

Gasifikasi Tempurung Kelapa Menggunakan *Updraft Gasifier* pada Beberapa Variasi Laju Alir Udara Pembakaran

Fajri Vidian

Jurusan Teknik Mesin, Fakultas Teknik, Universitas Sriwijaya, Palembang
Email: fajrividian@yahoo.com

ABSTRAK

Pemanfaatan tempurung kelapa baru sebatas untuk menghasilkan arang aktif untuk dijual, pada hal tempurung kelapa mempunyai potensi untuk menghasilkan energi. Pada penelitian ini tempurung kelapa dimanfaatkan untuk menghasilkan bahan bakar gas melalui proses gasifikasi menggunakan *updraft gasifier*. Proses gasifikasi dilakukan pada laju aliran udara pembakaran 70,2 lpm, 91,4 lpm dan 122,4 lpm. Hasil penelitian menunjukkan proses gasifikasi dapat menghasilkan gas mampu bakar (CO , CH_4 , H_2) secara kontinyu selama lebih kurang 3 jam operasi. Peningkatan laju aliran udara akan meningkatkan suhu dalam reaktor, komposisi gas, laju aliran gas, efisiensi gasifikasi dan temperatur nyala gas pembakaran yang dihasilkan

Kata kunci: *Updraft gasifier*, gasifikasi, tempurung kelapa.

ABSTRACT

Coconut shell is exploited to produce charcoal to be sold now. but it has potency for producing energy. At this study coconut shell was exploited to produce gas fuel with gasification process using updraft gasifier. Gasification process was done at condition different air flow rate i.e 70,2 lpm, 91,4 lpm dan 122,4 lpm. The results of experiment showed gasification could produces combustible gas (CO , CH_4 , H_2) continuously during 3 hours operation for every condition of gasification air flow rate. Increasing the air flow rate will increase temperature inside reactor, gas composition, gas flow rate, gasification efficiency and flame temperature of combustion gas producer.

Keywords: *Updraft gasifier, gasification, coconut shell.*

PENDAHULUAN

Proses pemanfaatan buah kelapa dewasa ini baru sebatas daging buahnya saja untuk dijadikan kopra, minyak dan santan untuk keperluan rumah tangga. Sedangkan hasil sampingan lainnya, seperti tempurung kelapa belum begitu banyak dimanfaatkan. Pemanfaatan tempurung kelapa sekarang baru sebatas dibakar untuk menghasilkan arang aktif. Tempurung kelapa merupakan salah satu biomassa yang berpotensi untuk dapat menghasilkan energy. Indonesia menghasilkan 1,1 juta ton/tahun tempurung dengan kemungkinan energi yang dapat dihasilkan $18,7 \times 10^6$ GJ/tahun [1].

Ada banyak cara yang dapat dilakukan untuk mengkomversikan biomassa seperti tempurung kelapa menjadi energi. Salah satu caranya yaitu melalui proses termokimia. Dengan proses termokimia biomassa dapat di konversikan menjadi energi melalui tiga cara yaitu: pembakaran langsung (*direct combustion*), gasifikasi dan pirolisa.

Gasifikasi adalah proses pengkomversian bahan bakar padat menjadi gas mampu bakar (CO , CH_4 , H_2) melalui proses pembakaran dengan suplai udara

terbatas yaitu antara 20% hingga 40% udara stoikiometri. Reaktor tempat terjadinya proses gasifikasi disebut *gasifier*. Selama proses gasifikasi akan terbentuk daerah proses yang dinamakan menurut distribusi suhu dalam reaktor *gasifier*. Daerah-daerah tersebut adalah: Pengeringan, Pirolisa, Reduksi dan Pembakaran. 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. Gas hasil dari proses gasifikasi disebut *biogas*, *producer gas* atau *syngas* [2].

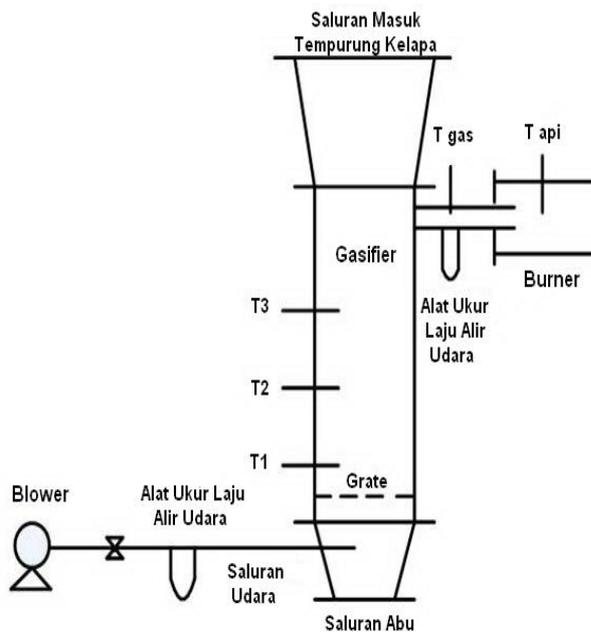
Beberapa penelitian gasifikasi biomassa menggunakan *updraft gasifier* telah dilakukan. Saravanakumar et al. [3] melakukan penelitian gasifikasi menggunakan bottom lift *updraft gasifier* dengan bahan bakar kayu. Hasil penelitiannya menunjukkan bahwa dengan laju pemakaian bahan bakar antara 9 hingga 10 kg/jam, maka efisiensi gasifikasi yang terjadi adalah 73% dan menghasilkan stabilitas *producer gas* selama 5 jam operasi dengan temperatur api rata-rata 750°C. Wang dkk [4] melakukan penelitian gasifikasi menggunakan *updraft gasifier* yang di integrasikan

dengan gas *reformer* untuk menggerakkan mesin berbahan bakar gas. Bahan bakar *gasifier* yang digunakan pada penelitian ini adalah kepingan kayu (*woodchips*). Hasil penelitiannya menunjukkan bahwa nilai kalor gas yang dihasilkan adalah 3,9 MJ/m³ dengan efisiensi gasifikasi 60 % dan efisiensi keseluruhan sistem sebesar 27 %. Adi Surjosatyo, et.al [5], melakukan penelitian menggunakan *updraft gasifier* yang dintegrasikan dengan *swirl gas burner*, menggunakan bahan bakar *gasifeir* tempurung kelapa sawit. Hasil penelitian tersebut menunjukkan bahwa temperatur api pada *swirl gas burner* yang terjadi adalah antara 590 °C hingga 677 °C, dengan emisi yang paling rendah CO 65 ppm dan NO_x 70 ppm.

Adapun penelitian yang dilakukan saat ini adalah untuk mendapatkan gas mampu bakar dan mengetahui pengaruh laju aliran udara terhadap komposisi gas, laju alir gas, efisiensi gasifikasi dan temperatur api (pembakaran gas hasil) dari proses gasifikasi tempurung kelapa pada *updraft gasifier*.

METODE PENELITIAN

Proses gasifikasi dilakukan pada sebuah *gasifier* tipe aliran ke atas seperti pada Gambar 1. Penelitian dilakukan di Laboratorium Konversi Energi, Jurusan Teknik Mesin, Fakultas Teknik, Universitas Sriwijaya. Pada dasarnya *gasifier* ini merupakan sebuah silinder dari bahan *stainless steel* dengan diameter 22 cm, tinggi 55 cm dan ketebalan 4 mm, yang berfungsi sebagai tempat terjadinya proses gasifikasi.



Gambar 1. Skema Set-up Eksperimen

Sebelum dilakukan proses gasifikasi, terlebih dahulu dilakukan analisa proximat dan ultimat tempurung kelapa. Analisa proximat tempurung kelapa dilakukan dengan mengacu pada *British Standar 1016* di Laboratorium PT Tambang Batubara Bukit Asam. Pengujian tersebut meliputi: pengujian kandungan air (*moisture*) dimana sampel 80g tempurung kelapa ditempatkan pada Krus dan dipanaskan pada minimum *Free Space Oven* hampa udara dengan mengalirkan gas nitrogen pada suhu 105°C selama 2 jam. Selanjutnya tempurung kelapa ditimbang untuk mengetahui berat sebelum dan setelah pemanasan. Pengujian zat mudah terbang (*volatile mater*) dilakukan pada sampel 1 gram tempurung kelapa dengan ukuran 50 mesh. Sampel ditempatkan di dalam Krus, dan dipanaskan pada *Volatile Matter Furnace* hampa udara dengan suhu 900°C selama 7 menit. Selanjutnya sampel ditimbang untuk mengetahui perbedaan berat sebelum dan setelah pemanasan. Pengujian kadar abu (*ash*) dengan sampel seperti pada pengujian zat mudah terbang, kemudian dipanaskan di dalam *Muffle Furnace Ash* dengan suhu 500 °C selama 30 menit. Kemudian suhu dinaikan hingga 815 °C dan dipanaskan selama 1 jam. Selanjutnya sampel ditimbang untuk mengetahui perbedaan berat sebelum dan setelah pemanasan.

Persentase karbon tetap (*fixed carbón*) dihitung dengan rumusan sebagai berikut: 100% - (% kandungan air + %Abu + % zat terbang). Pengujian nilai kalor tempurung kelapa dilakukan dengan membakar 1 gram, ukuran 50 mesh sampel secara terkendali menggunakan *Adiabatic bomb calorimeter* IKA C-4000.

Analisa Ultimat dilakukan menurut stándar ASTM D 3178, di Laboratorium Pengujian tekMIRA Bandung. Analisa Ultimat dilakukan pada sampel seberat 100 gram, dengan menggunakan peralatan *Leco CHN 2000*, untuk mengetahui komposisi berdasarkan persen berat unsur-unsur yang terkandung seperti: Karbon (C), hidrogen (H), Oksigen (O), Nitrogen (N) dan Sulfur (S). Hasil analisa proksmat dan ultimat diperlihatkan pada Tabel 1. Proses pengambilan data dilakukan terbagi menjadi Run 1, 2 dan 3. Setiap Run berlangsung sekitar 3 jam. Antara Run 1 dan run berikutnya ada jeda waktu sekitar 12 jam.

Udara pembakaran dialirkan menggunakan sebuah *blower* dengan kapasitas 1050 lpm. Laju alir udara pembakaran divariasikan masing-masing 70,2 lpm untuk Run 1, 91,4 lpm untuk Run 2, dan 122,4 lpm untuk Run 3. Laju alir udara dan laju alir gas diukur menggunakan manometer miring. Setiap laju alir dilakukan operasi selama 3 jam.

Tabel 1. Analisa Proximat dan Ultimat Tempurung Kelapa

Analisa Proximat (% berat)	
Moisture	5,3
Volatile Mater	70,7
Ash	6,26
Fixed Carbon	17,54
Low Heating Value (kj/kg)	22000
Analisa Ultimat (% Berat)	
C	47,59
H	6,0
O	45,52
N	0,22
S	0,05

Pada bagian sisi *gasifier* dibuat 3 buah saluran thermokopel type K (*chromel-Alumnel*) berbaris vertical dengan jarak 5 cm, 20 cm, 35 cm dari *grate* yang berfungsi untuk menentukan daerah gasifikasi. Pada saluran keluar gas dipasang dipasang satu termokopel type K untuk mengukur suhu *producer gas* dan pada *burner* dipasang satu termokopel type K untuk mengukur suhu api. Pengukuran dilakukan setiap interval waktu 15 menit.

Setiap runing dilakukan pengambilan sampel untuk menentukan komposisi gas sebanyak 6 kali, menggunakan tabung gelas kapasitas 150 ml. Komposisi gas selanjutnya dideteksi menggunakan *gas chromatograph* Shimatzu CR9, dengan standar pengujian GPA 2261. Pengujian dilakukan di Laboratorium PT Pupuk Sriwijaya. Komposisi gas selanjutnya digunakan untuk menghitung nilai kalor gas hasil proses dengan menggunakan Persamaan 1[6].

$$CV_G = \sum X_i H_i \tag{1}$$

dimana:

X_i = Fraksi volume masing–masing komposisi gas pada temperatur ruang (mol)

H_i = Low Heating Value (LHV) masing-masing komposisi gas pada temperatur ruang (MJ/m³)

Tabel 2. LHV Gas pada Temperatur 25 °C

No	Komposisi Gas	LHV (MJ/m ³) pada 25°C
1	CO	11, 5668
2	H ₂	9, 8846
3	CH ₄	32, 7938
4	C ₂ H ₂	51, 3223
5	C ₂ H ₄	54, 0840
6	C ₂ H ₆	58, 3627

Equivalensi ratio proses dihitung menggunakan Persamaan 2 [7].

$$ER = \frac{\text{Laju Aliran Udara} (\frac{m^3}{menit}) \times \text{Waktu Operasi (menit)}}{\text{Masukkan Bahan Bakar (kg)} \times (\frac{A}{F} \text{ untuk } \phi = 1) (\frac{m^3}{kg})} \tag{2}$$

dimana:

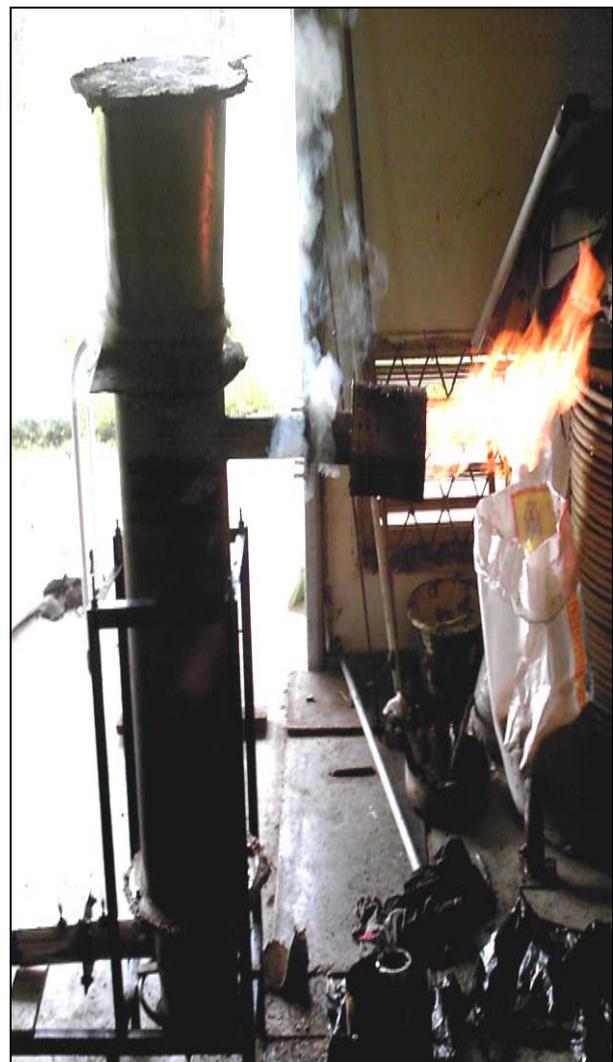
A/F untuk $\phi = 1$ adalah jumlah udara yang diperlukan untuk pembakaran Stoikiometri 1 kg bahan bakar.

Efisiensi Proses Gasifikasi dihitung dengan menggunakan Persamaan 3 [6].

$$\eta_{Gas} = \frac{\text{Nilai Kalor Gas Hasil / kg Bahan Bakar (MJ)}}{\text{Nilai Kalor 1kg Bahan Bakar (MJ)}} \tag{3}$$

HASIL DAN PEMBAHASAN

Berdasarkan hasil eksperimen yang telah dilakukan maka tempurung kelapa dapat digasifikasi menggunakan *updraft gasifier* untuk menghasilkan gas mampu bakar. Api hasil pembakaran *gas producer* diperlihatkan pada Gambar 2. *Performace gasifier* beroperasi selama 3 jam setiap Run ditampilkan pada Tabel 3. Stabilitas api dapat dipertahankan selama 3 jam operasi.



Gambar 2. Api Hasil Gasifikasi

Tabel 3. Performace Gasifier 3 Jam Operasi

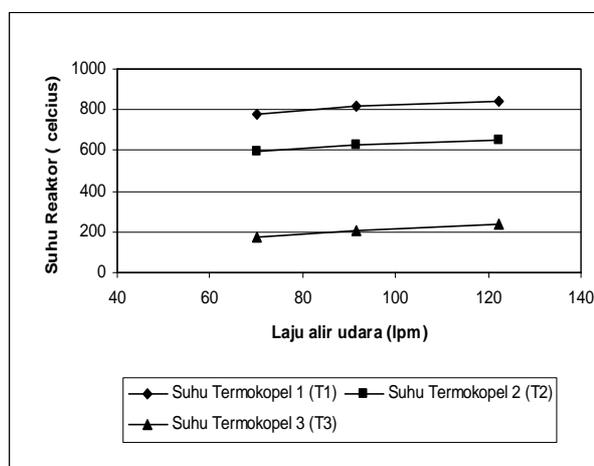
Parameter Pengukuran	Operasi		
	Run 1	Run 2	Run 3
Kandungan Air Tempurung (%)	5,3	5,3	5,3
Ukuran Tempurung (cm)	± 2 cm x 2 cm x 1 mm	± 2 cm x 2 cm x 1 mm	± 2 cm x 2 cm x 1 mm
laju aliran tempurung kelapa (kg/jam)	2,5	2,7	3
laju aliran udara (liter per menit)	70,2	91,4	122,4
laju aliran gas (liter per menit)	92	128,1	140,5
Rata – rata suhu termokopel 1 (T1) (°C)	781,3	816	842,2
Rata – rata suhu termokopel 2 (T2) (°C)	592,6	630,1	651,8
Rata – rata suhu termokopel 3 (T3) (°C)	173,4	202,6	234,7
Rata – rata suhu gas (°C)	193,7	236,9	267,8
Rata - rata suhu api (°C)	594,8	612,6	638
Jumlah bahan bakar (kg)	7,5	8	9
Equivalensi Ratio	0,29	0,36	0,42
LHV	3,9	4,1	4,3
□ _g	40%	53%	55%
Komposisi Gas			
Rata –rata CO (%)	22,6	23,1	24,1
Rata - rata CH ₄ (%)	0,9	1,1	1,3
Rata – rata H ₂ (%)	11,0	10,9	11,4

Pengaruh Laju Alir Udara Terhadap Suhu dalam Reaktor

Dari hasil eksperimen terlihat adanya perbedaan suhu dalam reaktor, seperti yang diperlihatkan pada Gambar 3. Perbedaan suhu ini menggambarkan telah terbentuknya daerah gasifikasi dalam reaktor yaitu daerah pembakaran, reduksi dan pirolisa. Berdasarkan hasil eksperimen maka gas mampu bakar akan didapat jika temperatur didaerah pembakaran sudah mencapai di atas 700 °C.

Membesarnya laju alir udara menyebabkan suhu dalam reaktor meningkat. Hal ini disebabkan karena pada laju alir volume udara yang tinggi, maka penetrasi udara ke unggun tempurung lebih besar jika dibandingkan laju alir volume udara yang rendah. Dengan demikian tempurung kelapa yang teroksidasi akan lebih banyak (panas yang dihasil-

kan akan lebih besar) pada laju alir volume udara yang tinggi. Panas yang lebih besar akan memberikan pengaruh yang baik pada reaksi-reaksi kesetimbangan pada daerah reduksi dan pirolisa.

**Gambar 3. Laju Aliran Udara vs Suhu Reaktor**

Pengaruh Laju Alir Udara Terhadap Komposisi Gas yang Dihasilkan

Dari hasil pengujian tempurung kelapa dapat menghasilkan gas mampu bakar seperti ditunjukkan pada Tabel 4. Untuk gas CO terlihat bahwa semakin tinggi laju alir udara yang diberikan, maka jumlah CO yang dihasilkan akan meningkat. Hal ini disebabkan karena laju alir udara yang digunakan masih dalam batas udara stoikiometri untuk proses gasifikasi, sehingga pengurangan produksi CO akibat penambahan laju alir udara belum terlihat.

Untuk jumlah H₂ dan CH₄ sangat ditentukan oleh temperatur yang terjadi dalam reaktor, terutama temperatur di daerah reduksi karena kedua unsur ini merupakan produk utama daerah reduksi. Eksperimen menunjukkan, bahwa suhu daerah reduksi cenderung naik dengan naiknya laju alir udara, sehingga mengakibatkan H₂ dan CH₄ cenderung meningkat.

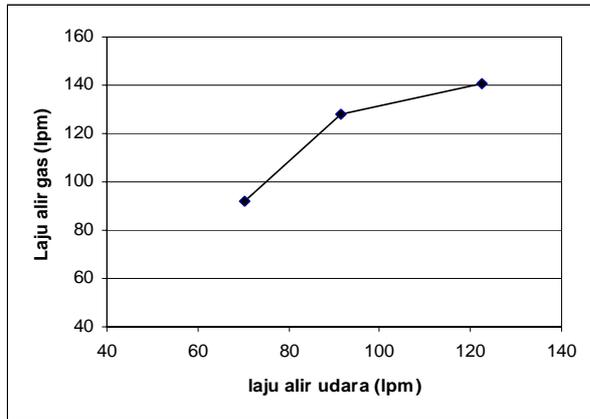
Tabel 4. Gas Mampu Bakar yang Dihasilkan

Laju Alir Udara (lpm)	Komposisi CO (% mol)	Komposisi CH ₄ (% mol)	Komposisi H ₂ (% mol)
70,2	22,6	0,9	11,0
91,4	23,1	1,1	10,9
122,4	24,1	1,3	11,4

Pengaruh Laju Alir Udara Terhadap Laju Alir Gas yang Dihasilkan

Gambar 4. menunjukkan bahwa semakin besar laju aliran udara, maka semakin besar pula laju aliran gas yang dihasilkan. Hal ini disebabkan karena dengan bertambahnya suplai udara maka jumlah oksigen yang dipergunakan untuk pem-

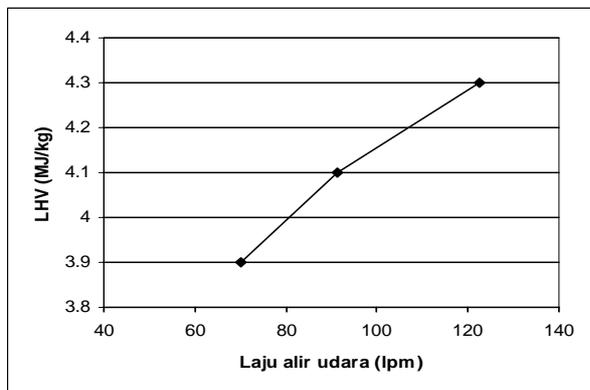
bakaran pada daerah oksidasi juga semakin meningkat. Selanjutnya semakin banyak pula CO_2 dan arang karbon yang terbentuk. Di daerah reduksi, akan semakin banyak reaksi CO_2 dengan H_2O membentuk gas CO dan H_2 , serta semakin banyak karbon dan hydrogen membentuk gas metana. Dengan demikian makin banyak *producer gas* yang dihasilkan, artinya laju alir gas meningkat sesuai dengan laju alir udara.



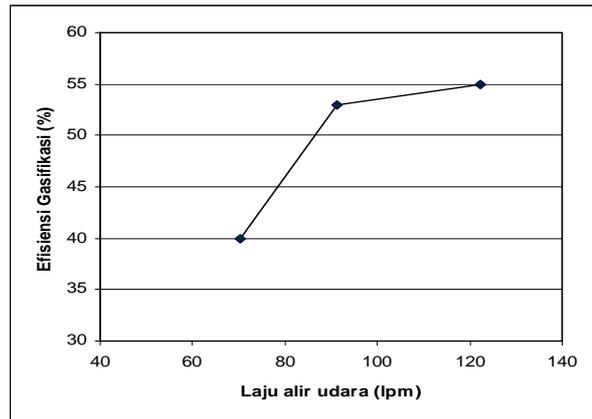
Gambar 4. Laju Aliran Udara vs Laju Aliran Gas yang Dihasilkan

Pengaruh Laju Alir Udara Terhadap Efisiensi Gasifikasi

Gambar 6. memperlihatkan bahwa dengan meningkatnya laju aliran udara maka efisiensi gasifikasi cenderung meningkat. Hal ini disebabkan karena dengan semakin meningkatnya laju alir udara maka laju alir gas dan LHV gas hasil proses gasifikasi akan meningkat (Gambar. 5) yang selanjutnya menyebabkan peningkatan efisiensi gasifikasi. Efisiensi yang dicapai pada penelitian ini bukan merupakan efisiensi maksimum karena efisiensi ini masih akan terus naik mencapai suatu titik maksimum tertentu yang kemudian akan turun seiring dengan semakin meningkatnya laju alir udara pembakaran. Peningkatan laju alir udara ini akan mengakibatkan gas mampu bakar dihasilkan akan berkurang, karena pembakaran yang terjadi semakin sempurna.



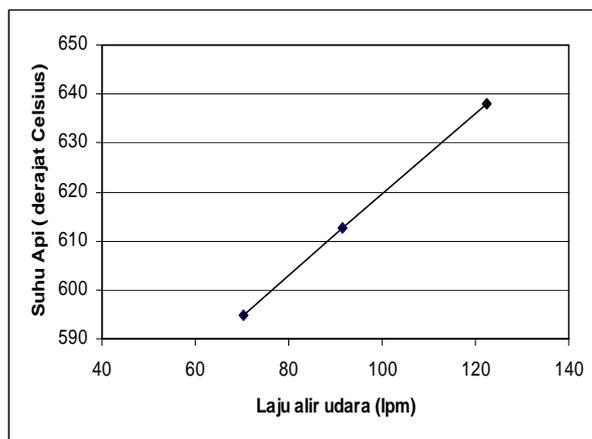
Gambar 5. Laju Aliran Udara vs LHV Gas



Gambar 6. Laju Aliran Udara vs Efisiensi Gasifikasi

Pengaruh Laju Alir Udara Terhadap Suhu Api Hasil Proses Pembakaran Gas Hasil Gasifikasi

Gambar 7. memperlihatkan bahwa semakin besar laju alir udara, maka suhu api yang dihasilkan semakin meningkat. Hal ini disebabkan karena dengan semakin meningkatnya laju alir udara, maka temperature daerah pembakaran akan meningkat yang mengakibatkan terjadinya kesetimbangan reaksi dalam reaktor, sehingga mengakibatkan jumlah gas mampu bakar akan meningkat. Meningkatnya jumlah gas mampu bakar tentu akan meningkatkan jumlah panas yang dilepaskan pada saat pembakaran gas. Kondisi ini teridentifikasi pada suhu api yang dihasilkan. Api yang di dihasilkan masih berwarna kuning seperti diperlihatkan pada Gambar 2.



Gambar 7. Laju Aliran Udara vs Suhu Api

KESIMPULAN

Dari hasil penelitian proses gasifikasi tempurung kelapa menggunakan *updraft gasifier* pada beberapa variasi laju aliran udara pembakaran dapat menghasilkan gas mampu bakar (CO , CH_4 , H_2) secara kontinyu selama lebih kurang 3 jam operasi. Peningkatan laju aliran udara akan meningkatkan

suhu dalam reaktor, komposisi gas, laju aliran gas, efisiensi gasifikasi dan temperatur api hasil pembakaran *producer gas*.

DAFTAR PUSTAKA

1. Budiono, chayun., "Tantangan dan Peluang Usaha Pengembangan Energi Terbarukan di Indonesia, Konvensi Kelistrikan Indonesia 2003, Jakarta , Oktober 2003.
2. Luby, Peter. "*advanced System in Biomass Gasification – Commercial Reality and Outlook*". Paper, the III International Slovak Biomass Forum, Bratislava, February 3-5, 2003.
3. Saravanakumar, A., Haridasan, TM., Reed, TB., "*Eksperimental Investigation of Long Stick Wood Gasification in Bottom Lift Ufdraft Fixed Bed Gasifier*", International Journal Fuel Processing Technology, Elsevier, 2007, pp 617-622..
4. Wang, Ying. , Yoshikawa, Yonio., "*Performance Optimization of Two – Staged Gasification System for Woody Biomass*", International Journal Fuel Processing Tecnology, Elsevier, 2007, pp 243-250.
5. Surjosatyo, Adi., Nasir Ani, Farid., "*Development of Swirl Burner Incorporated with A Biomass Combustion System*", Proceeding, 6th Asia-Pacific International Symposium on Combustion and Energy Utilization, Kuala Lumpur, 20 – 22 May 2002.
6. Jain, Anil Kr., Goss, Jhon R., "*Determination of Reaktor Scalling Factor for Throatless Risk Husk Gasifier*", International Journal Biomass & Bioenergy, Pergamon, 18, 2000, pp.249-256.
7. ZA, Zainal., Rifau, Ali., GA, Quadir., KN, Seetharamu., "*Experimental Investigation of a Downdraft Biomass Gasifier*", Biomass Bioenergi Journal, Januari, 2003.