kutub positif *data logger* dan kabel negatif ke kutub negatif *data logger*)
- e. Memasang 2 buah selang tahan panas pada *pressure tap* yang ada dekat pelat orifice yang telah dipasang sebelumnya. Ujung selang tersebut dihubungkan dengan tabung manometer U yang berada pada posisi tegak.

- f. Memasang kabel motor blower hisap jenis 3 phase pada *inverter* sesuai dengan *port* yang telah ditentukan. Kabel dipastikan terpasang pada *port* yang tepat untuk menghindari terjadinya kerusakan alat.
- g. Memastikan seluruh komponen gasifikasi telah terpasang secara benar.

3.4.1.2 Proses pembakaran arang (Start-up)

Langkah-langkah yang dilakukan antara lain adalah :

- a. Memasukkan arang kayu sebanyak $\pm 0,5$ kg pada dasar refraktori (*grate*) sampai ke bagian atas *throat*.
- b. Dalam memulai pembakaran, penyalaan dilakukan dengan menggunakan sabut kelapa atau kertas koran yang telah dilumuri minyak tanah kemudian disulut dengan api dan dimasukkan ke dalam reaktor *gasifier*.
- c. Menghidupkan blower agar pembakaran awal ini dapat berjalan cepat, kurang lebih membutuhkan waktu 5-10 menit agar arang tersebut menjadi bara api.

3.4.1.3 Proses pembakaran bahan bakar (tempurung kelapa)

Langkah-langkah yang dilakukan antara lain adalah :

- a. Setelah arang kayu yang dibakar telah menjadi bara, matikan blower untuk sementara.
- b. Masukkan tempurung kelapa sekitar 6 kg sampai memenuhi reaktor *gasifier*. Biasanya setelah dimasukkan kedalam reaktor, akan muncul asap putih (gas produser) yang belum sempurna, setidaknya membutuhkan waktu 10 s/d 20 menit sampai muncul asap yang agak kecoklatan.
- c. Setelah terbentuk asap coklat, kita bisa mulai menyulut/menyalakan pada bagian *burner* dengan menggunakan korek api. Apabila telah terbentuk api (*flame*), hal ini menandakan gas produser/gas mampu bakar telah terbentuk.
- d. Tutup bagian atas reaktor dengan memasang ke-6 baut yang tersedia pada tutup dan mengencangkannya.
- e. Aktifkan kembali blower hembus.

3.4.1.4 Proses variasi laju aliran udara primer dan laju aliran air

Langkah-langkah yang dilakukan antara lain adalah :

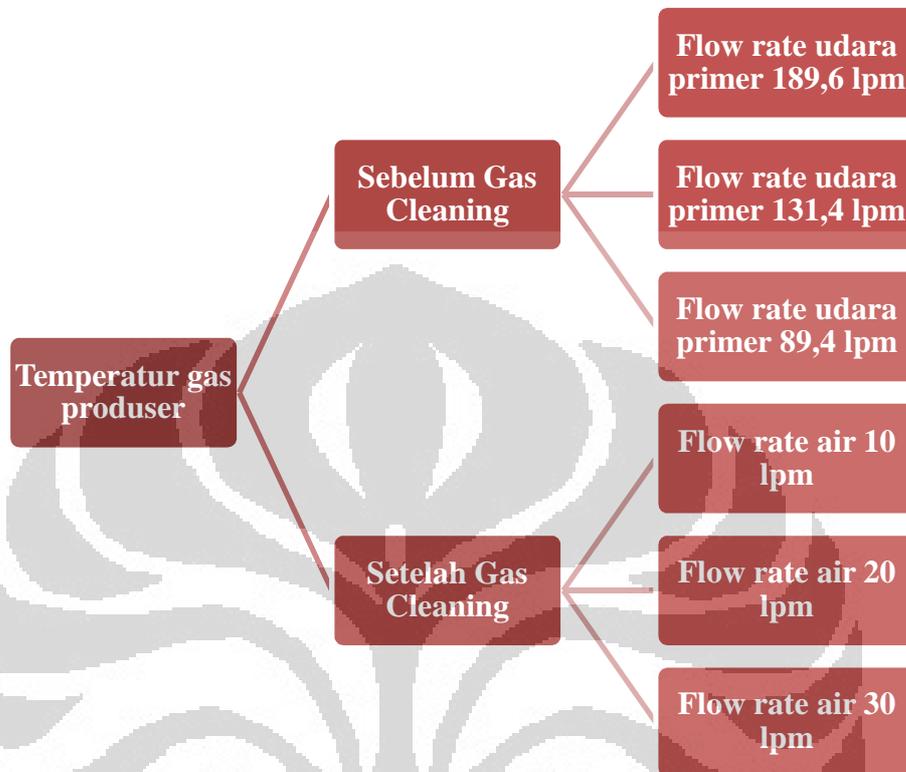
- a. Setelah menyala selama beberapa menit, *flow rate* udara primer gasifikasi divariasikan sebanyak 3 variasi. Variasi dilakukan dengan mengatur katup yang terpasang pada saluran udara primer. Variasi dimulai dengan katup pada bukaan 30° (189,6 lpm), 45° (131,4 lpm), dan 60° (89,4 lpm). Bersamaan dengan menyalakan blower hembus (blower hembus diaktifkan).
- b. Selanjutnya mengatur *flow rate* air dengan mengatur katup yang berada pada *water rotameter*, bersamaan dengan mengaktifkan pompa air. Untuk setiap variasi *flow rate* udara primer dilakukan tiga variasi *flow rate* air, masing-masing 10 lpm, 20 lpm, dan 30 lpm. Hal ini bertujuan untuk mengetahui pengaruh laju aliran udara primer dengan laju aliran air terhadap distribusi temperatur gas produser.
- c. Masing-masing pengujian dilakukan selama satu *batch* (bahan bakar sampai habis tergasifikasi) per variasi. Selama proses tersebut dilakukan pengukuran distribusi temperatur *gasifier* pada reaktor dan temperatur gas produser sebelum gas cleaning & setelah gas cleaning setiap 2 menit sekali.
- d. Mengukur perbedaan ketinggian air yang terdapat pada manometer U. Pengukuran dilakukan hanya satu kali dalam setiap variasi.

3.4.2 Tahap Pengukuran

3.4.2.1 Pengukuran distribusi temperatur pada reaktor *gasifier*

Pengukuran temperatur pada reaktor *gasifier* mulai dilakukan begitu pembakaran awal dilakukan sampai dengan selesai pengujian. Metodenya dengan membaca nilai temperatur pada *data logger* dengan interval 2 menit sekali. Nilai yang terbaca pada *data logger* tersebut kemudian dicatat dalam data tabel yang telah disiapkan dengan format microsoft excel.

3.4.2.2 Pengukuran distribusi temperatur gas produser



Gambar 3.14 Skematik pengukuran temperatur gas produser

Pengukuran ini dibagi menjadi 2 tahap yaitu saat sebelum melewati gas cleaning dan sesudah melewati gas cleaning. Saat sebelum gas cleaning, prosedur pengukurannya dilakukan setelah dilakukan pembakaran arang (*start-up process*) s/d proses gasifikasi berlangsung (*per-batch*). Nilai temperature yang terbaca pada data logger kemudian dicatat dalam suatu form Microsoft excel setiap 2 menit sekali.

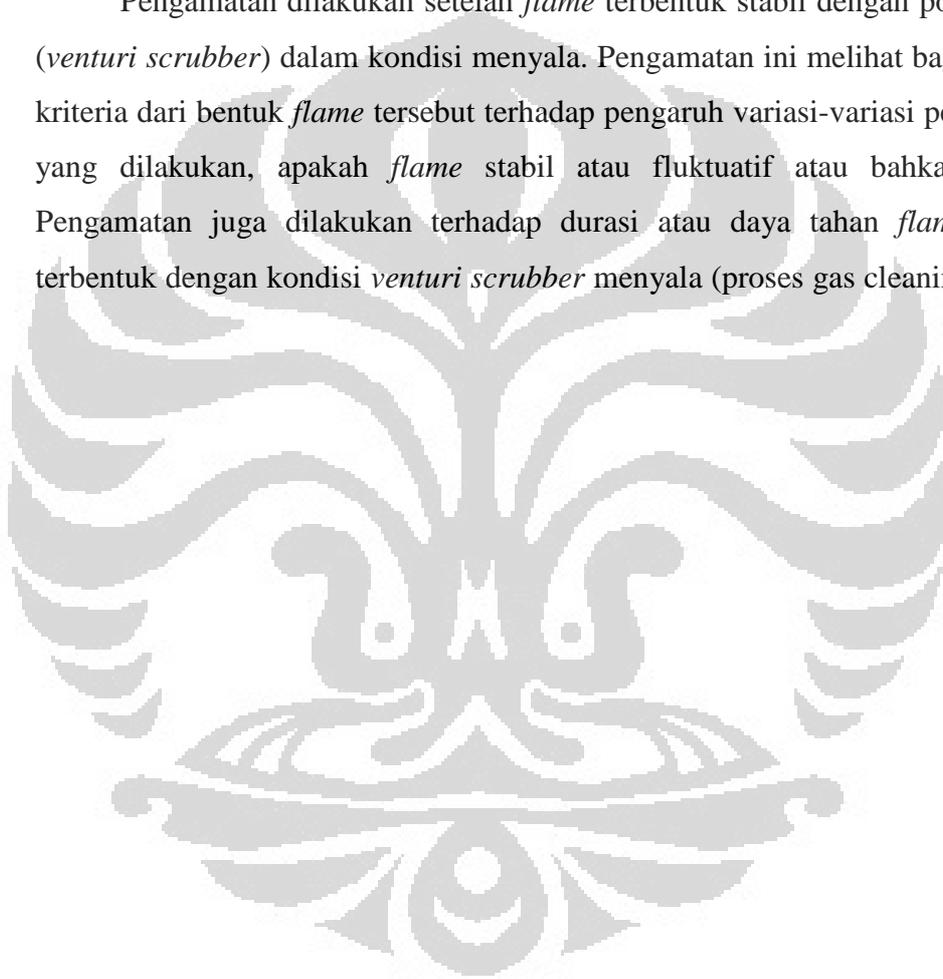
Saat setelah gas cleaning, prosedur pengukurannya dilakukan setelah *flame* terbentuk stabil (tidak mati-mati/konstan) setidaknya saat pengujian berlangsung menunggu 10-15 menit. Setelah *flame* stabil, dilanjutkan penyalaan *venturi scrubber* untuk mengatur laju aliran air sesuai variasi yang ingin diuji dengan mengatur katup aliran *water rotameter*, jadi pengukuran temperatur gas produser setelah gas cleaning ini dilakukan bersamaan dengan

pengukuran temperatur gas produser sebelum melewati gas cleaning namun setelah *flame* terbentuk stabil dan diikuti penyalaan *venturi scrubber*.

3.4.2.3 Pengukuran terhadap pembentukan *flame*

Pengukuran ini penulis melakukannya dengan mengamati kriteria bentuk dan durasi dari *flame* yang terbentuk dengan cara melakukan pengambilan gambar berupa foto *flame* menggunakan kamera handphone.

Pengamatan dilakukan setelah *flame* terbentuk stabil dengan pompa air (*venturi scrubber*) dalam kondisi menyala. Pengamatan ini melihat bagaimana kriteria dari bentuk *flame* tersebut terhadap pengaruh variasi-variasi pengujian yang dilakukan, apakah *flame* stabil atau fluktuatif atau bahkan mati. Pengamatan juga dilakukan terhadap durasi atau daya tahan *flame* yang terbentuk dengan kondisi *venturi scrubber* menyala (proses gas cleaning aktif).



BAB 4

HASIL DAN ANALISA DATA

4.1 Parameter Pengujian

Selama melakukan pengujian parameter-parameter yang diambil antara lain :

1) Laju aliran udara primer.

Variasi laju aliran udara ini dilakukan dengan memutar katup yang berasal dari blower menuju reaktor *gasifier*. Variasi yang dilakukan sebanyak 3 kali yaitu ; variasi pertama dengan open 30° (189,6 lpm), variasi kedua dengan open 45° (131,4 lpm), dan terakhir dengan open 60° (89,4 lpm). Setiap variasi dilakukan pengujian per batch (6 kg bahan bakar).



Gambar 4.1 Katup Blower udara primer

2) Laju aliran air *venturi scrubber*

Variasi laju aliran air ini dilakukan dengan memutar katup yang berada pada sambungan pemipaan antara tangki air menuju ke *venturi scrubber* yang melalui *water rotameter*. Variasi yang diambil sebanyak 3 variasi setiap pengujiannya (per batch). Variasi pertama yang diambil dengan mensetting katup aliran air 10 lpm (liter per menit), variasi kedua 20 lpm, dan variasi ketiga 30 lpm, dimana *water rotameter* tersebut berperan sebagai indikator *flow rate* air.



Gambar 4.2 Katup aliran air

3) Temperatur pada reaktor

Pada reaktor *gasifier* dilakukan pemasangan 4 buah thermokopel masing-masing pada port thermokopel nomer 2, 3, 4, dan 7. Thermokopel yang digunakan adalah thermokopel tipe K, ke-4 thermokopel ini kemudian disambung dengan *digital data logger* sebagai alat pembaca temperatur. Tujuan pemasangan ke-4 buah thermokopel ini adalah untuk indikator suhu pada zona-zona gasifikasi yang berlangsung (*Drying*, *Pyrolysis*, *Combustion*, dan *Reduction*) serta sebagai indikator waktu bagi peneliti untuk melakukan *refill* bahan bakar.



Gambar 4.3 Thermokopel pada reaktor gasifier

4) Temperatur gas produser/gas mampu bakar

Pengukuran temperatur ini dilakukan pada saat gas produser sebelum melewati sistem gas cleaning dan pada saat sesudah melewati sistem gas cleaning. Pengukuran ini menggunakan thermokopel tipe K sebanyak 2 buah. Pemasangan thermokopel ini dilakukan pada port sebelum gas cleaning dan port sesudah gas cleaning yang kemudian disambung dengan *digital data logger* sebagai alat pembaca temperatur.



(a) sebelum gas cleaning

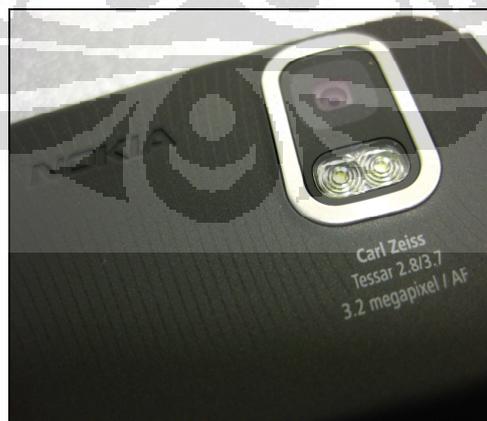


(b) sesudah gas cleaning

Gambar 4.4 Thermokopel pada gas producer

5) Kondisi visualisasi *flame*

Pengukuran *flame* ini dilakukan dengan cara mengambil gambar dan video menggunakan kamera handphone nokia 5800.



Gambar 4.5 Kamera handphone

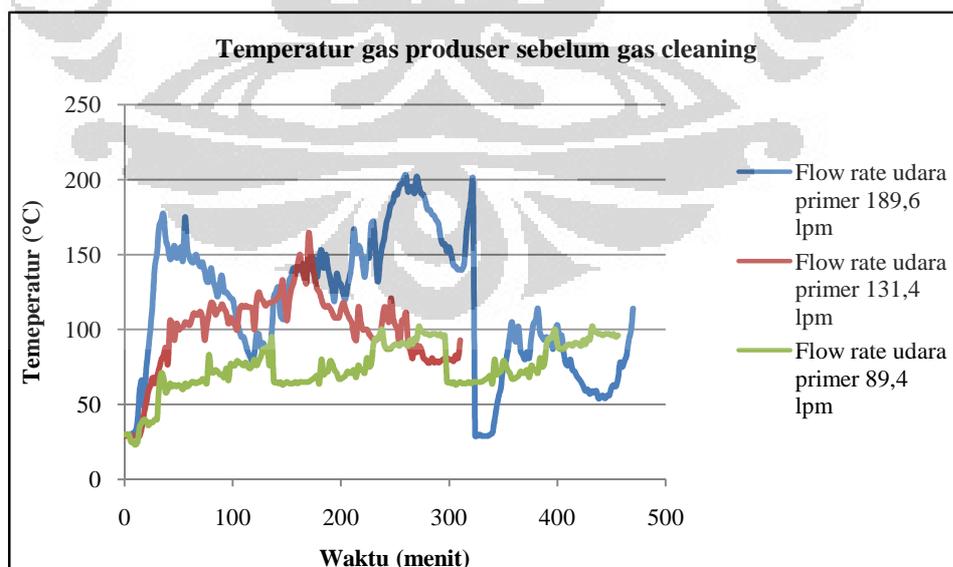
4.2 Hasil & Analisa distribusi temperatur pada gas produser sebelum gas cleaning dan sesudah gas cleaning.

Tujuan pengukuran gas produser ini adalah untuk mengetahui ke-efektifan penggunaan *venturi scrubber* dalam proses gas cleaning, untuk mengurangi temperatur gas produser dan kandungan Tar yang akan diaplikasikan pada motor pembakaran dalam (MPD), dimana temperatur yang diijinkan untuk aplikasi MPD berkisar 40° C. Menurut Prof. Dr. Herri Susanto dalam penelitiannya yang berjudul “Gasifikasi Biomassa untuk Alternatif Sumber Energi yang Ramah Lingkungan” disebutkan bahwa temperatur yang dibutuhkan untuk aplikasi ke MPD berada dibawah 40°C. Bahkan menurut A.G. Bhave* , D.K. Vyas, J.B. Patel, menyebutkan temperatur gas produser sebelum digunakan untuk bahan bakar harus berada pada temperatur ambien dan bersih dari Tar.

Namun dalam pengujian yang dilakukan ini, data-data yang berhubungan dengan Tar tidak ditampilkan, sebab hal tersebut merupakan produk pengujian dari penelitian yang berbeda.

4.2.1 Distribusi temperature gas produser sebelum gas cleaning

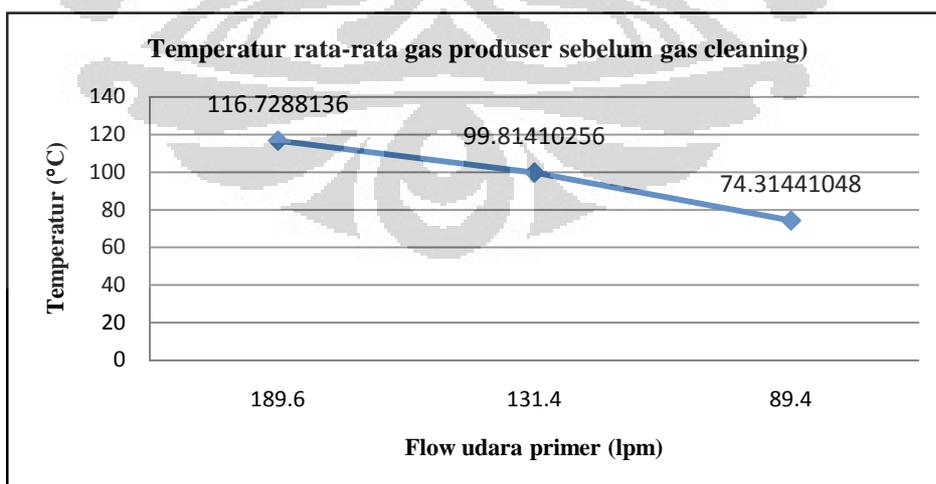
4.2.1.1 Grafik temperatur gas produser sebelum gas cleaning



Grafik 4,1

Dari grafik 4.1 diatas menjelaskan bahwa garis berwarna biru (atas) merupakan indikator temperatur gas produser ketika flow rate udara primer 189,6 lpm, sedangkan garis berwarna merah (tengah) merupakan indikator temperatur gas produser ketika flow rate udara primer 131,4 lpm, dan garis berwarna hijau merupakan indikator temperature gas produser ketika flow rate udara primer 89,4 lpm. Pengukuran grafik diatas ditempuh dalam 3 hari pengujian. Setiap variasi menempuh durasi yang berbeda-beda dimana variasi 189,6 lpm dan 89,4 lpm menempuh waktu yang relatif lama daripada variasi 131,4 lpm. Hal ini bisa terjadi karena pengaruh dari perbandingan antara bahan bakar dan suplai udara primer dimana semakin lambat suplai udara maka akan semakin lama bahan bakar habis tergasifikasi, namun disini terdapat fenomena dimana pada variasi 131,4 lpm merupakan variasi yang tercepat habis tergasifikasi, hal ini mengindikasikan bahwa pada variasi tersebut merupakan variasi dengan perbandingan udara dan bahan bakar yang pas.

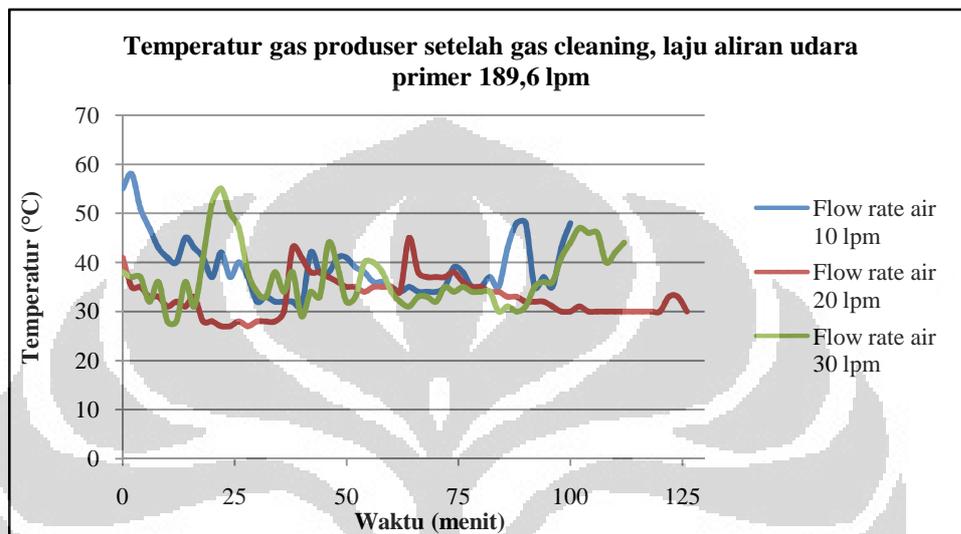
Dari grafik juga dapat dilihat bahwa dari variasi 189,6 lpm s/d 89,4 lpm temperatur gas produser sebelum gas cleaning mengalami penurunan. Dengan kata lain, semakin cepat suplai udara primer temperatur gas produser semakin naik. Hal ini dapat dilihat dari grafik dibawah ini :



Grafik 4.1.1 Temperatur rata-rata gas produser sebelum gas cleaning

4.2.2 Distribusi temperatur gas produser setelah gas cleaning

4.2.2.1 Grafik temperatur gas produser setelah gas cleaning, laju aliran udara primer 189,6 lpm

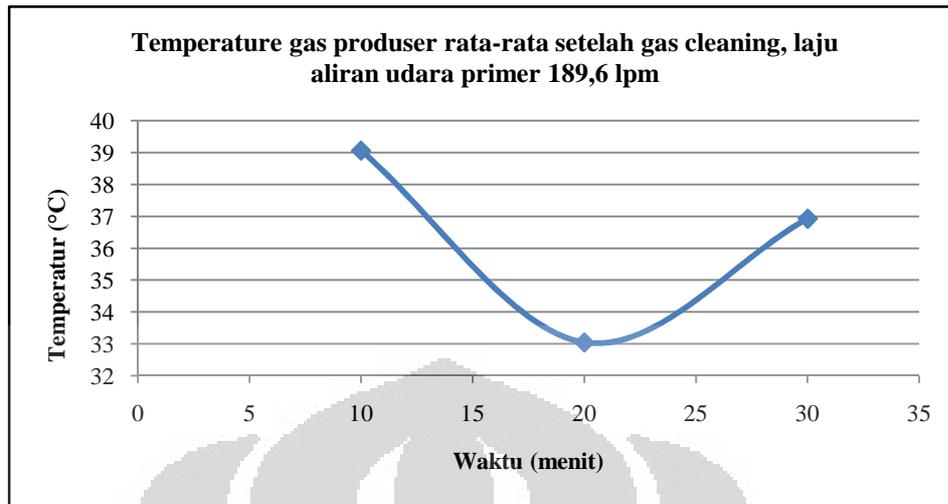


Pada pengukuran variasi ini, waktu yang ditempuh untuk masing-masing variasi antara lain 90 menit saat aliran air 10 lpm, 125 menit saat aliran air 20 lpm, dan 112 menit saat aliran air 30 lpm. Pada pengukuran ini dilakukan visualisasi terhadap *flame* yang terbentuk. Masing-masing variasi, durasi *flame* yang terbentuk stabil antara lain :

- a) Laju aliran air 10 lpm *flame* terbentuk selama 100 menit
- b) Laju aliran air 20 lpm *flame* terbentuk selama 127 menit
- c) Laju aliran air 30 lpm *flame* terbentuk selama 116 menit

Berdasarkan grafik 4.2 menunjukkan bahwa, hubungan antara laju aliran udara primer dengan laju aliran air terhadap durasi pembentukan *flame* optimal terjadi saat ketika laju aliran air 20 lpm, yaitu selama 125 menit dan 127 menit.

Dari grafik diatas, dilakukan pengukuran temperatur rata-rata yang dapat dilihat dari grafik dibawah ini :



Grafik 4.2.1 Temperatur gas produser rata-rata setelah gas cleaning, laju aliran udara primer 189,6 lpm

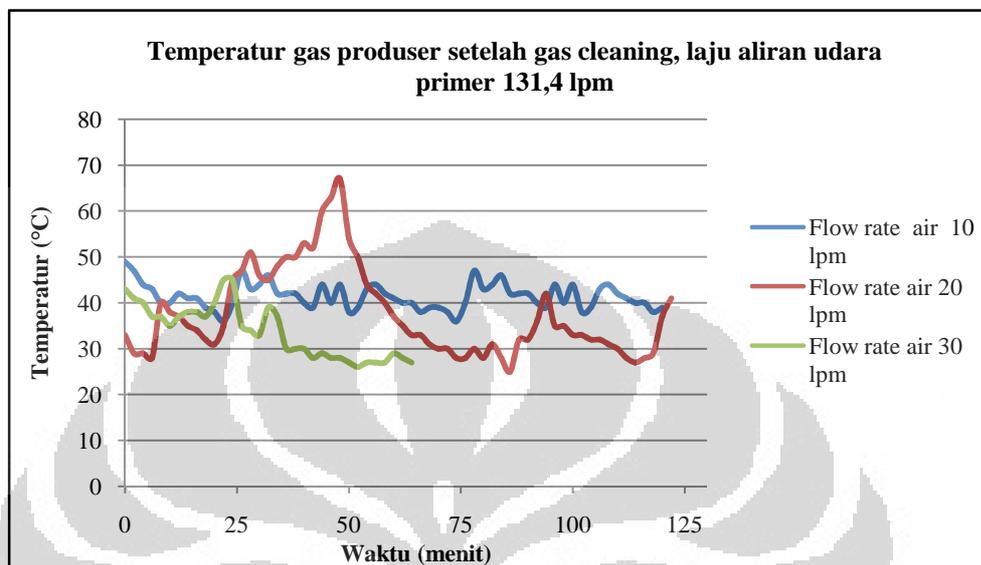
Dari grafik 4.2.1 terlihat bahwa dari laju aliran air 10 lpm s/d 30 lpm temperatur gas produser justru mengalami kenaikan dimana temperatur rata-rata dari masing-masing flow rate air adalah

- a) Laju aliran air 10 lpm = 39,06°C
- b) Laju aliran air 20 lpm = 33,04°C
- c) Laju aliran air 30 lpm = 36,92°C

Pada variasi laju aliran air 30 lpm mengalami kenaikan temperatur, hal ini dikarenakan terjadi pendinginan *gasifier* akibat menunggu pengisian tangki air sebagai suplai ke-*venturi scrubber* penuh terlebih dahulu dan semua komponen pengujian dalam keadaan off sementara. Maka dari itu saat variasi 30 lpm dimulai (batch baru) temperatur yang diperoleh lebih tinggi dari sebelumnya.

Dari ketiga temperature diatas diperoleh temperature rata-rata sebesar 36,02°C.

4.2.2.2 Grafik temperatur gas produser setelah gas cleaning, laju aliran udara primer 131,4 lpm



Grafik 4.3

Pada pengukuran variasi ini waktu yang ditempuh untuk masing-masing variasi antara lain 120 menit saat aliran air 10 lpm, 122 menit saat aliran air 20 lpm, dan 64 menit saat aliran air 30 lpm. Pengukuran visualisasi terhadap durasi *flame* yang terbentuk dari masing-masing variasi antara lain :

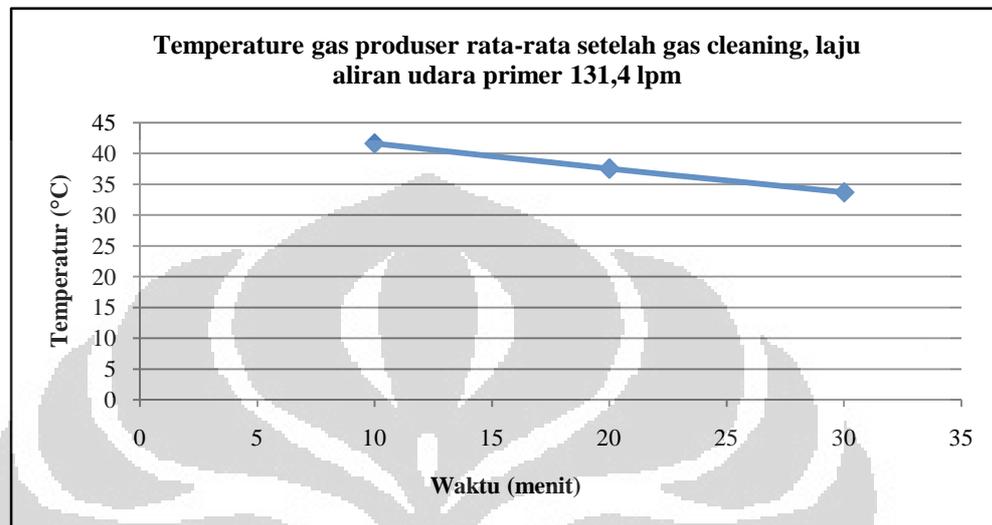
- a) Laju aliran air 10 lpm *flame* terbentuk selama 60 menit
- b) Laju aliran air 20 lpm *flame* terbentuk selama 110 menit
- c) Laju aliran air 30 lpm *flame* terbentuk selama 60 menit

Dari grafik 4.3 diatas tampak bahwa pada saat laju aliran air 30 lpm pengujian hanya berlangsung selama 64 menit, hal ini dikarenakan pada saat rentang pengujian flow rate air 20 lpm ke 30 lpm dilakukan pengisian tangki air terlebih dahulu, dimana saat pengisian tangki air berlangsung proses pengujian tetap dilakukan (komponen pengujian masih dalam keadaan operasi) sehingga bahan bakar (tempurung kelapa) yang berada pada *gasifier* tetap tergasifikasi seiring berjalannya waktu.

Berdasarkan grafik 4.3 menunjukkan bahwa, hubungan antara laju aliran udara primer dengan laju aliran air terhadap durasi pembentukan *flame*

optimal terjadi saat ketika laju aliran air 20 lpm, yaitu selama 122 menit dan 110 menit.

Dari grafik 4.3 di atas, dilakukan pengukuran temperature rata-rata yang dapat dilihat dari grafik dibawah ini :



Grafik 4.3.1 Temperatur gas produser rata-rata setelah gas cleaning, laju aliran udara primer 131,4 lpm

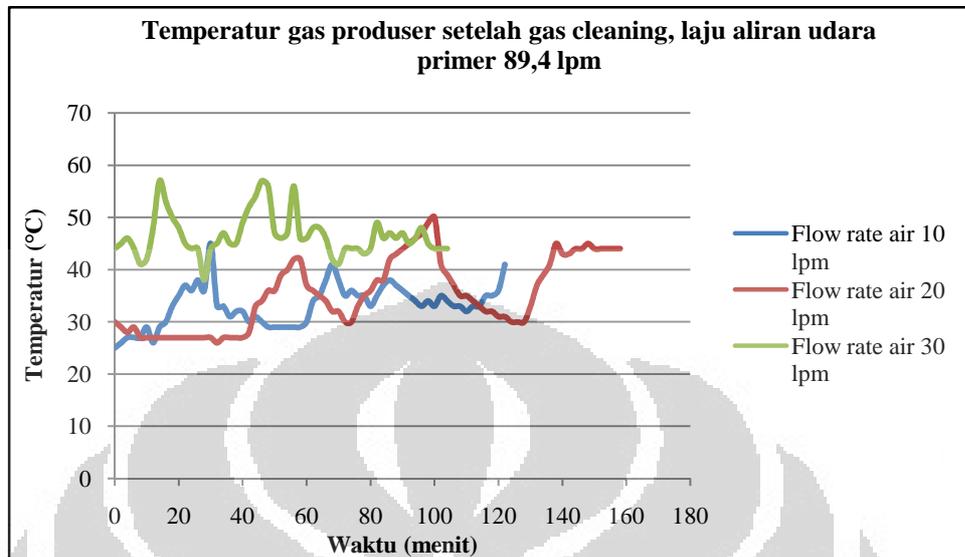
Dari grafik 4.3.1 menunjukkan bahwa dari laju aliran air 10 lpm s/d 30 lpm temperature gas produser mengalami penurunan, dengan temperature rata-rata per flow rate adalah :

- a) Laju aliran air 10 lpm = 41,62°C
- b) Laju aliran air 20 lpm = 37,54°C
- c) Laju aliran air 30 lpm = 33,69°C

Penurunan ini diakibatkan karena selama pengujian, semua komponen dan parameter yang diuji tidak pernah berhenti (off sementara) bahkan ketika saat melakukan pengisian tangki air.

Dari ketiga temperatur diatas diperoleh temperatur rata-rata sebesar 38,25°C.

4.2.2.3 Grafik temperature gas produser setelah gas cleaning, laju aliran udara primer 89,4 lpm



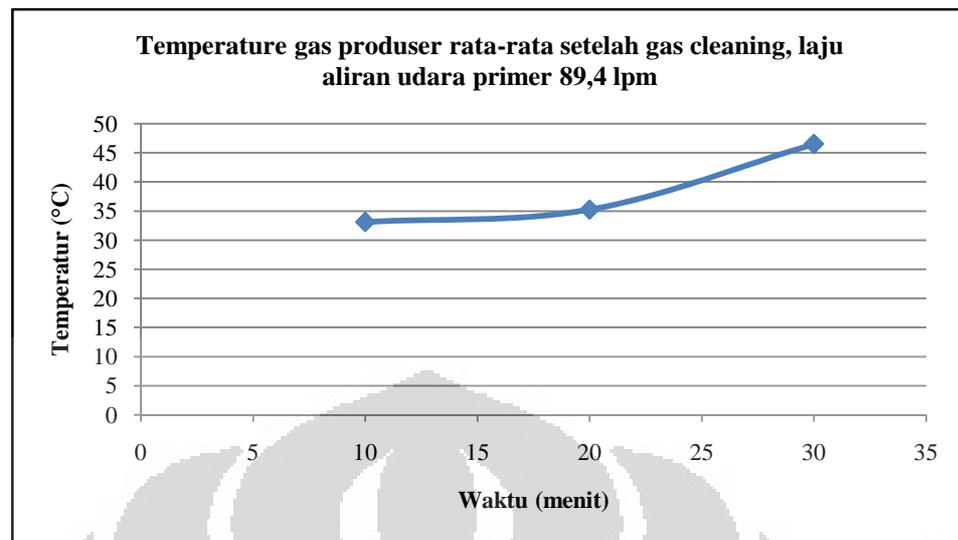
Grafik 4.4

Pada pengukuran variasi ini, waktu yang ditempuh untuk masing-masing variasi antara lain 122 menit saat aliran air 10 lpm, 158 menit saat aliran air 20 lpm, dan 104 menit saat aliran air 30 lpm. Pengukuran visualisasi terhadap durasi *flame* yang terbentuk dari masing-masing variasi antara lain :

- a) Laju aliran air 10 lpm *flame* terbentuk selama 118 menit
- b) Laju aliran air 20 lpm *flame* terbentuk selama 153 menit
- c) Laju aliran air 30 lpm *flame* terbentuk selama 30 menit

Berdasarkan grafik 4.4 bahwa hubungan antara laju aliran udara primer dengan laju aliran air terhadap durasi pembentukan *flame* optimal terjadi saat ketika laju aliran air 20 lpm yaitu, selama 158 menit dan 153 menit.

Dari grafik 4.4 diatas, dilakukan pengukuran temperature rata-rata yang dapat dilihat dari grafik dibawah ini :



Grafik 4.4.1 Temperatur gas produser rata-rata setelah gas cleaning, laju aliran udara primer 89,4 lpm

Dari grafik 4.4.1 menunjukkan bahwa dari laju aliran air 10 lpm s/d 30 lpm temperature gas produser mengalami kenaikan, dengan temperature rata-rata per flow rate adalah :

- a) Flow rate air 10 lpm = 33,13°C
- b) Flow rate air 20 lpm = 35,25°C
- c) Flow rate air 30 lpm = 46,52°C

Fenomena ini diakibatkan karena selama pengujian dengan laju aliran air 30 lpm *flame* lebih sering mati daripada dua variasi sebelumnya (10 lpm & 20 lpm) sehingga temperatur gas produser yang diukur bukan pada saat *venturi scrubber* hidup dimana proses *gas cleaning* tersebut tidak berjalan sebagaimana mestinya.

Dari ketiga temperatur diatas diperoleh temperatur rata-rata sebesar 37,64°C.

4.3 Analisa kesalahan pengukuran temperature gas produser sebelum gas cleaning

Analisa ini bertujuan untuk mengetahui faktor-faktor yang mempengaruhi ketidak-akuratan dalam pengambilan data pengukuran temperatur gas produser sebelum gas cleaning. Faktor-faktor tersebut antara lain :

- a) Waktu pelaksanaan pengujian yang berbeda-beda antara variasi flow rate udara primer 189,6 lpm s/d 89,4 lpm.
 - Laju aliran udara primer 189,6 lpm waktu pengujian pada hari pertama pukul 10:35.
Temperatur awal yang dicapai adalah 30°C.
 - Laju aliran udara primer 131,4 lpm waktu pengujian pada hari kedua pukul 10:33.
Temperatur awal yang dicapai adalah 29°C
 - Laju aliran udara primer 89,4 lpm waktu pengujian pada hari ketiga pukul 14:00 dilanjutkan hari esoknya pada pukul 10:35.
Temperatur awal yang dicapai pada pengujian pertama adalah 64°C dan pada pengujian kedua adalah 30°C.
- b) Ketidak-akuratan dalam pembacaan nilai temperatur pada *data logger*.
- c) Pengukuran masih mengandalkan konsentrasi dan kejelian mata penguji.
- d) Perlakuan yang berbeda saat pengisian tangki penampungan air.

4.4 Analisa kesalahan pengukuran temperature gas produser setelah gas cleaning

Analisa ini bertujuan untuk mengetahui faktor-faktor yang mempengaruhi ketidak-akuratan dalam pengambilan data pengukuran temperatur gas produser setelah gas cleaning. Faktor-faktor tersebut antara lain :

- a) Ketidak-akuratan dalam pembacaan nilai temperatur pada *data logger*
- b) Pengukuran masih mengandalkan konsentrasi dan kejelian mata penguji.
- c) *Data logger* yang sudah tidak optimal lagi, terkadang data logger tidak mendeteksi temperatur.
- d) Perlakuan yang berbeda saat pengisian tangki penampungan air.

4.5 Analisa selisih temperatur gas produser sebelum gas cleaning & setelah gas cleaning

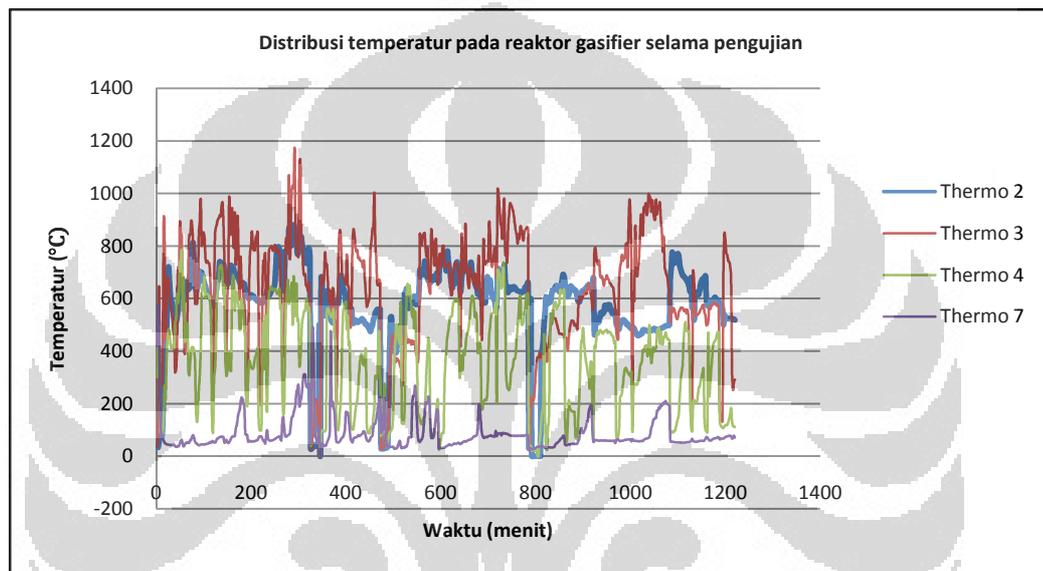
Tujuan dari analisa ini adalah mengetahui penurunan temperatur gas produser antara sebelum gas cleaning dengan sesudah gas cleaning sebagai penunjuk keefektifan *venturi scrubber*. Pengukuran ini merupakan hasil dari temperatur rata-rata gas produser sebelum gas cleaning dikurangi temperatur rata-rata setelah gas cleaning.

- a) Laju aliran udara primer 189,6 lpm : $\Delta T = 116,72^{\circ}C - 36,02^{\circ}C = 80,7^{\circ}C$
- b) Laju aliran udara primer 131,4 lpm : $\Delta T = 99,81^{\circ}C - 38,25^{\circ}C = 61,58^{\circ}C$
- c) Laju aliran udara primer 89,4 lpm : $\Delta T = 74,32^{\circ}C - 37,64^{\circ}C = 36,68^{\circ}C$

Bila di persent-kan selisih temperatur gas produser setelah gas cleaning dengan sebelum gas cleaning diperoleh data seperti berikut ; saat laju aliran udara primer 189,6 lpm mencapai 30,86 %, laju aliran udara primer 131,4 lpm mencapai 38,32 %, dan laju aliran udara primer 89,4 lpm mencapai 50,64 % penurunan temperatur.

4.6 Analisa distribusi temperatur pada reaktor

Pengukuran temperatur pada reaktor *gasifier* dilakukan dengan memasang 4 buah thermokopel tipe K pada ke-empat port thermokopel, masing-masing adalah : port 2, port 3, port 4, dan port 7. Selanjutnya membaca temperatur pada *data logger* yang telah terkoneksi dengan ke-empat buah thermokopel tersebut. Pembacaan/pencatatan temperatur ini dilakukan setiap 2 menit sekali. Grafik dibawah ini menunjukkan temperatur yang tercatat selama pengujian.



Grafik4.5 Distribusi temperatur dalam reaktor gasifier

Grafik diatas merupakan data distribusi temperatur pada reaktor, data pada grafik tersebut diambil dari keseluruhan variasi pengujian (variasi udara primer 189,6 lpm, 131,4 lpm, dan 89,4 lpm serta variasi aliran air 10, 20, 30 lpm). Setelah diakumulasikan, total pengujian yang dilakukan menempuh waktu 1220 menit atau sekitar 20,334 jam. Perlu diketahui pula, bahwa pada thermokopel nomor 2 merupakan letak zona reduksi, dimana rata-rata temperaturnya berkisar 587,38°C. Thermokopel nomor 3 merupakan letak zona *combustion* dengan temperatur rata-rata berkisar 637,33°C. Thermokopel nomor 4 merupakan letak zona pirolisis dengan temperatur rata-rata berkisar 362,43°C dan thermokopel nomor 7 merupakan letak zona pengeringan (*drying*) dengan temperatur rata-rata berkisar 85,88°C.

4.7 Hasil & Analisa pembentukan *flame*

Visualisasi pada *flame* merupakan salah satu indikasi yang menunjukkan kualitas *flame*. Pada pengujian ini hanya dilihat bagaimana kualitas api dilihat dari bentuk & durasinya saja.

Pada bagian ini akan dijelaskan mengenai kondisi pembentukan *flame* selama pengujian berlangsung. Pengujian pertama dengan laju aliran udara primer 30° (189,6 lpm) & laju aliran air 10 lpm, 20 lpm, dan 30 lpm. Kedua dengan laju aliran udara primer 45° (131,4 lpm) & laju aliran air 10 lpm, 20 lpm, dan 30 lpm. Ketiga dengan laju aliran udara primer 60° (89,4 lpm) & laju aliran air 10 lpm, 20 lpm, dan 30 lpm.

Bentuk kualitas api hasil pengujian dapat dilihat pada gambar-gambar dibawah ini

Variasi Pengujian	Bentuk & Kualitas <i>flame</i>
<ul style="list-style-type: none"> ➤ Udara primer 30° (189,6 lpm) & laju aliran air 10 lpm. ➤ Terlihat <i>flame</i> memerah dengan durasi pembentukan selama 100 menit. 	
<ul style="list-style-type: none"> ➤ Udara primer 30° (189,6 lpm) & laju aliran air 20 lpm. ➤ Terlihat <i>flame</i> mulai memudar (ada gas produser yang tidak tergasifikasi sempurna). ➤ <i>Flame</i> terbentuk selama 1127 menit. 	

<ul style="list-style-type: none"> ➤ Udara primer 30° (189,6 lpm) & laju aliran air 30 lpm ➤ Flame semakin menipis. ➤ Flame terbentuk selama 116 menit 	
---	--

Gambar 4.6 Bentuk & Kualitas flame saat variasi udara primer 30° (189,6 lpm)

Variasi Pengujian	Bentuk & Kualitas flame
<ul style="list-style-type: none"> ➤ Udara primer 45° (131,4 lpm) & laju aliran air 10 lpm. ➤ Flame berwarna kemerahan, gas produser tergasifikasi sempurna. ➤ Flame terbentuk selama 60 menit. 	
<ul style="list-style-type: none"> ➤ Udara primer 45° (131,4 lpm) & laju aliran air 20 lpm. ➤ Flame semakin menguning, gas produser terhalang dengan adanya aliran air. ➤ Flame terbentuk selama 110 menit. 	

<ul style="list-style-type: none"> ➤ Udara primer 45° (131,4 lpm) & laju aliran air 30 lpm. ➤ Flame semakin meredup. ➤ Flame terbentuk selama 60 menit. 	
--	--

Gambar 4.7 Bentuk & Kualitas flame saat variasi udara primer 45° (131,4 lpm)

Variasi Pengujian	Bentuk & Kualitas flame
<ul style="list-style-type: none"> ➤ Udara primer 60° (89,4 lpm) & laju aliran air 10 lpm. ➤ Tampak ada gas produser yang tidak tergasifikasi (warna putih/asap) ➤ Flame terbentuk selama 118 menit. 	
<ul style="list-style-type: none"> ➤ Udara primer 60° (89,4 lpm) & laju aliran air 20 lpm. ➤ Flame semakin memelan/sedikit ➤ Flame terbentuk selama 158 menit. 	
<ul style="list-style-type: none"> ➤ Udara primer 60° (89,4 lpm) & laju aliran air 30 lpm. ➤ Flame sering mati-nyala. ➤ Flame yang stabil terbentuk selama 30 menit. 	

Gambar 4.8 Bentuk & Kualitas flame saat variasi udara primer 60° (89,4 lpm)

BAB 5

KESIMPULAN DAN SARAN

5.1 Kesimpulan

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

1. Temperatur gas produser sebelum gas cleaning cenderung menurun dari variasi laju aliran udara primer 189,6 lpm s/d 89,4 lpm.
2. Variasi laju aliran udara primer 131,4 pm merupakan variasi yang paling cepat tergasifikasi.
3. Variasi laju alira air 20 lpm untuk setiap variasi laju aliran udara primer merupakan variasi yang paling lama menghasilkan *flame*. Dimana durasi dari pembentukan *flame* tersebut antara lain :
 - a) Laju aliran udara primer 189,6 lpm dengan aliran air 20 lpm = 127 menit.
 - b) Laju aliran udara primer 131,4 lpm dengan aliran air 20 lpm = 110 menit.
 - c) Laju aliran udara primer 89,4 lpm dengan aliran air 20 lpm = 158 menit.
4. Nilai rata-rata temperatur gas produser setelah gas cleaning antara lain :
 - a) Saat laju aliran udara primer 189,6 lpm = 36,02°C.
 - b) Saat laju aliran udara primer 131,4 lpm = 38,25°C.
 - c) Saat laju aliran udara primer 89,4 lpm = 37,64°C.
5. Semakin besar laju aliran udara primer dengan seiring bertambahnya aliran air, temperatur gas produser semakin menurun.
6. Penurunan temperatur gas produser antara sebelum gas cleaning dengan setelah gas cleaning adalah sebanyak :
 - a) 30,86 % untuk aliran udara primer 189,6 lpm.
 - b) 38,32 % untuk aliran 131,4 lpm.
 - c) 50,64 % untuk aliran 89,4 lpm.

7. Temperatur pada zona gasifikasi memiliki nilai sebagai berikut :
 - a. Zona reduksi pada pengujian diperoleh temperatur berkisar $587,38^{\circ}\text{C}$
 - b. Zona pembakaran (*combustion*) diperoleh temperatur berkisar $637,33^{\circ}\text{C}$
 - c. Zona pirolisis diperoleh temperatur berkisar $362,43^{\circ}\text{C}$
 - d. Zona pengeringan (*drying*) diperoleh temperatur berkisar $85,88^{\circ}\text{C}$.
8. Kondisi *flame* stabil terjadi pada saat variasi ; laju aliran udara primer 30° (189,4 lpm) dengan laju aliran air 10 lpm dan 20 lpm ; laju aliran udara primer 45° (131,4 lpm) dengan laju aliran air 10 lpm dan 20 lpm ; dan saat laju aliran udara primer 60° (89,4 lpm) dengan laju aliran air 10 lpm.
9. Kondisi *flame* fluktuatif terjadi pada saat variasi ; laju aliran udara primer 30° (189,4 lpm) dengan laju aliran air 30 lpm ; laju aliran udara primer 45° (131,4 lpm) dengan laju aliran air 30 lpm ; dan saat laju aliran udara primer 60° (89,4 lpm) dengan laju aliran air 20 lpm, dan 30 lpm.
10. *Downdraft gasifier* dapat menghasilkan gas mampu bakar secara berkelanjutan selama 6 jam tanpa mengalami pemadaman.
11. Indikator untuk melakukan pengisian ulang bahan bakar (*refill*) dapat dilihat dari bentuk *flame* yang warnanya menipis dan atau temperatur pada zona reduksi telah mencapai temperatur 600°C dan temperatur gas producer sebelum gas cleaning mencapai 100°C .

5.2 Saran

Agar pengujian dan penelitian terhadap distribusi temperatur gas producer dapat berjalan lebih efektif dan efisien dapat dilakukan dengan penambahan beberapa komponen pendukung seperti :

1. Pemakaian *DAQ (Data Acquisition)*, *DAQ* ini digunakan untuk mengukur temperatur secara digital dimana penginstalasinya langsung terhubung dengan komputer sehingga pencatatan temperatur berjalan secara otomatis.
2. Pemakaian *image processing*, dimana alat ini bisa mengukur karakteristik dari *flame*.
3. Dalam melakukan pengujian downdraft gasifier minimal dibutuhkan 4 orang operator.
4. Untuk menjaga sirkulasi pembuangan gas sisa dari proses gasifikasi, diharapkan kedepannya saluran *exhaust* pembuangan sudah dapat terpasang.
5. Sumber aliran air yang menuju ke tangki air diharapkan untuk kedepannya tidak mengandalkan dari satu sumber air saja.
6. Untuk menjaga kualitas bahan bakar (tempurung kelapa) tetap kering, dibutuhkan penutup lab yang lebih memadai, sebab penutup yang ada saat ini masih kurang optimal terlebih pada saat hujan, biasanya air hujan masuk ke dalam lab, sehingga bisa membasahi tempurung kelapa yang sedang disimpan.
7. Agar kedepannya alat-alat *safety* untuk operator (*masker, glove, kacamata*) dapat terpenuhi.

DAFTAR PUSTAKA

- Boehman, A. L., & Le Corre, O. (2008). *Combustion Science & Technology*. USA: Taylor & Francis.
- Centeno, F., Mahkamov, K., Silva Lora, E. E., & Andrade, R. V. (2011). Theoretical and experimental investigations of a downdraft biomass gasifier-spark ignition engine power system. *ELSEVIER* .
- D. K, A. G., & Patel, V. J. (2008). A wet packed bed scrubber-based producer gas cooling-cleaning system. *ELSEVIER* .
- Hasler, P., & Nussbaumer, T. (1999). Gas cleaning for IC engine applications from fixed bed biomass gasification. *PERGAMON* .
- Martinez, J. D., Mahkamov, K., Andrade, R. A., & Silva Lora, E. E. (2011). Syngas Production in downdraft biomass gasifiers and its application using internal combustion engines. *ELSEVIER* .
- Sheth, P. N., & Babu, B. V. (2009). Experimental studies on producer gas generation from wood waste in a downdraft biomass gasifier. *ELSEVIER* .
- Susanto, P. D. (t.thn.). Dipetik Desember 2011, dari <http://esptk.fti.itb.ac.id/herri/index.html>.
- Zainal, Z. A., Rifau, A., Quadir, G. A., & Seetharamu, K. N. (2002). Experimental Investigation of a downdraft biomass gasifier. *PERGAMON* .