

RANCANG BANGUN ALAT GASIFIKASI BIOMASSA (KAYU KARET) SISTEM UPDRAFT SINGLE GAS OUTLET

DESIGN OF BIOMASS GASIFICATION EQUIPMENT (RUBBER WOOD) UPDRAFT SINGLE GAS OUTLET SYSTEM

Indah Pratiwi¹⁾

¹⁾Program Studi Teknik Analisis Laboratorium Migas Politeknik Akamigas Palembang, 30257, Indonesia
 Corresponding Author E-mail: indahpratiwikimia@gmail.com

Abstract: Utilization of biomass waste as an alternative energy source is needed now seeing the use of fossil fuels increases with the development of technology. The step that must be done is to find alternative fuels through the gasification process. Gasification is one alternative energy solution that converts solid material in this case in the form of biomass into flammable gas. The gases produced include CO, H₂, and CH₄. The biomass used in this study is rubber wood that is old and unable to produce anymore. In the gasification process, the resulting syngas still has impurities such as ash and tar. This study will examine the effect of variations in water flow rate on the wet scrubber venturi that is used to clean syngas from tar. The flow rate is varied by 0.015 m³/min, 0.02 m³/min and 0.025 m³ / min. The test results obtained that the weight of tar caught were respectively 0.67 g, 0.97 g and 1.7 g with a 70% wet scrubber efficiency level. Besides that, the syngas that passes through the wet scrubber venturi also experienced changes in the composition of syngas consisting of CO 10.15%, H₂ 3.74% and CH₄ 2.62% and changed to CO 9,05%, H₂ 3.43% and CH₄ 4,11%. With this change in syngas composition, an increase in the syngas LHV value of 2,625 MJ/ m³ increased to 2,987 MJ / m³.

Keywords: Gasification, Rubber Wood, Tar, Syngas and Ventri wet Scrubber

Abstrak: Pemanfaatan limbah biomassa sebagai sumber energi alternatif diperlukan saat ini melihat penggunaan bahan bakar fosil meingkat seiring berkembangnya teknologi. Langkah yang harus dilakukan ialah mencari bahan bakar alternatif melalui proses gasifikasi. Gasifikasi adalah salah satu solusi energi alternatif yang mengkonversi bahan padat dalam hal ini berupa biomassa menjadi gas yang mudah terbakar. Gas- gas yang dihasilkan antara lain CO, H₂, dan CH₄. Biomassa yang dimanfaatkan dalam penelitian ini adalah kayu karet yang sudah tua dan tidak mampu memproduksi lagi. Pada proses gasifikasi, syngas yang dihasilkan masih terdapat pengotor seperti abu dan tar. Penelitian ini akan menguji pengaruh variasi laju alir air pada venturi wet scrubber yang digunakan untuk membersihkan syngas dari tar. Laju alir divariasikan sebesar 0,015 m³/min, 0,02 m³/min dan 0,025 m³/min. Dari hasil pengujian didapatkan berat tar yang tertangkap secara berturut, yaitu: 0,67 g, 0,97 g dan 1,7 g dengan tingkat efisiensi wet scrubber 70%. Disamping itu syngas yang melewati venturi wet scrubber juga mengalami perubahan komposisi syngas terdiri dari CO 10,15%, H₂ 3,74% serta CH₄ 2,62% dan berubah menjadi CO 9,05%, H₂ 3,43% dan CH₄ 4,11%. Dengan adanya perubahan komposisi syngas ini, maka terjadi peningkatan pada nilai LHV syngas yaitu 2,625 MJ/m³ meningkat menjadi 2,987 MJ/m³.

Kata Kunci : Gasifikasi, Kayu Karet, Tar, Syngas dan Ventri wet Scrubber

1. PENDAHULUAN

Dewasa ini penggunaan bahan bakar minyak (BBM) semakin meningkat seiring dengan percepatan pembangunan dan transportasi yang membuat peningkatan dalam penggunaan energi. Namun hal ini tidak sejalan dengan cadangan minyak bumi kita yang semakin menipis. Diperkirakan cadangan minyak bumi di Indonesia hanya bertahan hanya sampai 15 tahun kedepan jika konsumsi BBM tetap tinggi sama seperti sekarang.

Beberapa energi alternatif telah dikembangkan, namun terkendala biaya produksi yang masih terlalu tinggi.

Sebelum ditemukannya cadangan minyak yang besar pada tahun 1940-an, negara-negara di Eropa telah menggunakan energi alternatif sebagai bahan bakar untuk menggerakkan mesin-mesin industri, pembangkit dan transportasi. Bahan bakar yang digunakan adalah berasal dari gasifikasi dari biomassa seperti kayu dan limbah

biomassa lainnya. Alat ini dikenal dengan nama generator gas kayu (*Wood Gas Generator*).

Dibidang teknik kimia, gasifikasi sebagai teknik untuk mengkonversi bahan bakar padar menjadi gas. Gas yang dihasilkan dihasilkan pada gasifikasi disebut gas mampu bakar (*syngas*) yang kandungannya didominasi oleh gas CO, H₂, dan CH₄. 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. Sedangkan bahan bakar padat atau biomassa yang digunakan adalah kayu karet. Biomassa (*biomass*) merupakan sumber energi yang potensial karena sifatnya yang dapat diperbarui (*renewable*).

Sumatera Selatan merupakan salah satu daerah penghasil kayu karet, sangat tepat apabila dimanfaatkan. Data perkebunan pada tahun 2007 menunjukan 9.500 ha per tahun karet tua. Sehingga pemanfaatan kayu karet sebagai bahan bakar biomassa tidak akan mengganggu komoditi yang lain seperti industri *furniture*. *Syngas* yang dihasilkan dari bahan bakar kayu karet mencapai 20,47% CO, 7,95% H₂, dan 1,25 % CH₄ dan LHV 3,859 MJ/m³ (Kurniawan, 2012).

Allin Indri pada tahun 2009 telah melakukan perancangan *gasifier* tipe *updraft* berbahan bakar batubara. Dari hasil penelitian ini efisiensi *gasifier* mencapai 76%. Namun hasil penelitian pada *updraft gasifier* menunjukkan masih terkandung banyak tar yang dihasilkan dan belum ada penanganan yang dilakukan. Ini ditunjukan dari hasil penelitian Guswendar (2012) yang mengatakan bahwa *updraft double gas outlet gasifier* berbahan bakar kayu karet yang dibuatnya masih mengandung tar. Tar merupakan produk sampingan hasil dari proses gasifikasi, dan ini terlihat banyak menempel di sepanjang pipa aliran *syngas*. Kandungan tar yang dihasilkan dari proses gasifikasi menggunakan *updraft gasifier* berbahan bakar

kayu karet mencapai 114,53 g/m³ (Ardyan, 2012).

Angka ini cukup tinggi dan jelas dibutuhkan penanganan untuk mengatasi kandungan tar pada *syngas*. Salah satu metode untuk membersihkan *syngas* adalah dengan memasang *gas cleaning* seperti *venturi wet scrubber*. *Wet scrubber* berfungsi untuk memisahkan tar yang terkandung dalam *syngas* sekaligus mendinginkan *syngas* dengan media pembersih yang digunakan adalah air. Air akan mengangkat partikel dengan menangkapnya dalam tetesan air. *Syngas* yang bersih dan bertemperatur rendah dapat diaplikasikan pada mesin pembakaran internal seperti *diesel*. Berdasarkan penelitian diatas akan dilakukan perancangan reaktor gasifikasi untuk mendapatkan gas mampu bakar (*syngas*) dengan metode *updraft gasifier* dengan menambahkan *venturi wet scrubber* yang merupakan modifikasi rancangan dari para peneliti sebelumnya. Diharapkan nantinya dapat dihasilkan reaktor gasifikasi dengan menggunakan bahan bakar biomassa (kayu karet) yang dapat berguna untuk mengatasi kebutuhan energi.

2. TEORI DASAR

2.1 Gasifikasi

Gasifikasi adalah suatu teknologi proses konversi bahan padat menjadi gas yang mudah terbakar. Bahan padat yang dimaksud adalah bahan bakar padat misalnya, biomassa, batubara, dan arang yang mengandung karbon (C), sedangkan gas yang dimaksud adalah gas-gas yang dihasilkan dari proses gasifikasi seperti CO, H₂, dan CH₄. Melalui gasifikasi, kita dapat mengkonversi hampir semua bahan organik kering menjadi bahan bakar, sehingga dapat menggantikan bahan bakar fosil sebagai sumber bahan bakar. Bahan baku untuk proses gasifikasi dapat berupa limbah biomassa, yaitu potongan kayu, tempurung kelapa, sekam padi maupun limbah pertanian lainnya.

Gasifikasi umumnya terdiri dari empat proses, yaitu pengeringan, pirolisis, oksidasi, dan reduksi. Pada *gasifier* jenis unggun terfluidakan, kontak yang terjadi saat pencampuran antara gas dan padatan sangat

kuat sehingga perbedaan zona pengeringan, pirolisis, oksidasi, dan reduksi tidak dapat dibedakan. Salah satu cara untuk mengetahui proses yang berlangsung pada *gasifier* jenis ini adalah dengan mengetahui rentang temperatur masing-masing proses, yaitu:

- Pengeringan: $T > 150^{\circ}\text{C}$
- Pirolisis/Devolatilisasi: $150^{\circ}\text{C} < T < 700^{\circ}\text{C}$
- Oksidasi: $700^{\circ}\text{C} < T < 1.500^{\circ}\text{C}$
- Reduksi: $800^{\circ}\text{C} < T < 1.000^{\circ}\text{C}$

Proses pengeringan, pirolisis, dan reduksi bersifat menyerap panas (endotermik), sedangkan proses oksidasi bersifat melepas panas (eksotermik). Pada pengeringan, kandungan air pada bahan bakar padat diuapkan oleh panas yang diserap dari proses oksidasi. Pada pirolisis, pemisahan *volatile matters* (uap air, cairan organik, dan gas yang tidak terkondensasi) dari arang atau padatan karbon bahan bakar juga menggunakan panas yang diserap dari proses oksidasi.

Pembakaran mengoksidasi kandungan karbon dan hidrogen yang terdapat pada bahan bakar dengan reaksi eksotermik, sedangkan gasifikasi mereduksi hasil pembakaran menjadi gas bakar dengan reaksi endotermik.

2.2 Proses Pengeringan (Drying)

Reaksi ini terletak pada bagian atas reaktor dan merupakan zona dengan temperatur paling rendah di dalam reaktor yaitu di bawah 150°C . Proses pengeringan ini sangat penting dilakukan agar pengapian pada burner dapat terjadi lebih cepat dan lebih stabil. Pada reaksi ini, bahan bakar yang mengandung air akan dihilangkan dengan cara diuapkan dan dibutuhkan energy sekitar 2.260 kJ untuk melakukan proses tersebut sehingga cukup menyita waktu operasi.

Menurut Kurniawan (2012), penelitian yang telah dilakukannya menunjukkan bahwa pengeringan manual oleh sinar matahari berperan penting dalam mempercepat proses pengeringan didalam reaktor oleh panas reaksi pembakaran (oksidasi). Penjemuran dengan sinar matahari pada suhu diatas 32°C selama dua jam dapat mempercepat waktu pengeringan di dalam reaktor hingga 30% atau kurang dari 25 menit. Jika dibandingkan

dengan penjemuran pada suhu 30°C yang mencapai 25-40 menit untuk proses pengeringan saja.

2.3 Pirolisis

Pirolisis atau devolatilisasi disebut juga sebagai gasifikasi parsial. Suatu rangkaian proses fisik dan kimia terjadi selama proses pirolisis yang dimulai secara lambat pada $T < 350^{\circ}\text{C}$ dan terjadi secara cepat pada $T > 700^{\circ}\text{C}$. Ketika suhu pada zona pirolisis rendah maka akan dihasilkan banyak arang dan sedikit cairan (air, hidrokarbon dan tar). Komposisi produk yang tersusun merupakan fungsi temperatur, tekanan, dan komposisi gas selama pirolisis berlangsung.

Proses pirolisis dimulai pada temperatur sekitar 230°C , ketika komponen yang tidak stabil secara termal, seperti lignin pada biomassa dan *volatile matters* pada batubara, pecah dan menguap bersamaan dengan komponen lainnya. Produk cair yang menguap mengandung tar dan PAH (*polyaromatic hydrocarbon*). Produk pirolisis umumnya terdiri dari tiga jenis, yaitu gas ringan (H_2 , CO , CO_2 , H_2O , dan CH_4), tar, dan arang.

2.4 Reduksi (Gasifikasi)

Reduksi atau gasifikasi melibatkan suatu rangkaian reaksi endotermik yang disokong oleh panas yang diproduksi dari reaksi pembakaran. Reduksi terjadi pada suhu $< 800^{\circ}\text{C}$ dan menghasilkan gas mampu bakar (*syngas*) berupa H_2 , CO , dan CH_4 .

2.5 Oksidasi (Pembakaran)

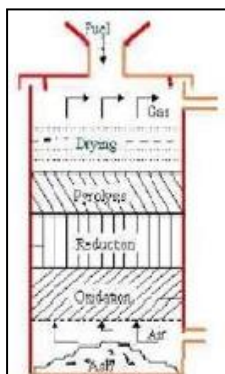
Oksidasi atau pembakaran arang merupakan reaksi terpenting yang terjadi di dalam *gasifier*. Proses ini menyediakan seluruh energi panas yang dibutuhkan pada reaksi endotermik. Oksigen yang dipasok ke dalam *gasifier* bereaksi dengan substansi yang mudah terbakar. Hasil reaksi tersebut adalah CO_2 dan H_2O yang secara berurutan direduksi ketika kontak dengan arang yang diproduksi pada pirolisis.

2.6 Jenis-jenis Alat Gasifikasi (Gasifier)

Terdapat dua tipe utama gasifikasi (*gasifier*), yakni tipe *fluidized bed* dan tipe *fixed bed*. Beberapa tipe *fixed bed gasifier*, jika ditinjau dari arah aliran udara, *gasifier* dibagi menjadi tiga tipe, yakni *downdraft*, *updraft*, dan *crossdraft*. Ketiga tipe *fixed bed gasifier* sebagai berikut.

1. Updraft gasifier

Updraft gasifier merupakan reaktor gasifikasi yang umum digunakan secara luas. Ciri khas dari reaktor gasifikasi ini adalah aliran udara dari *blower* masuk melalui bagian bawah reaktor melalui *grate* sedangkan aliran bahan bakar masuk dari bagian atas reaktor sehingga arah aliran udara dan bahan bakar memiliki prinsip yang berlawanan (*counter current*). Produksi gas dikeluarkan melalui bagian atas dari reaktor sedangkan abu pembakaran jatuh ke bagian bawah *gasifier* karena pengaruh gaya gravitasi dan berat jenis abu. Di dalam reaktor, terjadi zonifikasi area pembakaran berdasarkan pada distribusi temperatur reaktor gasifikasi. Zona pembakaran terjadi di dekat *grate* yang dilanjutkan dengan zona reduksi yang akan menghasilkan gas dengan temperatur yang tinggi. Gas hasil reaksi tersebut akan bergerak menuju bagian atas dari reaktor yang memiliki temperatur lebih rendah dan gas tersebut akan kontak dengan bahan bakar yang bergerak turun sehingga terjadi proses pirolisis dan pertukaran panas antara gas dengan temperatur tinggi terhadap bahan bakar yang memiliki temperatur lebih rendah.



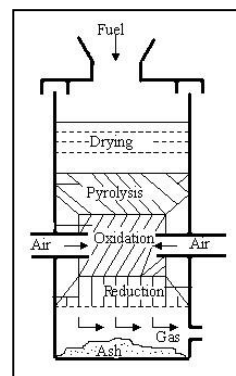
Gambar 2.1 Updraft Gasifier

Panas *sensible* yang diberikan gas digunakan bahan bakar untuk pemanasan awal

dan pengeringan bahan bakar. Kedua proses tersebut, yaitu proses pirolisis dan proses pengeringan terjadi pada bagian teratas dari reaktor gasifikasi.

2. Downdraft gasifier

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

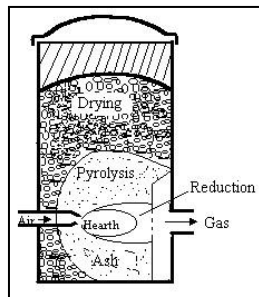


Gambar 2.2 Downdraft Gasifier

3. Crossdraft gasifier

Pada *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.

Sistem *crossdraft* gasifier dapat dilihat pada gambar .



Gambar 2.3 *Crossdraft* Gasifier

Setiap alat gasifikasi memiliki karakteristik tersendiri yang membedakan suatu sistem gasifikasi dengan sistem gasifikasi yang lain. Hasil reaksi dan *syngas* yang dihasilkan dari reaksi gasifikasi tersebut dipengaruhi oleh karakteristik masing-masing alat gasifikasi tersebut. Berikut tabel kelebihan dan kekurangan berbagai tipe *gasifier*.

Tabel 2.1 Kelebihan dan Kekurangan Berbagai Tipe *Gasifier*

Tipe <i>Gasifier</i>	Kelebihan	Kekurangan
<i>Updraft</i>	- Mekanismenya sederhana - Hilang tekan rendah - Efisiensi panas baik - Arang (<i>charcoal</i>) habis terbakar	- Sensitif terhadap tar dan uap bahan bakar - Memerlukan waktu start up yang cukup lama untuk mesin <i>internal combustion</i>.
<i>Downdraft</i>	- Tidak terlalu sensitif terhadap tar - Dapat mudah beradaptasi dengan jumlah umpan biomassa	- Desain <i>gasifier</i> tinggi - Tidak cocok untuk bahan bakar biomassa yang berukuran kecil
<i>Crossdraft</i>	- Desain <i>gasifier</i> pendek - Sangat responsif ketika diisi umpan biomassa	- Sangat sensitif terhadap pembentukan tarak - Hilang tekan tinggi - Proses hanya ditujukan untuk arang kualitas tinggi - Temperatur gas keluaran tinggi

Sumber : Rinovianto, 2012

2.7 Gas Mampu Bakar (*Syngas*)

Gas mampu bakar atau yang lebih dikenal gas sintetik (*syngas*) merupakan campuran hidrogen dan karbonmonoksida. 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. *Syngas* memiliki kepadatan

energi kurang dari setengah kepadatan energi gas alam. Proses utama pembentukan *syngas* bersifat endotermik dengan nilai $\Delta H^\circ = 206$ kJ/mol sedangkan *syngas* yang tidak di metanisasi biasanya memiliki kapasitas kalor sebesar 120 BTU/scf. *Syngas* yang digunakan sebagai bahan bakar seringkali dihasilkan dari batubara atau biomassa dan sampah rumah tangga yang telah melalui proses *pyrolysis* atau distilasi destruktif menjadi *coke* (karbon tidak murni) yang kemudian dilanjutkan dengan menyemburkan uap dan udara.

2.8 Kayu Karet

Tanaman karet merupakan tanaman perkebunan/industri tahunan yang pertama kali ditemukan di Brazil dan mulai dibudidayakan pada tahun 1601. Di Indonesia, Malaysia, dan Singapura, tanaman karet dicoba dibudidayakan pada tahun 1876. Tanaman karet (*Hevea Brasiliensis*) termasuk ke dalam divisi *Sphermatophyta*, Subdivisi *Angiospermae*, kelas *Dicotylodoneae*, keluarga *Euphorbiaceae*, dan genus *Hevea*. Karet cukup baik dikembangkan di daerah lahan kering beriklim basah. Tanaman karet memiliki beberapa keunggulan dibandingkan dengan komoditas lainnya, yaitu: dapat tumbuh dengan baik pada ketinggian antara 1-600 meter di atas permukaan tanah, dengan suhu harian 25-30°C. Derajat keasaman tanah yang paling cocok untuk ditanami karet adalah 5-6, pada berbagai kondisi dan jenis lahan, masih mampu dipanen hasilnya meskipun pada tanah yang tidak subur. Pada tabel 4 dibawah ini bisa dilihat sifat fisis dan morfologi dari kayu karet.

2.9 Sistem Pembersihan Gas

Gas hasil pembakaran dalam *gasifier* biasanya masih bercampur dengan berbagai unsur yang tidak diperlukan dan gas keluaran masih memiliki temperature tinggi. Unsur yang tidak diperlukan itu antara lain partikel padat (partikel yang tidak terkonversi), pengotor anorganik (halida, alkali, senyawa belerang dan nitrogen) dan kotoran organik (tar, aromatik dan karbon dioksida). Gas hasil pembakaran/gas mampu bakar ini akan

direaksikan dengan udara untuk dibakar menjadi energi. Pembakaran gas ini merupakan reaksi sintesis sehingga gas yang dihasilkan harus lebih murni. Oleh karena itu, gas keluar didinginkan dan dibersihkan terlebih dahulu dengan cara melewati dalam suatu unit penyaring (filtrasi). Cara untuk membersihkan gas dari debu atau partikel yang tidak diinginkan, yaitu tar dengan filtrasi (*scrubber*). Sistem filtrasi dibagi menjadi dua, yaitu *venturi wet scrubber* dan *dry scrubber*. Prinsip dasar dari semua jenis filtrasi sama yaitu membersihkan gas dari unsur-unsur seperti senyawa sulphur, nitrogen, debu yang terangkut oleh gas, kelembaban dari gas, temperatur gas serta produk distilasi yaitu tar, minyak serta gas-gas yang tidak terkondensasi dan uap air.

2.10 Metode Pengumpulan Partikel

Venturi venturi wet scrubber menangkap partikel debu yang relatif kecil terhadap butiran *liquid* yang besar. Di kebanyakan *venturi venturi wet scrubber*, droplet yang dihasilkan biasanya adalah lebih kecil dari 50 micrometer (dalam range 150-500 micrometer). 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 micrometer), sedangkan partikel yang berasal dari *combustion* atau reaksi kimia akan memiliki partikel yang kecil (kurang dari 5 micrometer) atau berukuran submikrometer. *Droplet* atau butiran air dihasilkan dengan metode antara lain mengalirkan arus gas menuju kolom *liquid*. *Droplet-droplet* mengumpulkan partikel dengan menggunakan satu atau lebih mekanisme pengumpulan.

2.11 Prinsip Dasar Venturi Venturi Wet Scrubber

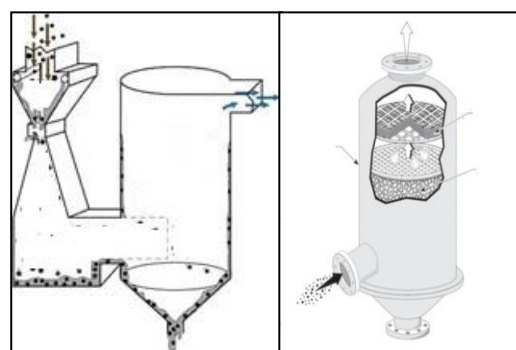
Venturi wet scrubber adalah istilah yang digunakan untuk menggambarkan variasi alat yang menggunakan *liquid* untuk membuang polutan. Pada *venture wet scrubber*, arus gas kotor dibawa menuju kontak dengan *liquid* pencuci dengan cara

menyemprotkan, mengalirkannya atau dengan metode kontak lainnya. *Scrubber* dapat didesain untuk mengumpulkan polutan partikel atau gas.

Venturi wet scrubber membuang partikel dengan cara menangkapnya dalam tetesan atau butiran *liquid*. Sedangkan untuk polutan gas proses *venturi wet scrubber* adalah melarutkan atau menyerap polutan ke dalam *liquid*. Butiran *liquid* yang masih terdapat dalam arus gas setelah proses pencucian selanjutnya harus dipisahkan dari gas bersih dengan alat lain yang disebut *mist eliminator* atau *entrainment separator*.

2.12 Prinsip Dasar Venturi Venturi Wet Scrubber

Venturi wet scrubber adalah istilah yang digunakan untuk menggambarkan variasi alat yang menggunakan *liquid* untuk membuang polutan. Pada *venture wet scrubber*, arus gas kotor dibawa menuju kontak dengan *liquid* pencuci dengan cara menyemprotkan, mengalirkannya atau dengan metode kontak lainnya. *Scrubber* dapat didesain untuk mengumpulkan polutan partikel atau gas. *Venturi wet scrubber* membuang partikel dengan cara menangkapnya dalam tetesan atau butiran *liquid*.



2.4a

2.4b

Gambar 2.4 Desain Venturi Wet Scrubber

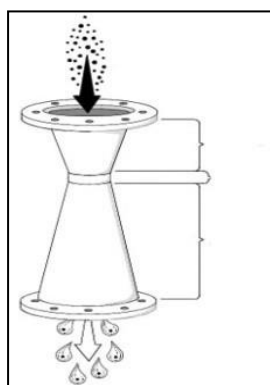
Sedangkan untuk polutan gas proses *venturi wet scrubber* adalah melarutkan atau menyerap polutan ke dalam *liquid*. Butiran *liquid* yang masih terdapat dalam arus gas setelah proses pencucian selanjutnya harus dipisahkan dari gas bersih dengan alat lain

yang disebut *mist eliminator* atau *entrainment separator*. Terdapat banyak konfigurasi *scrubber*, semuanya didesain untuk menyediakan kontak yang baik antara *liquid* dan gas kotor.

Gambar di atas menunjukkan dua contoh desain *venturi wet scrubber*, termasuk *entrainment separator*-nya. Gambar 2a adalah desain *venturi scrubber* yang digunakan dalam tugas akhir ini. *Mist eliminator* untuk *scrubber* biasanya adalah alat terpisah yang disebut *cyclonic separator*. Gambar 2b memiliki desain *tower* dimana *mist eliminator* nya di atas struktur.

Venturi wet scrubber yang membuang polutan gas disebut *absorber*. Kontak gas *liquid* yang baik sangat penting untuk menghasilkan efisiensi pembuangan yang tinggi pada absorber. Apabila arus gas produser mengandung kedua polutan gas dan partikel, *venturi wet scrubber* secara umum adalah satu-satunya alat kendali polusi udara yang dapat membuang kedua jenis polutan. *Venturi wet scrubber* dapat memperoleh 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. Sebagai alat pengendali partikel, *venturi wet scrubber* memiliki beberapa keunggulan, yaitu :

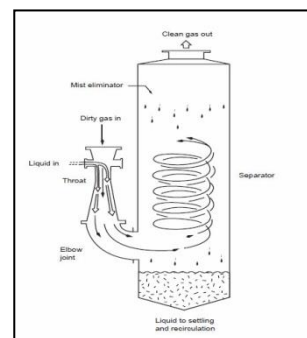
- Memiliki kemampuan untuk mengatasi temperatur dan kelembaban tinggi.
- Menghasilkan kebutuhan ukuran peralatan yang lebih kecil secara keseluruhan.
- Dapat membuang baik polutan gas maupun partikel padat.



Gambar 2.5 Desain Scrubber

2.12 Cara Kerja Venturi scrubber

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



Gambar 2.6 Skema Aliran Gas pada Venturi Scrubber

3. METODOLOGI PENELITIAN

3.1 Alat dan Bahan

- Alat yang digunakan, yaitu:

Combustion chamber yang terdiri dari: *combustor*, pembuangan abu dan *grate*.

Gas cleaning yang terdiri dari *Venturi scrubber* dan *separator*.

1. Pelat *orifice*,
2. *Blower*,
3. Pompa,
4. Pipa dan alat sambung,
5. Termokopel,
6. Manometer,
7. *Water rotameter*,
8. *Burner*, dan
9. *Gas chromatography*.

b. Bahan yang digunakan, yaitu:

1. Kayu karet,
2. Tempurung kelapa,
3. Air, dan
4. Minyak tanah.

3.2 Prosedur Percobaan

1. Persiapan Bahan Bakar

Bahan bakar yang akan digunakan adalah kayu karet tua yang sudah ditebang dan didiamkan beberapa waktu. Kayu karet ini didapat dari petani yang melakukan regenerasi perkebunan karet tua di wilayah Sumatera Selatan, khususnya di Prabumulih. Kayu karet ini sebelum digunakan sebagai bahan bakar harus dipotong kecil berbentuk kubus dengan dimensi ukuran 3 cm x 3 cm. Setelah dipotong kayu karet di keringkan dengan bantuan sinar matahari selama 2 jam. Kayu karet yang sudah dikeringkan ini kemudian dimasukan kedalam kantung plastik masing-masing seberat 5 kg per kantungnya.

2. Persiapan alat ukur

Alat ukur yang digunakan untuk pengujian terdiri dari plat orifice, manometer, termokopel, rotameter, dan neraca analitik (timbangan). Masing-masing alat ukur dipasang sesuai skema *instalation set up* dan pastikan tidak ada kebocoran di tempat pemasangannya. Manometer dipasang pada P1 dan P2 di setiap *orifice* meter dengan menggunakan selang silikon tahan panas. Untuk rotameter di bersihkan dulu tar yang terdapat di dalamnya dengan cairan *aseton* guna mempermudah pembacaan skala pengukuran.

3.3 Prosedur Penelitian

1. Proses pembakaran awal (*start up*)

- a. Membuka baut yang terpasang pada tutup *combustor*.
- b. Memasukkan kayu karet sebanyak $\pm 0,5$ kg ke dalam *combustor* gasifikasi, kemudian siram dengan minyak tanah (*kerosene*).
- c. Menghidupkan *blower* yang dikontakkan dengan listrik, kemudian mengatur

bukaan katup pada daerah aliran tiupan *blower* terbuka penuh (1800) dan *valve* pipa *syngas* dalam kondisi tertutup.

- d. Menyulut bahan bakar di dalam *combustor* dengan api dan tunggu selama 5-15 menit atau sampai mendapatkan bahan bakar telah menjadi bara.

2. Prosedur gasifikasi (tanpa *Venturi scrubber*)

- a. Setelah kayu karet menjadi bara, mematikan *blower* untuk sementara waktu.
- b. Memasukkan tempurung kelapa $\pm 3,5$ kg perlahan-lahan ke dalam *combustor*.
- c. Menutup bagian atas *combustor* dengan memasang ke-6 baut yang tersedia pada tutup dan mengencangkannya.
- d. Menghidupkan kembali *blower*.
- e. Mengatur bukaan katup pada daerah aliran tiupan *blower* hingga manometer U menunjukkan nilai Δh sebesar 0,6 mm H_2O atau dengan kata lain, laju aliran udara sebesar 108 lpm (berdasarkan referen), dan *valve* pada pipa *syngas* dibuka penuh.
- f. Menunggu 15-30 menit sampai timbul asap pekat di *burner*.
- g. Setelah terlihat asap pekat, melakukan penyulutan dengan pemantik di ujung *burner*. Bila belum terlihat, lakukan berulang-ulang.
- h. Waktu ke – 0 menit dilihat setelah lidah api terbentuk.
- i. Pada menit ke- 15 mengambil data temperatur *syngas* yang masuk dan keluar *venturi scrubber*, beda tekan *syngas* yang masuk *venturi scrubber*.
- j. Kemudian menyaring tar pada pipa keluaran separator tiap 15 menit selama 2 menit dalam 1 jam operasi.

3. Prosedur Gasifikasi (dengan *Venturi scrubber*)

Langkah-langkah yang dilakukan sama seperti prosedur gasifikasi tanpa *venturi scrubber*, namun pada langkah e menghidupkan pompa dan mengatur laju aliran air pada 15 lpm. Untuk laju aliran 20

lpm dan 25 lpm langkah yang dilakukan sama.

4. HASIL DAN PEMBAHASAN

4.1 Hasil Penelitian

4.1.1 Pengaruh Penggunaan Venturi Scrubber terhadap Komposisi Syngas

Analisa terhadap komposisi syngas dilakukan di Laboratorium PT Pupuk Sriwidjaja Palembang. Produk syngas yang dilakukan analisa merupakan produk tanpa penggunaan venturi scrubber dan dengan penggunaan venturi scrubber. Berdasarkan analisa yang dilakukan, maka tabel analisa hasil komposisi syngas dapat dilihat pada tabel 4.1.

Tabel 4.1 Analisa Komposisi Syngas

Komponen	Komposisi (% Mol)	
	Sebelum VS	Setelah VS
CO	10,15	9,05
H ₂	3,74	3,43
CH ₄	2,62	4,11

Analisa tersebut diambil dari produk syngas yang dihasilkan pada laju aliran 0,025 m³/min (setelah venturi scrubber). Pemilihan pada laju aliran air 25 m³/min ini akan dijelaskan pada pembahasan. Sedangkan untuk data sebelum venturi scrubber diambil dari produk syngas tanpa penggunaan venturi scrubber.

4.1.2 Pengaruh Penggunaan Venturi Scrubber terhadap Nilai LHV Syngas

Berdasarkan hasil analisa komposisi syngas, maka nilai LHV dari syngas tersebut dapat diketahui dari perhitungan. Tabel LHV syngas dapat dilihat pada tabel 4.2.

Tabel 4.2 Nilai LHV Syngas Produk Syngas

Produk Syngas	LHV (MJ/m ³)
Sebelum VS	2,625
Setelah VS	2,987

4.1.3 Pengaruh Laju Alir Air Terhadap Efisiensi Kinerja Venturi Scrubber

Berdasarkan penelitian yang telah dilakukan, diketahui massa tar yang mampu ditangkap oleh air dari sistem gas cleaning (Venturi Scrubber). Dari massa tar ini, kemudian dapat diketahui efisiensi kinerja Venturi Scrubber berdasarkan langkah-langkah perhitungan yang ada di lampiran 2. Data efisiensi kinerja Venturi Scrubber dapat dilihat pada tabel 4.3.

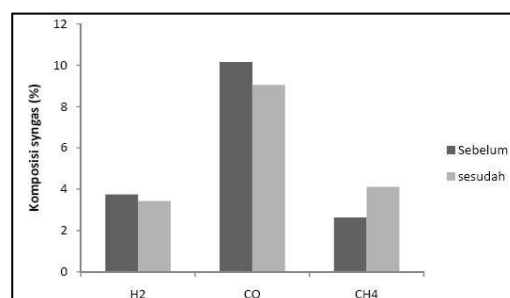
Tabel 4.3 Efisiensi Kinerja Venturi Scrubber

Laju Aliran Udara Primer (m ³ /min)	Kandungan Tar Sebelum Venturi Scrubber (gr/m ³)	Laju Aliran Air (m ³ /min)	Kandungan Tar Setelah Venturi Scrubber (gr/m ³)	Efisiensi (%)
0,108	7,345	0,015	7,147	31,962
0,108	6,925	0,02	6,281	40,206
0,108	6,925	0,025	3,141	70,103

4.2 PEMBAHASAN

4.2.1 Pengaruh Venturi Scrubber Terhadap Komposisi Syngas

Gas yang dihasilkan pada pengujian dianalisa untuk mengetahui komposisi apa saja yang terkandung didalamnya, dimana gas yang diharapkan berupa syngas seperti CH₄, CO dan H₂. Melihat laju alir optimum terjadi pada kondisi laju alir 0,025 m³/min, maka gas yang dianalisa hasil dari pengujian laju alir tersebut. Berdasarkan hasil analisa komposisi syngas di laboratorium PT Pupuk Sriwidjaja dengan menggunakan alat gas chromatografi, didapatkan hasil yang cukup berbeda antara syngas sebelum dan sesudah penggunaan venturi wet scrubber, sebagaimana bisa dilihat pada grafik berikut.

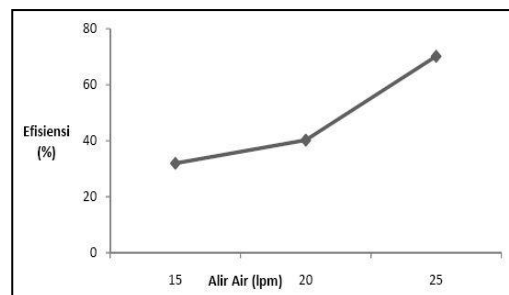


Gambar 4.1 Grafik Komposisi Syngas Sebelum dan Sesudah Scrubber

Indikator bahwa suatu proses gasifikasi berhasil adalah adanya komposisi CH_4 , CO dan H_2 . Komposisi H_2 pada grafik terlihat menurun setelah penggunaan *venture wet scrubber* dari 3,74% menjadi 3,43%, ini berarti terjadi penurunan komposisi H_2 sebesar 0,31%. Penurunan ini terjadi karena tar yang terbentuk selama proses pembakaran mengandung 90% C dan 10% H (*Chemical Process Principles Part I "Material and Energy Balances"*: A Hougen, Hal :433).

4.2.2 Pengaruh Venturi Scrubber Terhadap Nilai LHV (Low Heating Value) dari Syngas

Nilai LHV merupakan nilai kalor dari suatu bahan bakar (dalam hal ini gas) dimana kandungan uap airnya sudah tidak ada lagi (dalam basis kering). Nilai LHV ini juga sering disebut NHV (*Nett Heating Value*) atau nilai kalor bersih. Nilai LHV dalam *syngas* ini dipengaruhi oleh analisa komposisi *syngas* yaitu gas mampu bakar, yaitu CO, CH_4 dan H_2 . Nilai LHV ini akan mempengaruhi nilai kalor dari suatu pengujian. Nilai LHV yang didapatkan pada penelitian ini merupakan hasil perkalian dari jumlah komposisi *syngas* (berdasarkan analisa komposisi gas) dengan nilai LHV gas (berdasarkan *Data compiled from Jenkins, in Kitani and Hakk, 1989, dalam Kurniawan, 2012*). Nilai LHV pada Tabel 12 menunjukkan bahwa nilai LHV untuk CH_4 sebesar $35,88 \text{ MJ/m}^3$ sedangkan CO dan H_2 masing-masing $12,63 \text{ MJ/m}^3$ dan $10,78 \text{ MJ/m}^3$. Dari grafik terlihat terjadi peningkatan nilai LHV *syngas* setelah melewati *wet scrubber*. Sebelum melewati *wet scrubber* nilai LHV *syngas* sebesar $2,625 \text{ MJ/m}^3$ dan meningkat menjadi $2,987 \text{ MJ/m}^3$ setelah melewati *wet scrubber*. Peningkatan nilai LHV ini dipengaruhi oleh komposisi gas yang dihasilkan selama proses gasifikasi dan sudah dijelaskan pada pembahasan sebelumnya bahwa *syngas* yang melewati *wet scrubber* mengalami waktu reaksi (*residence time*) yang lebih lama di dalam *combustor gasifier* karena terhambat oleh laju alir air sehingga gas CH_4 lebih banyak dihasilkan.



Gambar 4.1 Grafik Efisiensi Kinerja Venturi Scrubber Terhadap Laju Aliran Air

Dari gambar 4.1 dapat dilihat terjadi peningkatan efisiensi. Semakin besar laju aliran air yang digunakan, maka efisiensi akan semakin meningkat.

5. KESIMPULAN DAN SARAN

5.1 Kesimpulan

Dari hasil pengamatan dan pengujian yang telah dilakukan, maka diperoleh kesimpulan sebagai berikut :

1. Secara fungsional desain *venture wet scrubber* yang telah dirancang dan dibuat dapat bekerja menyerap tar pada *syngas* dengan laju alir air optimum sebesar $0,025 \text{ m}^3/\text{min}$ dimana pada kondisi ini *venturi wet scrubber* mampu menangkap 1,7 gram tar dan mampu menurunkan temperatur *syngas* sampai 30°C serta memiliki tingkat efisiensi sebesar 70,103% .
2. *Syngas* yang dihasilkan sebelum dan sesudah pemakaian *wet scrubber* mengalami perbedaan yang cukup signifikan masing-masing sebagai berikut ; CO 10,15%, sebesar 9,05%; H_2 3,74% sebesar 3,43% dan CH_4 2,62% sebesar 4,11% yang disebabkan oleh laju alir *syngas* yang keluar dari *gasifier* terhambat oleh laju alir air sehingga waktu reaksi (*residence time*) dalam *gasifier* menjadi lebih lama yang membuat proses reduksi menjadi optimal.
3. Nilai LHV (*Low Heating Value*) meningkat setelah melewati *venturi scrubber* yang pada kondisi sebelumnya sebesar $2,625 \text{ MJ/m}^3$ menjadi $2,987 \text{ MJ/m}^3$.

DAFTAR PUSTAKA

Bassu ,Prabir. 2010. *Biomass Gasification and Pyrolysis : Practical Design*.UK

Direktorat Jenderal Perkebunan. 2012. *Produksi Karet Menurut Provinsi di Seluruh Indonesia*.www.deptan.go.id

Gumanti,Ardyan Humala. 2012. *Studi Kandungan Tar Pada Updraft Gasifier Dengan Double Syngas Outlet Menggunakan Bahan Bakar Kayu Karet*.

Handika, Allin Indri. 2009. *Studi Gasifikasi Batubara Menggunakan Gasifier Unggun Tetap Aliran Keatas*. Universitas Sriwijaya : Indralaya

Hougen, Olaf A. , *at al*. 1961. *Chemical Process Principle Part 1 Material and Energy Balance*. Charles E. Tuttle Company : Tokyo

Khairumizan, Panji. 2008. *Studi Eksperimental Implementasi Venturi Scrubber Pada Sistem Gasifikasi Batubara*. Universitas Indonesia : Depok

Kurniawan. 2012. *Karakteristik Konvensioanl Updraft Gasifier Dengan Menggunakan Bahan Bakar Kayu Karet Melalui Pengujian Variasi Flow Rate Udara*. Universitas Indonesia : Depok

Mc Cabe, *et al*. 1993. *Unit Operations of Chemical Engineering Fifth Edition*. Mc. Graw Hill Inc. : Singapore

Nurtian, Irvan.2007. *Perancangan Reaktor Gasifikasi Sekam Sistem Kontinu*. Institut Teknologi Nasional : Bandung

Pahlevi, Reda. 2012. *Skripsi : Pengaruh Laju Aliran Udara Primer dan Laju Aliran Air terhadap Temperatur Gas Mampu Bakar (Gas Produser) pada Sistem Gas Cleaning Gaifikasi Downdraft*. Universitas Indonesia : Depok

Rinovianto, Guswendar. 2012. *Karateristik*

Gasifikasi Pada Updraft Double Outlet Gasifier Menggunakan Bahan Bakar Kayu Karet. Universitas Indonesia : Depok

Rifki, Mochammad A. 2012. *Jurnal Sarjana Institut Teknologi Bandung Vol. 1 No.3 : Analisa Teknis Dan Ekonomi Pembangunan Pembangkit IGCC Berbahan Bakar Batubara Dengan CCS Di Propinsi DKI Jakarta*. Institut Teknologi Bandung: Bandung

Universitas Indonesia : Depok Hall, D.O. Overend.R.P. 1987. *Biomass Renerable Energy*.Great Britain. 1987.

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

