

CO-GASIFIKASI SISTEM *DOWNDRAFT* (DITINJAU DARI PENGARUH LAJU ALIR UDARA BAHAN BAKAR TERHADAP PRODUK SYNGAS)

CO-GASIFICATION *DOWNDRAFT* SYSTEM (VIEWED FROM FUEL FLOW AIR TOWARD SYNGAS PRODUCT)

Sutini Pujiastuti L¹, Zulkarnain¹, Rahmat Hidayat^{*1}, Seppy Fajriani¹
¹Jurusan Teknik Kimia Program Studi Sarjana Terapan Teknik Energi
 Politeknik Negeri Sriwijaya, Jalan Sriwijaya Negara Bukit Besar Palembang
 E-mail : zulkarnainstmt@gmail.com, *rhidayat223@gmail.com, seppyfajriani@gmail.com

Abstract

The potential of coal is large enough in Indonesia spur to do the increased utilization, one of them in the form of gasifikasi. Gasifikasi coal is one form of utilization of natural resources that continue to be developed because of its abundant potential. However, the process of gasification with coal fuel generates a lot of CO₂ emissions and NO_x and SO_x pollutants. Therefore, to reduce the amount of emissions produced is a combination of fuel in the gasification process by utilizing biomass (coconut shell and wood waste). Mixing coal and biomass is expected to increase the calorific value and reduce the emissions produced. This research was conducted to get the product of syngas with good flame in fire tube test. In this research, the changed variable is air flow rate with valve opening with 60% : 9.11 m³/hr, 70% : 10.02 m³/hr, 80% : 10.93 m³/hr, 90% : 11.48 m³/hr, 100% : 12.37 m³/hr and comparison of fuel composition used and time operating as fixed variable. Based on the research, it is known that air flow rate of fuel that have good quality with caloric and best flame on 9,11 m³/hr which have red characteristic with stable.

Keyword: Co-gasification, downdraft, coal, wood waste, coconut shell, syngas

PENDAHULUAN

Batubara sebagai salah satu sumber energi konvensional selain minyak dan gas bumi masih banyak di manfaatkan sebagai bahan bakar terutama pada pembangkit listrik tenaga uap dengan pembakaran secara langsung. Tetapi, batubara bukanlah bahan bakar yang ramah lingkungan. Terikat di dalamnya adalah sulfur dan nitrogen, bila batu bara ini terbakar kotoran-kotoran ini akan dilepaskan ke udara, bila mengapung di udara zat kimia ini dapat menggabung dengan uap air (seperti contoh kabut) dan tetesan yang jatuh ke tanah seburuk bentuk asam sulfurik dan nitrit, disebut sebagai hujan asam.

Indonesia sebagai negara agraris tentunya mempunyai potensi biomassa yang cukup luas, terutama limbah yang dihasilkan dari sektor pertanian dan perkebunan seperti sekam padi, tempurung kelapa, cangkang sawit, dll. Sebagai sumber energi, biomassa memiliki beberapa keunggulan terutama dari sifat terbarukan dan ramah lingkungan. Biomassa merupakan salah satu energi terbarukan yang memiliki sumber cadangan besar di Indonesia.

Co-gasification merupakan suatu proses konversi bahan bakar padat menjadi gas dari dua material yang berbeda secara bersamaan agar emisi dari pembakaran suatu bahan bakar fosil dapat dikurangi. *Co-gasification* batubara dan biomassa menyebabkan menurunnya emisi CO₂ dan jumlah

polutan NO_x dan SO_x dari bahan bakar fosil. Gasifikasi secara nyata mempunyai tingkat emisi udara, kotoran padat dan limbah terendah serta menghasilkan produk gas yang lebih baik (Primantara, dkk. 2014).

Salah satu biomassa yang dapat digunakan untuk co-gasifikasi bersama dengan batubara adalah limbah tempurung kelapa karena memiliki kandungan C, H, N yang cukup tinggi. Dikutip dari laman databoks.katadata.co.id, pada 2016 produksi kelapa di Indonesia mencapai 18,3 juta ton dan ini merupakan yang tertinggi di dunia. Tingginya produksi kelapa di Indonesia secara garis lurus akan meningkatkan juga produksi limbah tempurung kelapa. Kekuatan Indonesia sebagai negara penghasil kelapa terbesar di dunia masih kurang dimaksimalkan terutama pemanfaatan limbah yang dihasilkan dari tanaman tersebut, yakni tempurungnya. Bagian kelapa yang apabila tidak dimanfaatkan dapat menjadi masalah penting. Pemanfaatan tempurung kelapa di masyarakat belum begitu luas penggunaannya, baru terbatas pada pembakaran secara langsung dan bahan baku kerajinan tangan.

Sementara itu, pada industri penggergajian kayu menghasilkan limbah yang berupa serbuk gergaji 10,6%, sebetan 25,9% dan potongan 14,3% dengan total limbah sebesar 50,8% dari jumlah bahan baku yang digunakan. Produksi total kayu gergajian Indonesia mencapai 2,6 juta m³ pertahun. Asumsi

bahwa jumlah limbah yang terbentuk 54,24% dari produksi total, maka dihasilkan limbah penggergajian kayu sebanyak 1,4 juta m³ per tahun. Angka tersebut cukup besar karena mencapai sekitar separuh dari produksi kayu gergajian (Firotin, 2007).

Indonesia merupakan salah satu negara yang memiliki potensi batubara yang cukup besar. Jumlah sumber batubara di Indonesia pada tahun 2010 tercatat 105,187 miliar ton dengan cadangan 21,131 miliar ton (Ariyono, 2011). Jumlah cadangan batubara, limbah kayu dan tempurung kelapa yang melimpah dan kurang dimanfaatkan sehingga cara untuk memanfaatkan tempurung kelapa dan batubara dapat dikelola menjadi *syngas* dan menghasilkan produk samping berupa arang campuran tempurung kelapa (Sudjud, 2013).

Co-gasification (pencampuran) dua bahan bakar atau lebih menggunakan biomassa dengan batubara dapat meningkatkan nilai kalor selama proses konversi energi juga dapat mengendalikannya kandungan *Volatile Matter* (VM) yang tinggi dari biomassa dan tempurung kelapa (Primantara, dkk. 2014). *Co-gasification* biomassa dengan batubara diharapkan dapat menurunkan emisi CO₂ dan jumlah polutan No_x dan So_x dari bahan bakar fosil (Nyoman, 2014).

Gasifikasi merupakan sistem pengolahan biomassa yang memanfaatkan gas hasil pembakaran yang terjadi pada biomassa, bahan bakar dipanaskan dan dibakar dengan keadaan oksigen 1/3 dari jumlah oksigen yang dibutuhkan untuk pembakaran penuh. Proses ini menghasilkan gas utama yang dapat dibakar seperti H₂, CH₄, dan CO (Primantara, dkk. 2014). Daerah-daerah tersebut adalah: pengeringan, pirolisis, oksidasi, dan reduksi. Masing-masing daerah terjadi pada rentang suhu antara 25°C hingga 150°C, 150°C hingga 600°C, 600°C hingga 900°C, dan 800°C hingga 1400°C (Luby, 2003).

Bahan baku yang digunakan pada proses gasifikasi adalah campuran batubara dengan biomassa (tempurung kelapa dan limbah kayu). Pengaruh bukaan valve laju alir udara pada proses gasifikasi terhadap, stabilitas dan warna nyala api, serta lama waktu nyala api *syngas*.

TINJAUAN PUSTAKA

Biomassa

Biomassa merupakan produk fotosintesa dimana energi yang diserap digunakan untuk mengkonversi karbon dioksida dengan air menjadi senyawa karbon, hidrogen, dan oksigen. Biomassa bersifat mudah didapatkan, ramah lingkungan dan terbarukan.

Tempurung Kelapa

Tempurung kelapa merupakan salah satu limbah biomassa yang memiliki potensi yang cukup melimpah di Indonesia. Tempurung kelapa memiliki komposisi kimia mirip dengan kayu, mengandung lignin, pentosa, dan selulosa. Untuk lebih jelas

komposisi tempurung kelapa dapat dilihat pada Tabel 1 dibawah ini.

Tabel 1. Analisis Proksimat, Ultimat dan Nilai Kalor dari Tempurung Kelapa

Analisa Proximat	(% Berat)
Moisture	5,3
Volatile Matter	70,7
Ash	6,26
Fixed Carbon	17,54
LHV (kJ/Kg)	22.000
Analisa Ultimat	(% Berat)
C	47,59
H	6
O	45,52
N	0,22
S	0,05

Sumber : Vidian, 2008

Limbah Kayu

Salah satu alternatif yang dapat dilakukan dalam menggantikan bahan bakar fosil adalah dengan mengkonversikan biomassa menjadi gas yaitu dengan cara gasifikasi. Sebagai contoh bahan yang dapat digunakan adalah limbah kayu. Limbah kayu, mudah diperoleh dan dapat terbarukan. Bahan ini juga banyak terdapat di Indonesia sebagai negara yang kaya akan kayu hutan.

Tabel 2. Analisis Proksimat, Ultimat dan Nilai Kalor dari Limbah Kayu Merawan

Analisa Proximat	(% Berat)
Moisture	8,69
Volatile Matter	77,33
Ash	2,28
Fixed Carbon	11,7
LHV (kJ/Kg)	14.880
Analisa Ultimat	(% Berat)
C	43,01
H	6,42
O	39,6
N	0,17
S	0,02

Sumber : Ardianto, 2015

Batubara

Batubara adalah salah satu bahan bakar fosil. Pengertian umumnya adalah batuan sedimen yang dapat terbakar, terbentuk dari endapan organik, utamanya adalah sisa-sisa tumbuhan dan terbentuk

melalui proses pembatubaraan. Unsur-unsur utamanya terdiri dari karbon, hydrogen dan oksigen.

Tabel 3. Analisis Proksimat, Ultimat dan Nilai Kalor dari Batubara Lignit

Analisa Proximat	(% Berat)
Moisture	36,9
Volatile Matter	24,9
Ash	10,4
Fixed Carbon	27,8
LHV (kJ/Kg)	14.880
Analisa Ultimat	(% Berat)
C	71
H	4,3
O	23,2
N	1,1
S	0,4

Sumber : Ardianto, 2015

Gasifikasi

Gasifikasi adalah suatu proses konversi bahan bakar padat menjadi gas mampu bakar (CO, CH₄, dan H₂) melalui proses pembakaran dengan suplai udara terbatas (20%-40% udara stoikiometri) (Guswendar, 2012).

Proses Gasifikasi

1. Proses Pengeringan (*Drying*)

Reaksi ini terletak pada bagian atas reaktor dan merupakan zona dengan temperatur paling rendah di dalam reaktor yaitu berkisar antara 100°C-150°C. Proses pengeringan ini sangat penting dilakukan agar pengapian pada burner dapat terjadi lebih cepat dan lebih stabil.

2. Proses Pirolisis

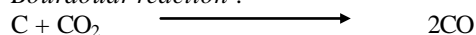
Pada pirolisis, pemisahan volatile matters (uap air, cairan organik, dan gas yang tidak terkondensasi) dari padatan karbon bahan bakar menggunakan panas yang diserap dari proses oksidasi sehingga pirolisis (devolatilisasi) disebut juga gasifikasi parsial. Suatu rangkaian proses fisik dan kimia terjadi selama proses pirolisis. Proses pirolisis pada bahan bakar terbentuk pada temperatur antara 150°C sampai 700°C di dalam reaktor. Proses pirolisis menghasilkan produk berupa arang atau karbon, tar, gas (CO₂, H₂O, CO, C₂H₂, C₂H₄, C₂H₆, dan C₂H₆).

3. Proses Reduksi

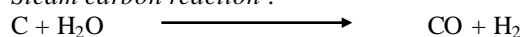
Reduksi melibatkan suatu rangkaian reaksi endotermik yang disokong oleh panas yang diproduksi dari reaksi pembakaran. Reaksi reduksi terjadi antara temperatur 500°C sampai

1000°C. Pada reaksi ini, arang yang dihasilkan melalui reaksi pirolisis tidak sepenuhnya karbon tetapi juga mengandung hidrokarbon yang terdiri dari hidrogen dan oksigen. Proses reaksi tersebut adalah sebagai berikut :

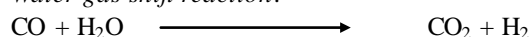
Bourdouar reaction :



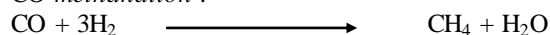
Steam-carbon reaction :



Water-gas shift reaction:

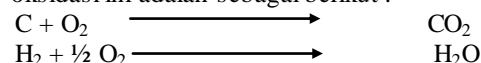


CO methanation :



4. Proses Oksidasi

Proses pembakaran mengoksidasi kandungan karbon dan hidrogen yang terdapat dalam bahan bakar dengan reaksi eksotermik, sedangkan gasifikasi mereduksi hasil pembakaran menjadi gas bakar dengan reaksi endotermik. Oksidasi merupakan reaksi terpenting di dalam reaktor gasifikasi karena reaksi ini menyediakan seluruh energi panas yang dibutuhkan pada reaksi endotermik. Proses ini terjadi pada temperatur yang relatif tinggi, umumnya berkisar antara 700°C sampai 1500°C. Oksigen yang dipasok ke dalam reaktor bereaksi dengan substansi yang mudah terbakar yang menghasilkan produk berupa CO₂ dan H₂O yang secara berurutan direduksi ketika kontak dengan arang yang diproduksi pada proses pirolisis. Produk lain yang dihasilkan dalam reaksi oksidasi berupa air, panas, cahaya, N₂ dan gas lainnya (SO₂, CO, NO₂, dan lain-lain). Adapun reaksi kimia yang terjadi pada proses oksidasi ini adalah sebagai berikut :



Jenis Reaktor

1. **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.

2. **Downdraft Gasifier** merupakan reaktor gasifikasi yang manabahan 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.

3. **Crossdraft Gasifier** merupakan *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.

Warna Nyala Api

1. Api berwarna merah /kuning ini biasanya bersuhu dibawah 1000 derajat celcius.
2. Api berwarna biru merupakan api yang mungkin sering kita jumpai di dapur. Rata-rata suhu api yang berwarna biru kurang dari 2000 derajat celcius.
3. Nyala api ini merupakan api paling panas yang ada di bumi. Warna putihnya itu dikarenakan suhunya melebihi 2000 derajat celcius.
4. Nyala api yang paling panas itu berwarna Hitam, dan api hitam murni yang sesungguhnya sangat jarang ditemukan di bumi.

METODOLOGI PENELITIAN

Perlakuan dan Rancangan Percobaan

Variabel tetap pada penelitian ini adalah perbandingan komposisi campuran bahan bakar sebanyak 50%:50% dan variabel bebasnya adalah laju alir udara dengan persen bukaan katup valve udara masuk. Permasalahan yang akan dikaji pada penelitian ini adalah pengaruh variasi laju alir udara dengan bukaan katup sebesar 60% : 9,11 m³/jam, 70% : 10,02 m³/jam, 80% : 10,93 m³/jam, 90% : 11,48 m³/jam, 100% : 12,37 m³/jam terhadap kualitas nyala api serta neraca massa *syngas* hasil penelitian.

Tempat dan Waktu Penelitian

Waktu penelitian dilakukan pada bulan 5 Juli 2017 sampai 5 Agustus 2017 di Laboratorium Teknik Energi Politeknik Negeri Sriwijaya Palembang.

Prosedur Percobaan

A. Proses Start Up dan Proses Gasifikasi

Dalam tahap ini dilakukan proses ignisasi awal dimana bahan bakar mengalami proses awal pembakaran untuk mentransmisikan panas ke proses selanjutnya sehingga didapat proses pembakaran yang berkelanjutan hingga dihasilkan *syngas* hasil dari gasifikasi. Adapun langkah-langkah yang dilakukan pada tahapan ini adalah sebagai berikut :

1. Memasukkan 5 kg biomassa kedalam *gasifier*
2. Memasukkan 5 kg batubara kedalam *gasifier*
3. Menekan tombol power on pada *control panel*.

4. Menghidupkan *blower* dengan menekan tombol *blower* pada *control panel*.
5. Menghidupkan pemantik butan.
6. Menunggu sampai tempurung kelapa dan batubara menjadi bara.
7. Membuka *valve* pada *outlet syngas* bagian atas dan menutup bagian bawah dan *valve* umpan.
8. Menunggu sampai muncul asap pekat pada *stack gas*.
9. Menguji *fire test* pada *stack gas* sehingga diperoleh nyala api konstan selama ± 15 menit.
10. Pada saat api mulai nyala waktu ini disebut waktu ke-0.
11. Mengambil data temperatur pada *gasifier*, temperatur *furnace* dan temperatur nyala api, sampel *syngas* setiap 5 menit selama 60 menit.
12. Melanjutkan penelitian dengan variasi bukaan katup 60%, 70%, 80%, 90%, 100%.

B. Mematikan Gasifier

1. Menutup semua *valve*.
2. Tetap menyalakan *blower* untuk mengeluarkan semua asap dan residu yang masih tersisa dalam reaktor.
3. Mengeluarkan sisa pembakaran dan abu dari ruang penampungan abu, kemudian menimbangnya.
4. Membersihkan bagian dalam reaktor dan *burner* untuk menghindari tar yang mengeras setelah reaktor dingin.

Tahap Pengukuran

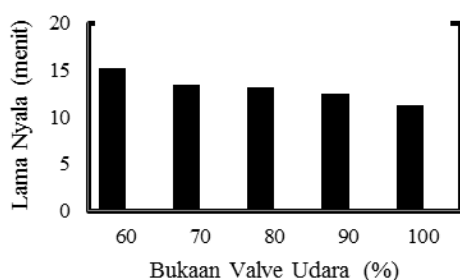
A. Pengukuran Temperatur pada Reaktor Gasifier

Pengukuran temperatur dimulai saat terbentuknya api pada *burner* (waktu ke-0). Pengukuran temperatur dilakukan setiap 5 menit sekali selama 60 menit dan mencatat temperatur yang terdapat pada *control panel*, sedangkan untuk pengukuran temperatur pada nyala api dengan menggunakan termogan pada nyala api.

PEMBAHASAN

Pengaruh Laju Alir Udara terhadap Lama Nyala Api Syngas

Pada penelitian gasifikasi dengan reaktor *downdraft* ini, unjuk kerja proses gasifikasi dapat dilihat dari karakteristik nyala api berupa lama nyala api *syngas* yang dihasilkan. Lamanya waktu nyala api *syngas* dengan bahan bakar campuran batubara dan tempurung kelapa dipengaruhi oleh besarnya bukaan valve laju alir udara yang ditunjukkan pada Gambar 1.

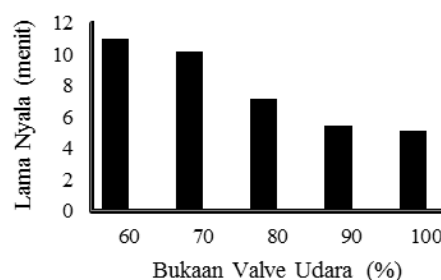


Gambar 1. Grafik Hubungan Variasi Laju Alir Udara Terhadap Lama Nyala Api *Syngas* (Batubara dan Tempurung Kelapa)

Gambar 1. menunjukkan hubungan persen bukaan *valve* terhadap lama nyala api *syngas* yang dihasilkan pada bahan bakar campuran batubara dan tempurung kelapa. Pada Gambar 1. tersebut dapat dilihat bahwa nyala api *syngas* secara keseluruhan bertahan selama 11-15 menit. Lama nyala api *syngas* menurun seiring dengan meningkatnya bukaan *valve* laju alir udara yang diterapkan. Pada bukaan *valve* laju alir udara yang terkecil, yakni sebesar 60%:9,11 m³/jam, dihasilkan api *syngas* yang menyala paling lama, yakni selama 15 menit 21 detik. Pada bukaan *valve* 70%:10,02 m³/jam dihasilkan api *syngas* yang menyala lebih lama, yakni selama 13 menit 44 detik. Lama nyala api semakin menurun hingga pada bukaan *valve* laju alir udara terbesar 100%:12,37 m³/jam yang menghasilkan lama nyala api *syngas* selama 11 menit 31 detik. Menurunnya lama nyala api *syngas* tersebut dipengaruhi oleh besarnya laju alir udara yang masuk *gasifier* sehingga mempengaruhi juga jumlah *flammable gas* yang dihasilkan. Jumlah udara yang tinggi akan menjadikan pembakaran menjadi pembakaran sempurna sehingga menurunkan jumlah *flammable gas* pada *syngas*.

Menurut penelitian sebelumnya yaitu Hadi dkk (2013) menunjukkan bahwa peningkatan nilai rasio udara-bahan bakar (*Air Fuel Ratio*), akan meningkatkan suplai laju alir massa udara yang masuk ke dalam reaktor gasifikasi. Hal ini tentu saja mempengaruhi proses reaksi kimia pembentukan kandungan gas terbakar (*flammable gas*). Proses gasifikasi membutuhkan suplai udara terbatas sehingga kandungan gas terbakar (gas CO, H₂, CH₄ dan C₂H₆) akan cenderung menurun seiring suplai laju alir massa udara yang semakin meningkat. Sebaliknya (gas CO₂, O₂ dan N₂) akan meningkat dengan kenaikan suplai laju alir massa udara.

Lamanya waktu nyala api *syngas* dengan bahan bakar campuran batubara dan limbah kayu dipengaruhi oleh besarnya bukaan *valve* laju alir udara yang ditunjukkan pada Gambar 2.

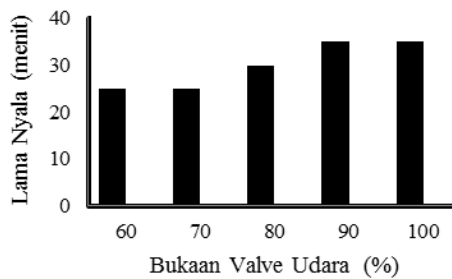


Gambar 2. Grafik Hubungan Variasi Laju Alir Udara Terhadap Lama Nyala Api *Syngas* (Batubara dan Limbah Kayu)

Gambar 2. menunjukkan hubungan persen bukaan *valve* terhadap lama nyala api *syngas* yang dihasilkan pada bahan bakar campuran batubara dan limbah kayu. Pada Gambar 2. tersebut dapat dilihat nyala api *syngas* secara keseluruhan bertahan selama 5-11 menit yang mengalami penurunan lama nyala api dibandingkan dengan menggunakan bahan baku batubara dan tempurung kelapa hal ini disebabkan karena kandungan LHV pada limbah kayu 14,88 % berat (Ardianato.2015) lebih rendah dibandingkan dengan tempurung kelapa 22% berat (Vidian.2008) pada penelitian sebelumnya yaitu Hadi dkk (2013) menunjukkan bahwa, nilai LHV *syn-gas* yang menurun seiring dengan peningkatan nilai rasio udara-bahan bakar (*Air Fuel Ratio*). Peningkatan nilai rasio udara-bahan bakar (*Air Fuel Ratio*), akan meningkatkan suplai laju alir massa udara yang masuk ke dalam reaktor gasifikasi Hal ini tentu saja mempengaruhi proses reaksi kimia pembentukan kandungan gas terbakar (*flammable gas*). Sama seperti pada bahan bakar campuran batubara dan tempurung kelapa, lama nyala api *syngas* pada bahan bakar campuran batubara dan limbah kayu juga menurun seiring dengan meningkatnya bukaan *valve* laju alir udara yang diterapkan. Pada bukaan *valve* laju alir udara terkecil, yakni sebesar 60%:9,11 m³/jam, dihasilkan api *syngas* yang menyala paling lama, yakni selama 11 menit 03 detik. Pada bukaan *valve* 70%:10,02 m³/jam dihasilkan api *syngas* yang menyala lebih lama, yakni selama 10 menit 23 detik. Lama nyala api semakin menurun hingga pada bukaan *valve* laju alir udara terbesar 100%:12,37 m³/jam yang menghasilkan lama nyala api *syngas* selama 5 menit 11 detik.

Pengaruh Laju Alir Udara terhadap Kecepatan dan Warna Nyala Api *Syngas*

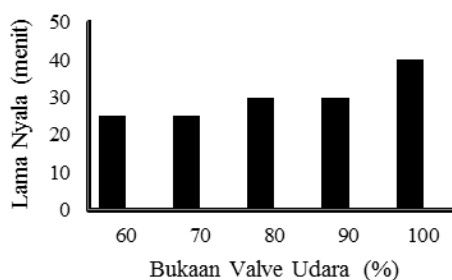
Selain lama nyala api *syngas*, unjuk kerja proses gasifikasi dapat juga dilihat dari karakteristik nyala api *syngas* berupa kecepatan nyala api *syngas* pada *fire tube test*. Kecepatan nyala api *syngas* bahan bakar campuran batubara dan tempurung kelapa dipengaruhi oleh besarnya bukaan *valve* laju alir udara yang ditunjukkan pada Gambar 3.



Gambar 3. Grafik Hubungan Perbandingan Laju Alir Udara Terhadap Kecepatan Nyala Api Syngas (Batubara dan Tempurung Kelapa)

Gambar 3. diatas menunjukkan hubungan persen bukaan valve laju alir udara terhadap kecepatan nyala api syngas yang dihasilkan pada bahan bakar campuran batubara dan tempurung kelapa. Pada Gambar 3. tersebut dapat dilihat bahwa api syngas mulai menyala pada separuh waktu operasi yakni pada menit ke 25 s.d. menit ke 35. Pada Gambar 3. tersebut juga dapat dilihat bahwa api pada fire tube test lebih cepat menyala seiring lebih sedikitnya jumlah laju alir udara yang diindikasikan pada bukaan valve. Pada bukaan valve laju alir udara terkecil, yakni sebesar 60%:9,11 m³/jam, api syngas menyala paling cepat, yakni pada menit ke 25. Pada bukaan valve 80%:10,93 m³/jam api syngas menyala lebih lama, yakni pada menit ke-30. Kecepatan nyala api semakin lama hingga pada bukaan valve laju alir udara terbesar 100%:12,37 m³/jam, api syngas menyala pada menit ke-35.

Kecepatan nyala api syngas bahan bakar campuran batubara dan limbah kayu dipengaruhi oleh besarnya bukaan valve laju alir udara yang ditunjukkan pada Gambar 4.



Gambar 4. Grafik Hubungan Perbandingan Laju Alir Udara Terhadap Kecepatan Nyala Api Syngas (Batubara dan Limbah Kayu)

Gambar 4. diatas menunjukkan hubungan persen bukaan valve laju alir udara terhadap kecepatan nyala api syngas yang dihasilkan pada bahan bakar campuran batubara dan limbah kayu. Pada Gambar 4. tersebut dapat dilihat bahwa api syngas mulai menyala pada separuh waktu operasi yakni pada menit ke 25 s.d. menit ke 40. Pada Gambar 4. tersebut juga dapat dilihat bahwa api pada

fire tube test lebih cepat menyala seiring lebih sedikitnya jumlah laju alir udara yang diindikasikan pada bukaan valve. Pada bukaan valve laju alir udara terkecil, yakni sebesar 60%:9,11 m³/jam, api syngas menyala paling cepat, yakni pada menit ke 25. Pada bukaan valve 80%:10,93 m³/jam api syngas menyala lebih lama, yakni pada menit ke-30. Kecepatan nyala api semakin lama hingga pada bukaan valve laju alir udara terbesar 100%:12,37 m³/jam, api syngas menyala pada menit ke-40.

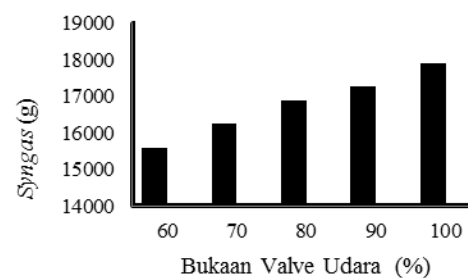
Hal ini dikarenakan semakin besar jumlah laju alir udara, akan menurunkan jumlah komposisi flammable gas yang dihasilkan. Hal ini tentu akan berakibat terhadap kualitas nyala api. Semakin sedikit flammable gas yang dihasilkan, akan semakin sulit menghasilkan nyala api dan apabila sudah menyala, warnanya akan kuning kemerahan. Warna api dipengaruhi oleh dua hal yaitu kandungan bahan bakar dan campuran udara yang ikut terbakar. Ketika api memiliki warna cenderung merah hal tersebut dapat diartikan bahwa bahan bakar tersebut memiliki nilai kandungan flammable gas (CO, H₂, CH₄) yang relative rendah, atau udara yang tercampur pada proses pembakaran hanya sedikit. Saat api berwarna kebiruan adalah sebaliknya yang mempresentasikan kandungan flammable gas (CO, H₂, CH₄) yang ada tinggi (Stephen, 1996).



Gambar 5. Visualisasi Nyala Api Berwarna Merah

Pengaruh Laju Alir Udara terhadap Produk Syngas

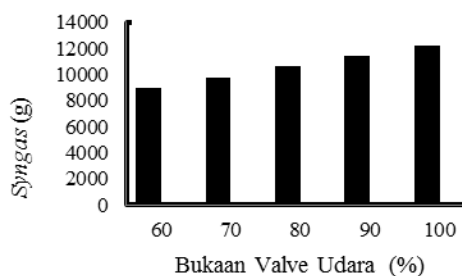
Perbandingan laju alir udara berdasarkan bukaan valve memberikan pengaruh terhadap pembentukan syngas sebagaimana di gambarkan pada Gambar 6. untuk bahan bakar campuran batubara dan tempurung kelapa.



Gambar 6. Grafik Hubungan Perbandingan Laju Alir Udara Terhadap Produk Syngas (Batubara dan Tempurung Kelapa)

Gambar 6. diatas menunjukkan hubungan persen bukaan *valve* laju alir udara terhadap jumlah *syngas* yang dihasilkan pada bahan bakar campuran batubara dan tempurung kelapa. Jumlah *syngas* yang dihasilkan meningkat seiring bertambahnya jumlah laju alir udara yang digunakan, maka jumlah *syngas* mengalami peningkatan dari bukaan *valve* 60%-100%. Jumlah *syngas* tertinggi pada bukaan *valve* 100% dengan bahan baku batubara dan tempurung kelapa jumlah *syngas* sebanyak 17.920 g. jumlah *syngas* yang dihasilkan meningkat disebabkan karena laju alir udara yang meningkat akan meningkatkan jumlah N_2 masuk gasifier sehingga *syngas* yang dihasilkan akan meningkat pula, karena N_2 merupakan gas inert yang tidak bereaksi namun jumlah jumlah *flammable gas* yang dihasilkan akan menurun. Hal tersebut dikarenakan semakin besar jumlah udara yang disuplai menyebabkan pembakaran menjadi sempurna, sehingga kandungan *flammable gas* seperti semakin sedikit. Sebaliknya, kandungan *uncombustible gas* (CO_2 , O_2 , N_2) akan semakin besar.

Perbandingan laju alir udara berdasarkan bukaan *valve* memberikan pengaruh terhadap pembentukan *syngas* sebagaimana di gambarkan pada Gambar 6. untuk bahan bakar campuran batubara dan tempurung kelapa.



Gambar 7. Grafik Hubungan Perbandingan Laju Alir Udara Terhadap *Syngas* (Batubara dan Limbah Kayu)

Gambar 7. diatas menunjukkan hubungan persen bukaan *valve* laju alir udara terhadap jumlah *syngas* yang dihasilkan pada bahan bakar campuran batubara dan limbah kayu. Pada bahan baku batubara dan limbah kayu jumlah *syngas* yang dihasilkan juga meningkat seiring bertambahnya jumlah laju alir udara yang digunakan, maka jumlah *syngas* mengalami peningkatan dari bukaan *valve* 60%-100%. Jumlah *syngas* tertinggi pada bukaan *valve* 100% dengan bahan baku batubara dan limbah kayu jumlah *syngas* sebanyak 12.222 g. jumlah *syngas* yang dihasilkan meningkat disebabkan karena laju alir udara yang meningkat akan meningkatkan jumlah N_2 masuk gasifier sehingga *syngas* yang dihasilkan akan meningkat pula, karena N_2 merupakan gas inert yang tidak bereaksi namun jumlah jumlah *flammable gas* yang dihasilkan akan menurun. Hal tersebut dikarenakan semakin besar jumlah udara yang disuplai menyebabkan pembakaran menjadi

sempurna, sehingga kandungan *flammable gas* seperti semakin sedikit. Sebaliknya, kandungan *uncombustible gas* (CO_2 , O_2 , N_2) akan semakin besar.

KESIMPULAN

Dari hasil penelitian co-gasifikasi batubara-tempurung kelapa menggunakan seperangkat alat gasifikasi sistem *downdraft* dengan tinjauan pengaruh laju alir udara terhadap produksi *syngas* yang telah dilakukan analisa dan perhitungan, dapat disimpulkan bahwa:

1. Nyala api *syngas* pada penelitian ini bertahan selama 11-15 menit untuk bahan baku batubara dan tempurung kelapa sedangkan pada bahan baku batubara dan limbah kayu nyala api *syngas* bertahan selama 5-11 menit
2. Proses co-gasifikasi dengan bahan baku batubara dan tempurung kelapa memiliki kandungan *syngas* yang lebih tinggi dan dibandingkan dengan bahan baku batubara dan limbah kayu, yaitu pada bukaan *valve* laju alir udara dengan bahan baku batubara dan tempurung kelapa jumlah *syngas* 17.920 g sedangkan pada bahan baku batubara dan limbah kayu jumlah *syngas* 12.222 g.

DAFTAR PUSTAKA

- Ardianto, Ferry. 2015. *LHV*. Laboratorium PSE ITS. Indonesia
- Ariyono, B.G.2011. *Indonesia Coal Mining Up Date*. International Synposium Clean Coal Day in Japan 2011. Japan Coal Energy Center.:Japan
- Budiono, Chayun.2003.*Tantangan dan Peluang Usaha Pengembangan Energi Terbarukan di Indonesia*. Konvensi Kelistrikan Indonesia:Jakarta
- Fitrotin. U. 2007. *Pemanfaatan Limbah Gergaji Kayu Sebagai Pendukung Bahan Bakar Industri Kripik Singkong Skala Rumah Tangga*. Balai Pengkajian Teknologi Pertanian Nusa Tenggara Barat.
- Guswendar. 2012. *Karakteristik Gasifikasi*. Fakultas Teknik Universitas Indonesia: Jakarta
- Hadi, Sholehul dan Sudjud Darsopusito.2013. *Pengaruh Variasi Perbandingan Udara-Bahan Bakar Terhadap Kualitas Api Pada Gasifikasi Reaktor Downdraft dengan Suplai Biomass Serabut Kelapa Secara Kontinyu*. JURNAL TEKNIK POMITS Vol. 2, No. 3, (2013) ISSN: 2337-3539.
- Komar. A. 1984. *Teknologi Pengolahan Jerami*. Yayasan Dian Grahita. Indonesia

- Luby, Peter. 2003. *Advanced System in Biomass Gasification-Commerical Reality and Outlook*. Bratislava:Paper the III International Slovak Biomass Forum.
- Najib, Lailun dan Sudjud Darsopuspito.2012. *Karakterisasi Proses Gasifikasi Biomassa Tempurung Kelapa Sistem Downdraft Kontinyu dengan Variasi Perbandingan Udara-Bahan Bakar (AFR) dan Ukuran Biomassa*.JURNAL TEKNIK ITS Vol.1,No.1.(Sept.2012)ISSN:2301-9271.
- Primantara, I Putu Angga Sukma, I Nyoman Suprpta Winaya, dan I Made Widiyarta. 2014. *Fluidized Bed Gasification Berbahan Bakar Biomassa dan Batubara dengan Variasi Komposisi Bahan Bakar*. JURNAL LOGIC.Vol.14.No.3. Nopember 2014.
- Stephen R, Turn. 1996. *An Introduction to Combustion Concepts and Applications*. Mc Graw-Hill Book Co: Singapore.
- Vidian, Fajri. 2008. Gasifikasi Tempurung Kelapa Menggunakan updraft Gasifier pada Beberapa Variasi Laju Alir Udara Pembakaran. Fakultas Teknik Universitas Sriwijaya: Palembang.
- Wi , Dadang.2015. *Tempurung Kelapa*. Diambil dari <https://kelapaindonesia2020.wordpress.com/produk-dari-kelapa/arang-tempurung/> (26 Juli 2017)