

# RANCANG BANGUN ALAT GASIFIKASI SISTEM *UPDRAFT* DOUBLE GAS OUTLET BERBAHAN BAKAR BIOMASSA (TEMPURUNG KELAPA) DENGAN PENGARUH LAJU ALIR UDARA PEMBAKARAN TERHADAP PRODUK SYNGAS

Sairul Effendi<sup>1)</sup>, Azharuddin<sup>2)</sup>, Gybson Pramedian<sup>3)</sup>

<sup>1)2)</sup> Staf Pengajar Jurusan Teknik Mesin Politeknik Negeri Sriwijaya

<sup>3)</sup> Mahasiswa Jurusan Teknik Kimia Program Studi DIV Teknik Energi

Jl. Sriwijaya Negara Bukit Besar Palembang 30139 Telp: 0711-353414 Fax: 0711-453211

E-mail: aminromlie@yahoo.com

## Abstrak

*Tempurung kelapa merupakan salah satu limbah biomassa yang berpotensi untuk dapat menghasilkan energy. Salah satu teknologi potensial untuk pemanfaatan tempurung kelapa menjadi sumber energi adalah teknologi gasifikasi. Gasifikasi adalah proses pengkonversian bahan bakar padat menjadi gas mampu bakar (CO, CH<sub>4</sub>, H<sub>2</sub>) melalui proses pembakaran dengan suplai udara terbatas yaitu antara 20% hingga 40% udara stoichiometri. Pada penelitian ini akan dilakukan proses gasifikasi tempurung kelapa dengan menggunakan alat gasifikasi sistem updraft double gas outlet menggunakan laju alir udara 70,1 lpm, 91,4 lpm dan 122,4 lpm untuk menghasilkan gas mampu bakar. Hasil penelitian menunjukkan Komposisi gas mampu bakar yang paling tinggi yaitu komposisi gas CO sebesar 22,57%, 22,90% dan 23,77%, dibanding komposisi gas H<sub>2</sub> dan CH<sub>4</sub> yaitu masing-masing sebesar 11,41%, 11,91%, 12,25%; 1,28%, 1,59%, dan 1,93%, dan dengan penambahan laju alir udara 70,1 lpm, 90,4 lpm, dan 122,4 lpm akan meningkatkan efisiensi gasifikasi sebesar 29,23 %, 37,67 %, 50,91 % dan juga meningkatkan persen konversi gas sebesar 44,98 %, 56,25%, 76,18%.*

**Kata kunci :** *Gasifikasi, tempurung kelapa, updraft double gas outlet, laju alir udara, persen konversi gas.*

## Abstract

*Coconut shell is one of biomass waste which able to produce energy potentially. One of a potential technology is to exploit coconut shell is gasification technology. Gasification is a solid fuel conversion process becomes syngas (CO, CH<sub>4</sub>, H<sub>2</sub>) through burning process by limited air supplied about 20% until 40% stoichiometri air. In this research, it will be done coconut shell gasification process by gasification tool that uses updraft double gas outlet system through air flowrate 70,1 lpm, 90,4 lpm, and 122,4 lpm to produce syngas. The result of the research showed that the higher composition gas of syngas was CO, about 22,57%, 22,90% and 23,77%, than H<sub>2</sub> and CH<sub>4</sub> which was about 11,41%, 11,91%, 12,25%; 1,28%, 1,59%, and 1,93%, also by adding the air flowrate 70,1 lpm, 90,4 lpm, and 122,4 lpm would integrate the efficiency of gasification was about 29,23 %, 37,67 %, 50,91 % and the percentage of gas conversion was about 44,98 %, 56,25%, 76,18%.*

**Key words:** *Gasification, coconut shell, updraft double gas outlet, air flowrate, percentage of gas conversion.*

## 1. PENDAHULUAN

Indonesia merupakan negara yang memiliki kekayaan alam yang melimpah akan keanekaragaman flora dan faunanya. Kekayaan alam tersebut memiliki potensi untuk diolah menjadi sumber energi

terbarukan yang dapat mendukung langkah pemerintah untuk melakukan diversifikasi energi. Salah satu sumber energi terbarukan adalah biomassa. Biomassa adalah segala material organik yang terkandung dalam tumbuh-tumbuhan yang ada di darat maupun di laut (Irvan Nurtian, 2007).

Salah satu sumber biomassa yang dapat digunakan sebagai sumber energi yaitu tempurung kelapa. Tempurung kelapa merupakan salah satu biomassa yang berpotensi untuk dapat menghasilkan *energy*. Dikarenakan jumlah produksi tempurung kelapa yang sangat banyak dan hanya menjadi limbah pertanian. Pemanfaatannya juga saat ini hanya sebatas digunakan untuk pembakaran langsung dan digunakan sebagai arang, maka dari itu perlu dilakukan langkah-langkah lain untuk memanfaatkan tempurung kelapa sebagai sumber energi. Selain untuk mengatasi masalah limbah tempurung kelapa, pemanfaatan tempurung kelapa menjadi energi juga bermanfaat untuk menaikkan nilai ekonomis dari tempurung kelapa tersebut. Tempurung kelapa merupakan bagian buah kelapa yang fungsinya secara biologis adalah pelindung inti buah dan terletak di bagian sebelah dalam sabut dengan ketebalan berkisar antara 3–6 mm (Anonim, 2013). Menurut Direktorat Jendral Perkebunan Indonesia, Provinsi Sumatera Selatan menghasilkan kelapa sebesar 1239 kg/ha pada tahun 2012, dimana dari hasil produksi kelapa ini menghasilkan limbah tempurung kelapa yang dapat digunakan sebagai sumber energi.

Salah satu teknologi potensial untuk pemanfaatan tempurung kelapa menjadi sumber energi adalah teknologi gasifikasi. Gasifikasi adalah proses pengkonversian bahan bakar padat menjadi gas mampu bakar ( $\text{CO}$ ,  $\text{CH}_4$ ,  $\text{H}_2$ ) melalui proses pembakaran dengan suplai udara terbatas yaitu antara 20% hingga 40% udara *stoichiometri* (Vidian, 2008). Proses ini berlangsung di dalam suatu alat yang disebut *gasifier*, didalam alat ini dimasukkan bahan bakar biomassa dalam hal ini tempurung kelapa yang mengalami reaksi oksidasi dengan udara, oksigen, uap air atau campurannya sehingga dihasilkan gas mampu bakar. Salah satu jenis *gasifier* yang sering digunakan yaitu tipe *updraft gasifier*.

Beberapa penelitian gasifikasi biomassa menggunakan *updraft gasifier* telah dilakukan. Penelitian tentang gasifikasi tipe *updraft gasifier* menggunakan bahan bakar tempurung kelapa dengan variasi laju aliran udara pembakaran, hasil penelitiannya menunjukkan dengan laju aliran udara pembakaran 70,1 lpm, 91,4 lpm dan 122,4 lpm memiliki efisiensi masing-masing 40%, 53% dan 55% (Fajri Vidian, 2008). Penelitian tersebut masih memiliki kekurangan, yaitu memiliki kandungan tar

yang cukup tinggi dan efisiensi yang didapat juga masih rendah. Penelitian lain yaitu karakteristik gasifikasi pada *updraft double gas outlet gasifier* menggunakan bahan bakar kayu karet, hasil penelitiannya menunjukkan efisiensi *cold gas* untuk sistem dengan dua daerah keluaran memiliki nilai yang lebih tinggi dibandingkan dengan sistem konvensional yaitu 53,087% berbanding 46,519% (Guswendar Rinovianto, 2012). Penelitian tersebut juga masih memiliki kekurangan yaitu komposisi gas mampu bakarnya masih rendah dan nilai kalor yang dihasilkan tidak terlalu tinggi dikarenakan kandungan C dan nilai kalor kayu karet yang tidak terlalu tinggi.

Sehingga akan dilakukan penelitian gasifikasi dengan *updraft double gas outlet gasifier* dengan variasi laju aliran udara pembakaran menggunakan bahan bakar tempurung kelapa untuk mendapatkan gas mampu bakar yang mempunyai komposisi  $\text{CO}$ ,  $\text{CH}_4$ ,  $\text{H}_2$  dan nilai kalor *syngas* yang tinggi, serta kandungan tar yang sedikit dan efisiensi yang dihasilkan lebih tinggi. Sehingga nantinya dapat dihasilkan reaktor gasifikasi menggunakan bahan bakar biomassa yaitu tempurung kelapa yang diharapkan dapat berguna untuk mengatasi kebutuhan energi.

## 2. LANDASAN TEORI

Gasifikasi adalah suatu teknologi proses konversi bahan padat menjadi gas yang mudah terbakar (Dwi, 2012). Gas yang dimaksud adalah gas-gas yang dihasilkan dari proses gasifikasi seperti  $\text{CO}$ ,  $\text{H}_2$ , dan  $\text{CH}_4$ . 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. Salah satu cara untuk mengetahui proses yang berlangsung pada *gasifier* jenis ini adalah dengan mengetahui rentang temperatur masing-masing proses, yaitu:

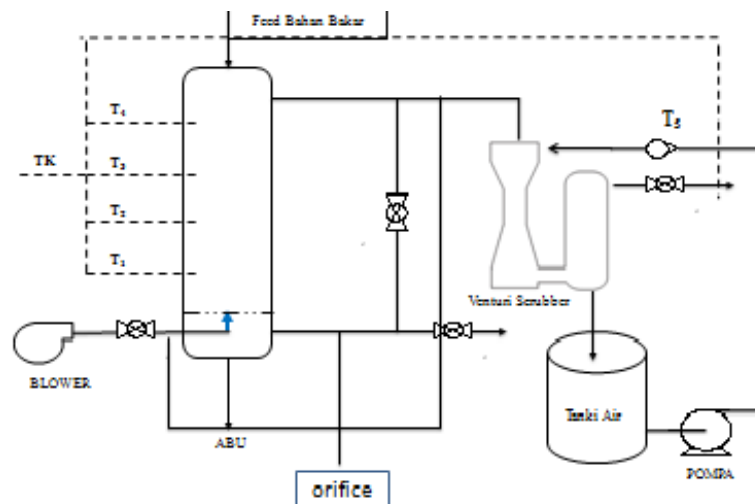
- Pengeringan:  $T > 150 \text{ }^\circ\text{C}$
- Pirolisis/Devolatilisasi:  $150 < T < 700 \text{ }^\circ\text{C}$
- Oksidasi:  $700 < T < 1500 \text{ }^\circ\text{C}$
- Reduksi:  $800 < T < 1000 \text{ }^\circ\text{C}$

Proses gasifikasi memerlukan sebuah reaktor sebagai tempat berlangsungnya pembakaran bahan bakar yang disebut dengan gasifier. *Gasifier* adalah istilah untuk reaktor yang memproduksi gas produser dengan cara pembakaran tidak sempurna (oksidasi sebagian) bahan bakar biomassa pada temperatur sekitar 1000 °C (Dwi, 2012). Ditinjau dari arah aliran udara, gasifier dibagi menjadi tiga tipe, yakni *downdraft*, *updraft*, dan *crossdraft*. Arah aliran fluida gas di dalam reaktor gasifikasi menjadi bahan pertimbangan klasifikasi alat gasifikasi berdasarkan arah aliran. Gasifikasi *updraft* merupakan reaktor gasifikasi yang umum digunakan secara luas. Ciri khas dari reaktor gasifikasi ini adalah aliran udara dari *blower* masuk melalui bagian bawah reaktor melalui *grate* sedangkan aliran bahan bakar masuk dari bagian atas reaktor sehingga arah aliran udara dan bahan bakar memiliki prinsip yang berlawanan (*counter current*). Gas hasil pembakaran dalam gasifier biasanya masih bercampur dengan berbagai unsur yang tidak diperlukan dan gas keluaran masih memiliki temperatur tinggi. Oleh karena itu gas keluar didinginkan dan dibersihkan terlebih dahulu

dengan cara melewatkan 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 *wet scrubber* dan *dry scrubber*. *Wet scrubber* adalah suatu peralatan pengendali polutan yang berfungsi untuk mengumpulkan partikel-partikel halus yang terbawa dalam gas buang suatu proses dengan menggunakan liquid untuk membuang polutan tersebut.

### 3. METODOLOGI

Penelitian dimulai dari studi literatur yang dilanjutkan rancang bangun alat gasifikasi (*updraft gasifier*) biomassa berdasarkan pendekatan struktural dan fungsional. Setelah unit *gasifier* selesai dibuat maka dilakukan pengujian peralatan yang selanjutnya mulai dilakukan penelitian terhadap perumusan masalah. Penelitian dilakukan berdasarkan alur percobaan berikut :



Gambar 1 : Skema percobaan

- **Pendekatan Desain Fungsional**

Alat gasifikasi ini terdiri dari beberapa bagian yang dirangkai menjadi alat gasifikasi sistem *updraft double gas outlet* dengan penambahan sistem pembersih gas yaitu *wet scrubber* dan *separator*. Bagian-bagian alat gasifikasi ini terdiri dari reaktor gasifikasi yang berfungsi sebagai tempat pembakaran bahan bakar (biomassa) sehingga terjadi proses gasifikasi yang mengubah bahan bakar menjadi gas

mampu bakar (*syngas*). Blower sebagai penyuplai udara ke dalam reaktor *gasifier* untuk kebutuhan pembakaran bahan bakar. Pompa fungsinya untuk mensirkulasikan air dari tangki penampungan air ke gas cleaning (Venturi Scrubber). Manometer pipa U berfungsi mengukur perbedaan tekanan sebelum dan setelah memasuki lubang orifis. Rotameter berfungsi untuk mengukur laju alir air yang akan masuk ke Venturi Scrubber yang dipasang pada jalur

pemipaan air, antara keluaran dari tangki penampungan air menuju ke *Venturi Scrubber*. Terakhir wet scrubber dan separator yang berfungsi sebagai pembersih gas.

- **Pendekatan Desain Struktural**

Alat gasifikasi ini terbuat dari material bahan *stainless steel* dengan ketebalan 8 mm. Pemilihan material ini berdasarkan pertimbangan bahwa suhu yang terjadi dalam ruang pembakaran lebih dari 1000

$^{\circ}\text{C}$ . *Stainless Steel* mempunyai titik leleh sampai suhu 1400  $^{\circ}\text{C}$ , stabil dan *non* reaktif. Alat gasifikasi ini berbentuk tabung silinder dengan diameter 22 cm dan tinggi 55 cm dan tempat penampungan abu juga berdiameter 22 cm dengan tinggi 15 cm. Alat gasifikasi ini dihubungkan ke *wet scrubber* dan separator menggunakan pipa *stainless steel* berukuran 1,5 inch dan untuk menghubungkan air dari bak penampungan air dengan pompa ke wet scrubber digunakan pipa PVC berukuran 1/4 inch.

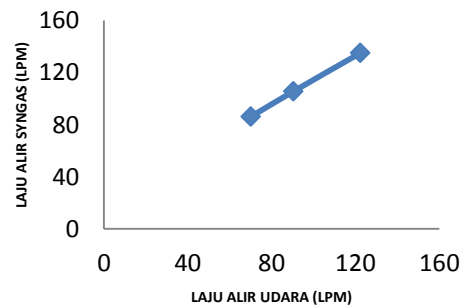


**Gambar 2 :** Alat Gasifikasi Sistem *Updraft Double Gas Outlet*

#### 4. HASIL DAN PEMBAHASAN

Pada penelitian ini dilakukan dengan menggunakan tempurung kelapa sebanyak 3,5 kg untuk sekali *batch* dan 0,5 kg untuk *starting up* menggunakan variasi laju alir udara pembakaran yaitu 70,1 lpm, 90,4 lpm, dan 122,4 lpm. Laju alir tersebut didapat berdasarkan penelitian sebelumnya yang telah dilakukan Fajri Vidian, 2008, dimana penelitian ini merupakan penelitian lanjutan dari penelitian tersebut dengan menggunakan *double gas outlet*. Penelitian yang dilakukan tentang gasifikasi biomassa tempurung kelapa menggunakan alat gasifikasi updraft double gas outlet, untuk mengetahui pengaruh laju alir udara pembakaran terhadap laju aliran syngas, equivalent ratio, komposisi gas, LHV syngas, efisiensi gasifikasi dan persen (%) konversi gas.

- Pengaruh Variasi Laju Alir Udara Pembakaran Terhadap Laju Alir Syngas



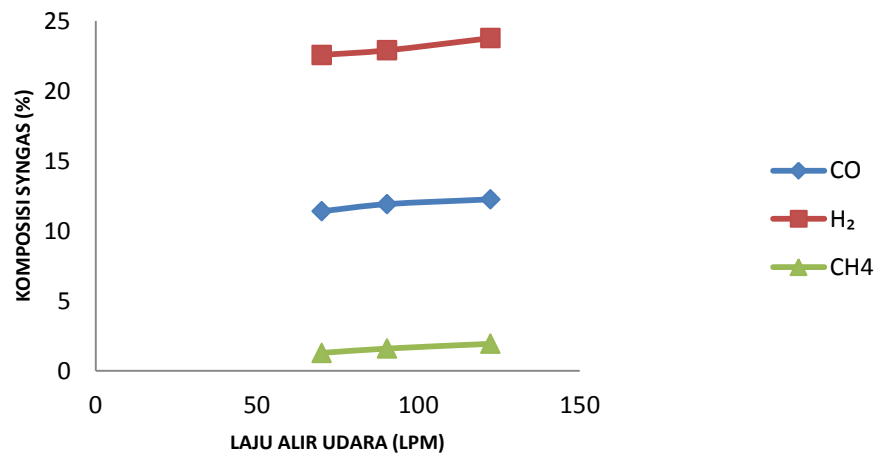
**Gambar 3 :** Laju alir udara pembakaran vs laju alir syngas

Berdasarkan hasil penelitian pada gambar 3 dapat dilihat bahwa semakin besar laju alir udara, maka laju alir syngas yang dihasilkan akan semakin besar pula. Semakin besarnya laju syngas yang dihasilkan dikarenakan dengan semakin besarnya laju alir udara, maka suplai oksigen untuk pembakaran di daerah oksidasi juga akan semakin meningkat sehingga akan semakin banyak  $\text{CO}_2$  dan arang karbon yang terbentuk (Fajri Vidian, 2008). Sehingga dengan semakin banyaknya  $\text{CO}_2$  yang terbentuk dan semakin

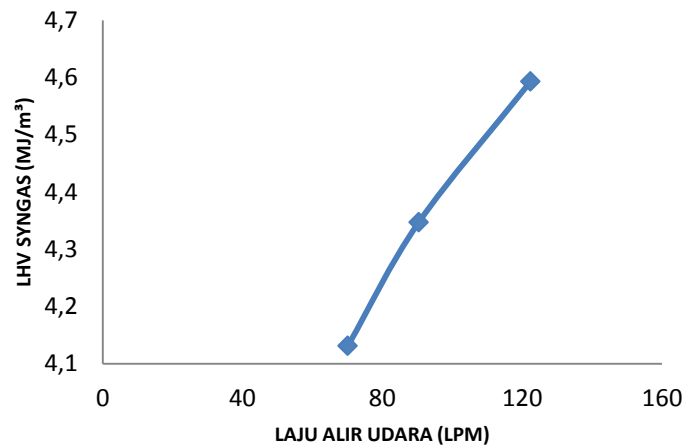
banyak  $H_2O$  yang teruapkan dari bahan bakar, maka akan semakin banyak gas  $CO$  dan  $H_2$  yang terbentuk. Akibat dari banyaknya gas  $CO$  dan  $H_2$  yang terbentuk maka akan semakin banyak karbon dan hidrogen yang bereaksi membentuk gas methane ( $CH_4$ ). Walaupun laju alir syngas meningkat seiring meningkatnya laju alir

udara pembakaran, namun peningkatan laju alir syngas ini belum optimal dikarenakan masih terjadi kebocoran gas pada pipa-pipa saluran syngas maupun pada penutup reaktor dan tempat penampungan abu, sehingga banyak syngas yang bocor keluar.

- Pengaruh Laju Alir Udara Pembakaran Terhadap Produk Syngas



**Gambar 4 :** Laju alir udara vs komposisi syngas



**Gambar 5 :** Laju alir udara vs LHV syngas

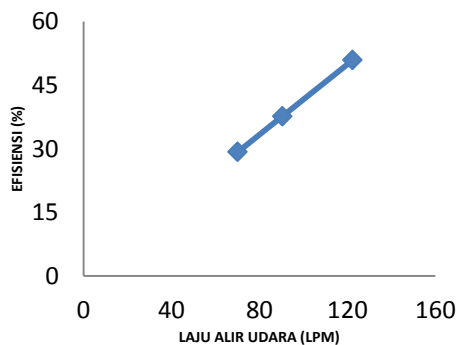
Pada gambar 4 dapat dilihat semakin meningkat laju alir udara pembakaran maka komposisi gas mampu bakar juga akan meningkat. Hal ini dikarenakan suplai udara yang diberikan masih dibawah batas udara stoikiometri sehingga dengan penambahan laju alir udara komposisi gas mampu bakar tersebut akan ikut meningkat. Dikarena jumlah laju alir udara yang disuplai untuk proses

gasifikasi masih dibawah batas udara stoikiometri sehingga dengan meningkatnya laju alir udara pembakaran maka jumlah suplai oksigen kedalam reaktor juga akan meningkat. Banyaknya jumlah oksigen yang dipasok kedalam reaktor akan bereaksi dengan substansi yang mudah terbakar (C) sehingga akan menghasilkan  $CO_2$  dan  $H_2O$ . Selanjutnya gas yang terbentuk tersebut akan bereaksi lagi dengan karbon

sehingga akan dihasilkan gas mampu bakar yaitu CO, H<sub>2</sub>, Dan CH<sub>4</sub>.

Sedangkan untuk nilai kalor *syngas* (LHV) juga meningkat seiring peningkatan laju alir udara. Hal ini dikarenakan dengan meningkatnya laju udara pembakaran maka komposisi gas mampu bakar juga akan meningkat karena suplai udara masih dibawah batas udara stoikiometri maka dengan meningkatnya komposisi gas mampu bakar juga akan meningkatkan fraksi volume dari gas mampu bakar tersebut sehingga nilai kalor (LHV) dari gas mampu bakar yang dihasilkan akan meningkat.

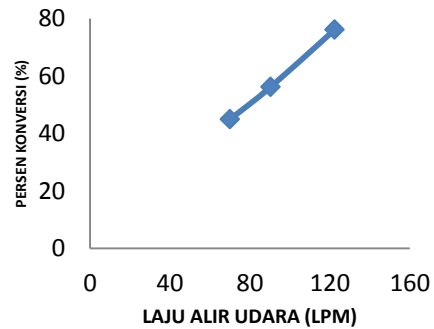
- Pengaruh Laju Alir Udara Terhadap Efisiensi Gasifikasi



**Gambar 6** : Laju alir udara vs efisiensi gasifikasi

Pada gambar 6 dapat dilihat efisiensi cenderung meningkat dengan meningkatnya laju alir udara pembakaran, dikarenakan dengan meningkatnya laju alir udara pembakaran akan meningkatkan laju alir *syngas* gas hasil gasifikasi dan LHV gas hasil gasifikasi, sehingga otomatis efisiensi gasifikasi akan meningkat. Efisiensi yang didapat pada gambar 6 bukan merupakan efisiensi maksimum dikarenakan efisiensi gasifikasi akan terus meningkat seiring meningkatnya laju alir udara pembakaran sampai pada efisiensi maksimum, karena laju alir udara pada percobaan ini masih dibawah batas udara stoikiometri. Selain itu efisiensi ini belum maksimal dikarenakan masih terjadinya kebocoran pada alat gasifikasi terutama dibagian penutup alat gasifikasi, pada bagian tempat penampungan abu dan pada sambungan pipa tempat mengalirnya *syngas* yang menyebabkan berkurangnya efisiensi alat gasifikasi.

Pengaruh Laju Alir Udara Terhadap Persen (%) Konversi Gas



**Gambar 7** : Laju alir udara vs persen (%) konversi gas

Pada penelitian yang telah dilakukan, dapat dilihat bahwa dengan meningkatnya laju alir udara pembakaran maka persen konversi gas juga akan ikut meningkat. Hal ini disebabkan karena dengan meningkatnya jumlah laju alir udara pembakaran maka jumlah suplai oksigen kedalam reaktor akan ikut meningkat sehingga semakin banyak karbon yang bereaksi dengan oksigen dan terbakar menjadi gas CO<sub>2</sub>. Karena banyak karbon yang terbakar maka suhu didalam reaktor akan ikut meningkat sehingga uap air yang ada didalam bahan bakar akan teruapkan menjadi H<sub>2</sub>O.

Banyaknya gas CO<sub>2</sub> didalam reaktor maka karbon yang terdapat dalam bahan bakar akan bereaksi dengan CO<sub>2</sub> membentuk gas CO, selain itu karbon juga akan beraksi dengan H<sub>2</sub>O membentuk gas CO dan H<sub>2</sub>. Selanjutnya dengan semakin banyaknya gas H<sub>2</sub>, karbon juga akan bereaksi dengan H<sub>2</sub> membentuk gas CH<sub>4</sub>. Reaksi pembentukan gas mampu bakar (CO, H<sub>2</sub> dan CH<sub>4</sub>) terjadi didaerah reduksi yang merupakan tempat terbentuknya gas mampu bakar tersebut. Sehingga dengan semakin banyaknya karbon yang beraksi dan membentuk gas mampu bakar akan meningkatkan jumlah persen konversi gas.

## 5. KESIMPULAN

Pada penelitian yang dilakukan kali ini dengan penambahan laju alir udara sebesar 70,1 lpm, 90,4 lpm, dan 122,4 lpm akan meningkatkan laju alir *syngas*, komposisi *syngas*, nilai kalor (LHV) *syngas*, efisiensi dan persen (%) konversi gas, namun hasil yang didapat tersebut belum mencapai titik optimum.

## DAFTAR PUSTAKA

1. Direktorat Jenderal Perkebunan. 2012. Produksi Kelapa Menurut Provinsi di Seluruh Indonesia. [www.deptan.go.id](http://www.deptan.go.id)
2. Handika, Allin Indri. 2009. Skripsi : Studi Gasifikasi Batubara Menggunakan Gasifier Unggun Tetap Aliran Keatas. Universitas Sriwijaya : Palembang
3. Hantoko, Dwi. 2012." Pengaruh Ukuran dan Bentuk Partikel Biomassa terhadap Kebutuhan Daya Pompa Penyedia Udara Peggasifikasi". Tugas Akhir Jurusan Teknik Kimia Universitas Sebelas Maret. Surabaya. Indonesia.
4. Hougén, Olaf A. , et al. 1961. Chemical Process Principle Part 1 Material and Energy Balance. Charles E. Tuttle Company : Tokyo
5. Jain, Anil Kr., Goes, Jhon R., "Determination of Reaktor Scalling Factor for Throatsless Risk Husk Gasifier", International Journal Biomass & Bioenergy, Permagon, 18, 200, pp.249-256.
6. Khairumizan, Panji. 2008. Skripsi : Studi Eksperimental Implementasi Venturi Scrubber Pada Sistem Gasifikasi Batubara. Universitas Indonesia : Depok
7. Mc Cabe, et al. 1993. Unit Operations of Chemical Engineering Fifth Edition. Mc. Graw Hill Inc. : Singapore
8. Najib, Lailun. 2011. "Karakterisasi Proses Gasifikasi Biomassa Tempurung Kelapa Sistem Downdraft Kontinyu Dengan Variasi Perbandingan Udara-Bahan Bakar (AFR) Dan Ukuran Biomassa," Jurnal Teknik Jurusan Teknik Mesin FTI-ITS, Surabaya, Indonesia.
9. Nurtian, Irvan. 2007."Perancangan Reaktor Gasifikasi Sekam Sistem Kontinu". Tugas Akhir Jurusan Teknik Mesin FTI-ITN. Bandung. Indonesia.
10. 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
11. Pranolo, H. 2010."Potensi Penerapan Teknologi Gasifikasi Tongkol Jagung Sebagai Sumber Energi Alternatif Di Pedesaan". Dalam Seminar Nasional Energi Terbarukan Indonesia di Universitas Jendral Sudirman. Purwokerto.
12. Rinovianto, Guswendar. 2012."Karakteristik Gasifikasi Pada Updraft Double Gas Outlet Gasifier Menggunakan Bahan Bakar Kayu Karet," Jurusan Teknik Mesin, Fakultas Teknik, Universitas Indonesia, Depok.
13. Vidian, Fajri. 2008."Gasifikasi Tempurung Kelapa Menggunakan Updraft Gasifier pada Beberapa Variasi Laju Alir Udara Pembakaran," Jurusan Teknik Mesin, Fakultas Teknik, Universitas Sriwijaya, Palembang.