

## Gasifikasi Limbah Tongkol Jagung Pada Reaktor Updraft Ditinjau Dari Pengaruh Air Fuel Ratio (AFR) Dan Kadar Air Terhadap Gas Producer Yang Dihasilkan

Imron Rosyadi<sup>1,a\*</sup>, Endang Suhendi<sup>2,b</sup> dan Raden Wirawan Iskandar<sup>3,c</sup>

<sup>1,2,3</sup>Jl. Jendral Sudirman Km.3,Cilegon, Propinsi Banten, Indonesia  
<sup>a</sup>imron\_hrs@yahoo.co.id, <sup>b</sup>endangs.untirta@gmail.com, <sup>c</sup>wira\_radar07@yahoo.co.id

### Abstrak

Gasifikasi adalah proses pengubahan materi yang mengandung karbon seperti batubara, minyak bumi, maupun biomassa ke dalam bentuk karbon monoksida (CO) dan hidrogen (H<sub>2</sub>) dengan mereaksikan bahan baku yang digunakan pada suhu tinggi dengan jumlah oksigen yang diatur menjadi syngas (CO, H<sub>2</sub>, CH<sub>4</sub>) melalui proses pembakaran. Percobaan ini untuk mengetahui komposisi gas yang dihasilkan dengan menggunakan gasifier type updraft dengan bahan baku tongkol jagung. Dari hasil pengujian komposisi gas yang dihasilkan berdasarkan perbandingan variasi kadar air dan air fuel ratio (AFR) didapatkan perbandingan yang terbaik yaitu dengan tongkol jagung ukuran kecil dengan kadar air 10,89% serta nilai AFR 1,4.

**Kata kunci** : tongkol jagung, gasifikasi, kadar air, AFR

### 1. PENDAHULUAN

Saat ini ketergantungan manusia akan bahan bakar fosil sebagai sumber energi cukup besar. Bahan bakar fosil tersebut digunakan hampir diseluruh sektor kehidupan manusia, baik dalam kegiatan rumah tangga, transportasi maupun industri. Ketergantungan manusia terhadap bahan bakar tak terbarukan ini dirasakan semakin meningkat, sedangkan ketersediaannya semakin menipis. Berbagai solusi telah ditawarkan oleh para ilmuwan di dunia untuk mengatasi ketergantungan terhadap sumber energi terbarukan. Diantara berbagai solusi itu adalah dengan memanfaatkan energi terbarukan seperti biomassa. Sumber energi jenis ini banyak diperoleh dari hasil maupun limbah hutan, perkebunan dan pertanian.

Biomassa bersifat mudah didapatkan, ramah lingkungan dan terbarukan. Secara umum potensi energi biomassa berasal dari limbah tujuh komoditi yang berasal dari sektor kehutanan, perkebunan dan pertanian. Potensi limbah biomassa terbesar adalah dari limbah kayu hutan, kemudian diikuti oleh limbah padi, jagung, ubi kayu, kelapa, kelapa sawit dan tebu. Secara keseluruhan potensi energi limbah biomassa Indonesia diperkirakan sebesar 49.807,43 MW. Dari jumlah tersebut, kapasitas terpasang hanya sekitar 178 MW atau 0,36 % dari potensi yang ada (Hendrindson, 2003; Agustina, 2004). Selain

sebagai sumber energi biomassa, limbah jagung dapat dimanfaatkan sebagai bahan pakan ternak dan pupuk kompos.

Pemerintah Indonesia telah mencanangkan swasembada jagung pada tahun 2007 dengan target produksi 15 juta ton jagung dikarenakan kebutuhan konsumsi dan industri pakan ternak yang melonjak. Sebelumnya pada tahun 2006 luas panen jagung adalah 3,5 juta hektar dengan produksi rata-rata 3,47 ton/hektar, produksi jagung secara nasional 11,7 juta ton. Limbah tongkol dan daun jagung kering adalah 3,46 ton/hektar sehingga limbah pertanian yang dihasilkan sekitar 12,1 juta ton (Prasetyo, 2002). Dengan konversi nilai kalor 4370 kkal/kg potensi energi limbah tongkol dan daun jagung kering sebesar 66,35 GJ. Energi tongkol jagung dapat dihitung dengan menggunakan nilai *Residue to Product Ratio (RPR)* tongkol jagung adalah 0,273 (pada kadar air 7,53 %) dan nilai kalori 4451 kkal/kg, potensi energi jagung adalah 55,75 GJ. (Koopmans dan Koppejan, 1997; Sudradjat, 2004).

Produksi jagung yang besar ini tentunya akan menimbulkan limbah jagung yang bila tidak dikelola akan menghasilkan tumpukan sampah yang mengganggu, terutama tongkolnya. Potensi limbah jagung tersebut dapat didayagunakan sebagai sumber *energy alternative*. Pemanfaatan limbah jagung dapat dilakukan melalui berbagai

proses konversi, salah satunya diantaranya adalah proses gasifikasi biomassa.

Melalui penelitian ini produk hasil gasifikasi akan dianalisa bagaimana pengaruh *air fuel ratio* (AFR), kadar air, serta ukuran limbah tongkol jagung terhadap *gas producer* yang dihasilkan.

## 2. TUJUAN PENELITIAN

Adapun Tujuan yang ingin dicapai pada penelitian ini adalah sebagai berikut :

1. Memanfaatkan limbah tongkol jagung menjadi sumber energi baru untuk menghasilkan *syngas* (CO, CO<sub>2</sub>, H<sub>2</sub>, CH<sub>4</sub>, O<sub>2</sub>) pada proses gasifikasi.
2. Mengetahui pengaruh *air fuel ratio* (AFR) dan kadar air limbah tongkol jagung terhadap komposisi dan komponen *syngas* yang dihasilkan.
3. Mendapatkan kualitas dan kuantitas terbaik dari penelitian yang dilakukan.

## 3. METODOLOGI PENELITIAN

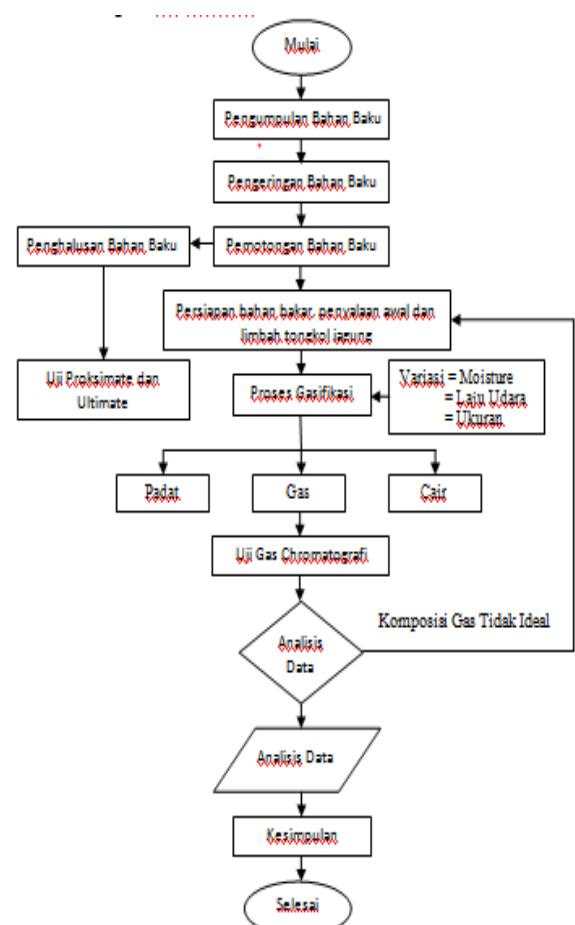
Penelitian yang dilakukan menggunakan metode eksperimental untuk mengetahui gas hasil dari proses gasifikasi dengan teknologi Gasifikasi Biomassa *Updraft* berbahan baku tongkol jagung. Proses berlangsung secara *batch feed system* yaitu metode dengan memasukkan sejumlah biomassa ke dalam reaktor yang sebelumnya sudah ada pematik api dari bara arang dan hasil yang diolah adalah data sampai biomassa didalam *gasifier* dan sudah tidak menghasilkan *syngas*. Penelitian tersebut dilakukan di kampus teknik UNTIRTA.

Pengambilan dan pengumpulan bahan baku berasal dari limbah *home industri sweet corn* di daerah ciloang serang. Kemudian tongkol jagung dipotong sesuai kebutuhan dan dikeringkan dibawah sinar matahari beberapa hari sesuai kadar air yang dibutuhkan.

Pengujian diawali dengan melakukan percobaan pengujian dengan variasi ukuran tongkol jagung dengan variasi laju alir udara 1 m<sup>3</sup>/jam, 1,2 m<sup>3</sup>/jam, 1,33 m<sup>3</sup>/jam serta kadar air 5 %. Setelah mendapatkan data dan *sample gas* dari pengujian diatas dianalisa beberapa *sample gas*. Hasil pengujian dengan kondisi yang diaanggap paling optimum kemudian dilanjutkan dengan pengujian dengan variasi kadar air yang didapatkan dari lama pengeringan yaitu 3 hari ( kadar air 5,05 % ), 2 hari ( kadar air 10,89 % ) dan 1 hari % ( 14,21 % ).

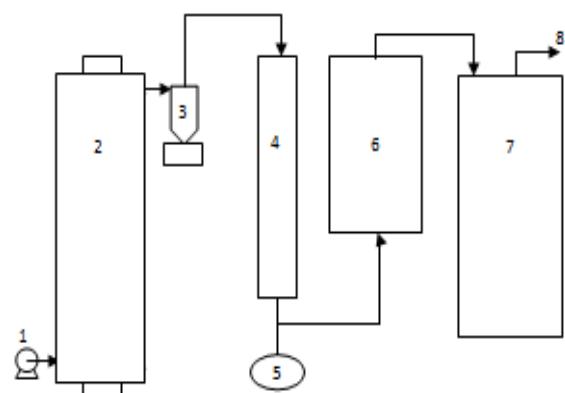
Pengujian kadar air dan karakteristik bahan baku tongkol jagung dilakukan beberapa pengujian yaitu dengan analisa *proximate* dan *ultimate*. Dan pengujian gas hasil gasifikasi

dilakukan pengujian yaitu pengujian komposisi gas dengan analisa *Gas Chromatograph* di PT. Amoco Mitsui PTA Indonesia.



Gambar 3.1 Diagram Alir Penelitian

Pada penelitian ini digunakan peralatan serta alat-alat ukur untuk proses gasifikasi sebagai berikut :



Gambar 3.2 Alat percobaan gasifikasi tipe updraft

Keterangan :

1. Kompressor
2. Reaktor gasifikasi tipe *updraft*

3. Siklon
4. Kondensor
5. Penampung produk cairan
6. *Filter*
7. Penampung produk gas
8. *Burner*

## 4. ANALISA DAN PEMBAHASAN

### 4.1. Distribusi Suhu *Gasifier*

Daerah pengeringan terjadi ketinggian 45 cm sampai dengan 60 cm dalam reaktor dengan suhu antara 25 °C sampai dengan 150 °C. Daerah pirolisis terjadi pada ketinggian reaktor 30 cm sampai dengan 45 cm dengan suhu 150 °C sampai dengan 600 °C. Daerah pembakaran terjadi pada ketinggian antara 0 cm sampai dengan 15 cm dengan suhu 400 °C sampai dengan 800 °C, suhu pembakaran kemungkinan lebih besar lagi dikarenakan pusat pembakaran kemungkinan berada diantara daerah tersebut. Daerah reduksi terjadi antara ketinggian reaktor 15 sampai dengan 30 cm dengan suhu 300 °C sampai dengan 700 °C.

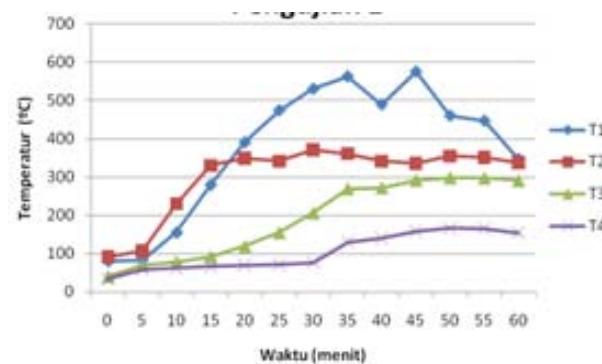
Daerah gasifikasi dalam *gasifier* selama proses berlangsung diperlihatkan pada gambar dibawah. Profil ini telah menggambarkan adanya daerah-daerah gasifikasi yaitu pengeringan, pirolisa, pembakaran, dan reduksi yang diidentifikasi dengan jangkauan suhu pada daerah tersebut. Pada grafik 4.1, 4.2 dapat dilihat secara umum pergerakan (*trend*) suhu didalam reaktor mengalami perubahan. Hal ini dikarenakan proses oksidasi sejumlah bahan bakar yang terjadi didalam reaktor dari waktu ke waktu selama proses berlangsung menghasilkan panas yang tidak sama sehingga menyebabkan distribusi suhu yang fluktuatif. Hal ini disebabkan adanya :

1. Ketidakseragaman ukuran dan pencampuran bahan bakar yang tidak merata.
2. Laju pergerakan bahan bakar dan pembentukan abu yang turun ke bawah tidak tetap

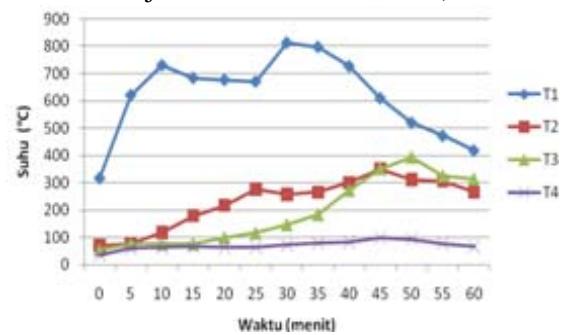
### 4.2. Pengaruh ukuran bahan terhadap distribusi suhu *gasifier* pada laju udara 1 m<sup>3</sup>/jam dan kadar air 5,05 %

Perbedaan ukuran bahan bakar juga mempengaruhi laju pembentukan abu. Bahan bakar yang berukuran lebih kecil akan lebih

cepat terbakar dan menjadi abu, dan sebaliknya.



Gambar 4.1. Distribusi suhu *gasifier* tongkol jagung ukuran besar (pada laju udara 1 m<sup>3</sup>/jam dan kadar air 5,05 %)

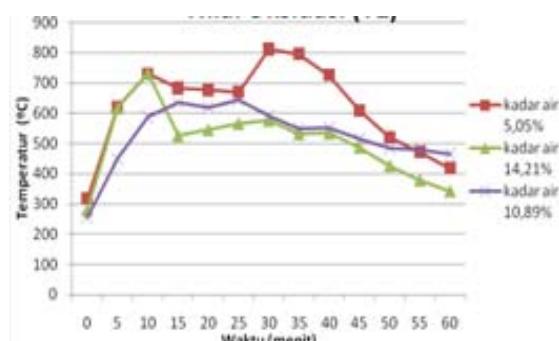


Gambar 4.2. Distribusi suhu *gasifier* tongkol jagung ukuran kecil

Pada grafik perbandingan nilai oksidasi (T1) bahan bakar ukuran besar lebih kecil bahan bakar kecil, dikarenakan pada bahan bakar besar terdapat tongkol jagung yang menghalangi saluran udara yang masuk ke dalam zona oksidasi. Adanya hambatan dari bahan bakar akan mempengaruhi distribusi dan pencampuran udara dengan bahan bakar didalamnya. Sehingga hal ini juga akan mempengaruhi kecepatan reaksi kinetik dari bahan bakar dan mengakibatkan bahan bakar tidak terbakar secara merata.

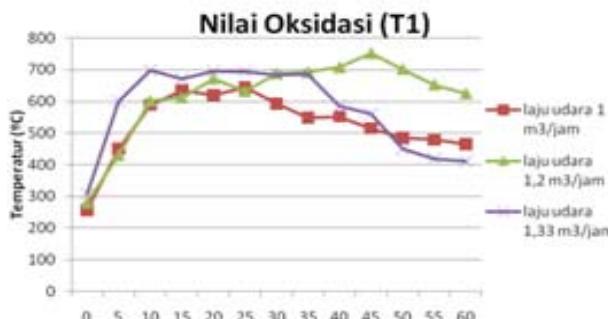
### 4.3. Pengaruh kadar air terhadap distribusi suhu *gasifier*

Pada grafik perbandingan percobaan dengan tiga kadar air yang berbeda, semakin besar kadar air yang terkandung didalam bahan bakar maka akan menurunkan suhu operasi proses. Hal ini dikarenakan besarnya kandungan air akan menambah panas yang diperlukan untuk menguapkan air, panas didapat dari proses pembakaran bahan bakar itu sendiri. Rendahnya panas yang dihasilkan pada daerah pembakaran akan mengakibatkan suhu pada daerah pirolisis dan reduksi menjadi rendah.



Gambar 4.3 Perbandingan nilai oksidasi ( $^{\circ}\text{C}$ ) terhadap waktu dengan variasi kadar air

#### 4.4 Pengaruh laju udara terhadap distribusi suhu *gasifier* pada ukuran bahan bakar kecil dan kadar air 10,89 %



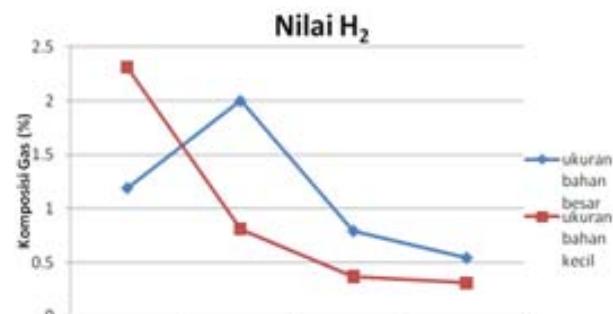
Gambar 4.4 Perbandingan nilai oksidasi ( $^{\circ}\text{C}$ ) terhadap waktu dengan variasi laju udara

Besarnya nilai distribusi suhu di dalam reaktor memiliki perubahan suhu yang berbeda-beda untuk setiap variabel udara yang disuplai ke dalam reaktor. Hal ini dikarenakan pengaruh jumlah udara yang disuplai ke dalam reaktor yang berakibat pada temperatur zona oksidasi. Suhu pada zona oksidasi ini mempengaruhi suhu pada ketiga zona lainnya yaitu zona pirolisis, reduksi, dan pengeringan di dalam reaktor. Pada grafik perbandingan laju udara, semakin besar jumlah udara yang disuplai ke dalam reaktor maka distribusi suhu di dalam reaktor juga semakin besar dan sebaliknya.

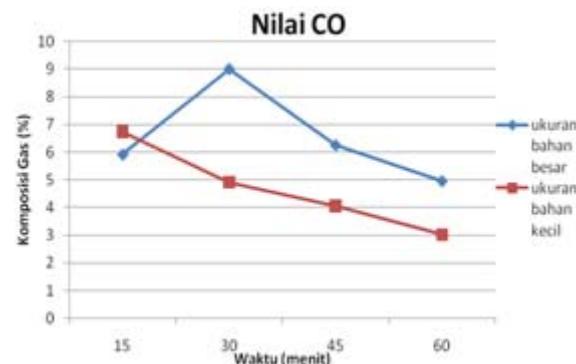
#### 4.5 Pengaruh ukuran bahan terhadap komposisi gas

Pada grafik perbandingan komposisi  $\text{H}_2$  terhadap waktu, semakin lama waktu maka semakin berkurang komposisi  $\text{H}_2$ . Kadar  $\text{H}_2$  ukuran bahan kecil terjadi penurunan dari menit 15 (2,31 %) sampai menit 60, sebaliknya kadar  $\text{H}_2$  ukuran bahan besar terjadi kenaikan di menit 30 (2 %) setelah itu penurunan sampai menit 60 dikarenakan ukuran partikel yang lebih kecil akan mengakibatkan penurunan tekanan dan banyaknya tar pada aliran gas keluar. Nilai  $\text{CO}$  pada ukuran bahan kecil lebih rendah daripada nilai  $\text{CO}$  pada ukuran bahan besar.

tar pada aliran gas keluar. Besarnya penurunan tekanan berperan menurunkan muatan gas dalam peralatan *gasifier* yang mengakibatkan rendahnya suhu gasifikasi sehingga menghasilkan banyak tar.



Gambar 4.5 Perbandingan nilai  $\text{H}_2$  (%) terhadap waktu pada ukuran bahan baku besar dan bahan baku kecil



Gambar 4.6 Perbandingan nilai  $\text{CO}$  (%) terhadap waktu pada ukuran bahan baku besar dan bahan baku kecil

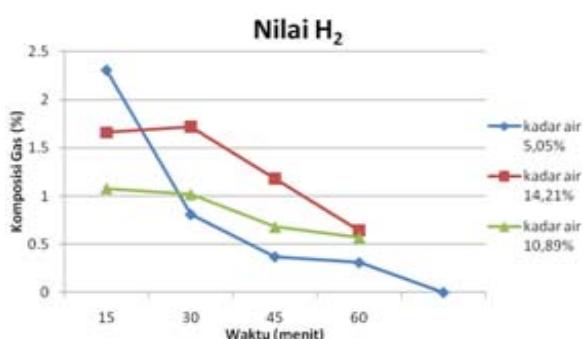
Pada grafik perbandingan komposisi  $\text{CO}$  terhadap waktu, semakin lama waktu maka semakin berkurang komposisi  $\text{CO}$ . Kadar  $\text{CO}$  ukuran bahan kecil terjadi penurunan dari menit 15 (6,73 %) sampai menit 60, sebaliknya kadar  $\text{CO}$  ukuran bahan besar terjadi kenaikan di menit 30 (9,01 %) setelah itu penurunan sampai menit 60. Ukuran partikel yang lebih kecil akan mengakibatkan penurunan tekanan dan banyaknya tar pada aliran gas keluar. Nilai  $\text{CO}$  pada ukuran bahan kecil lebih rendah daripada nilai  $\text{CO}$  pada ukuran bahan besar.

Pada grafik perbandingan komposisi  $\text{CH}_4$  terhadap waktu, semakin lama waktu maka semakin berkurang komposisi  $\text{CH}_4$ . Semakin besar ukuran tongkol jagung maka nilai komposisi gas yang dihasilkan semakin kecil. Dan pada tongkol jagung yang berukuran lebih kecil mengandung komposisi gas yang mudah terbakar yang lebih tinggi.



Gambar 4.7 Perbandingan nilai  $\text{CH}_4$  (%) terhadap waktu pada ukuran bahan baku besar dan bahan baku kecil

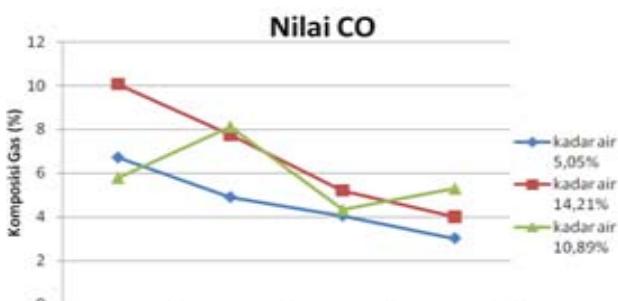
#### 4.6 Pengaruh kadar air terhadap komposisi gas pada ukuran bahan bakar kecil dan laju udara $1 \text{ m}^3/\text{jam}$



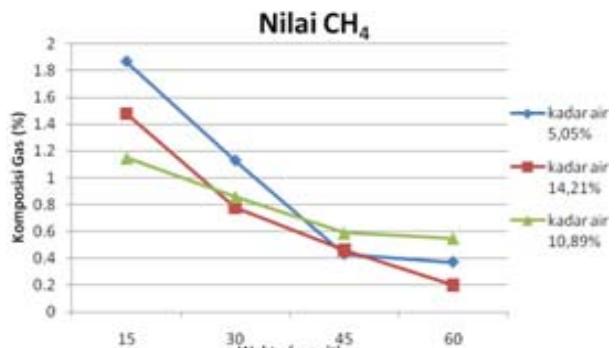
Gambar 4.8 Perbandingan nilai  $\text{H}_2$  (%) terhadap waktu dengan variasi kadar air

Gambar 4.8. menunjukkan bahwa komposisi  $\text{H}_2$  menurun dengan turunnya kadar air pada bahan bakar, hal ini dapat dijelaskan dengan naiknya kadar air pada bahan bakar akan menambah jumlah  $\text{H}_2\text{O}$  yang dapat dihasilkan pada daerah pengeringan yang berperan dalam pembentukan gas  $\text{H}_2$ .

Komposisi nilai CO juga mengalami penurunan sering dengan menurunnya kadar air pada tongkol jagung seperti pada gambar 4.9. Hal ini dapat dijelaskan dengan semakin besarnya kandungan air dalam bahan bakar akan menurunkan suhu reduksi, turunnya suhu reduksi mengakibatkan laju pengkonversian  $\text{CO}_2$  menjadi CO pada daerah reduksi berkurang. Komposisi CO akan meningkat dengan turunnya kandungan air pada bahan bakar.



Gambar 4.9 Perbandingan nilai CO (%) terhadap waktu dengan variasi kadar air



Gambar 4.10 Perbandingan nilai  $\text{CH}_4$  (%) terhadap waktu dengan variasi kadar air

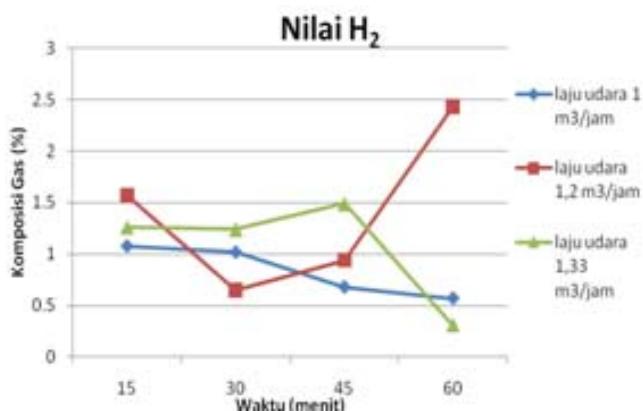
Pada grafik perbandingan komposisi  $\text{CH}_4$  terhadap waktu, semakin lama waktu maka semakin berkurang komposisi  $\text{CH}_4$ . Kadar  $\text{CH}_4$  pada kadar air 5,05 % terjadi penurunan dari menit 15 (1,87 %) sampai menit 60, dan kadar  $\text{CH}_4$  pada kadar air 14,21 % terjadi penurunan dari menit 15 (1,48 %) sampai menit 60, dan kadar  $\text{CH}_4$  pada kadar air 10,89 % juga terjadi penurunan dari menit 15 (1,15 %) sampai menit 60. Hal ini dapat dijelaskan dengan kenaikan kadar air akan menurunkan suhu operasi *gasifier*, penurunan suhu ini akan mengurangi jumlah  $\text{H}_2\text{O}$  yang dihasilkan serta laju reaksi  $\text{C}$  dan  $\text{H}_2\text{O}$  untuk menghasilkan  $\text{H}_2$  pada daerah reduksi.

#### 4.7 Pengaruh laju udara terhadap komposisi gas pada ukuran bahan bakar kecil dan kadar air 10,89 %

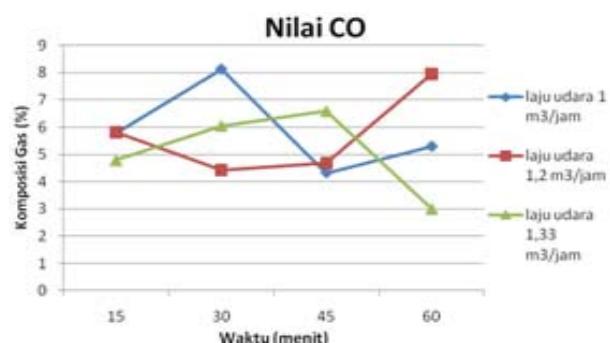
Pada grafik 4.11, 4.12, 4.13 terlihat bahwa konsentrasi kandungan *synthetics gas* pada gas mudah terbakar (*combustible gas*) cenderung mengalami penurunan dengan meningkatnya rasio udara-bahan bakar (*Air Fuel Ratio*). Hal ini dikarenakan peningkatan laju alir udara yang masuk melalui pengaturan *rotameter* pada kompresor yang akan meningkatkan rasio udara-bahan bakar (*Air Fuel Ratio*).

Jumlah aliran udara yang terlalu rendah mengakibatkan suhu pembakaran yang dihasilkan rendah. Sehingga proses pemanasan (*pirolisis*) bahan bakar yang akan digasifikasi menjadi tidak efisien. Sedangkan jumlah aliran udara yang terlalu tinggi akan mengakibatkan proses

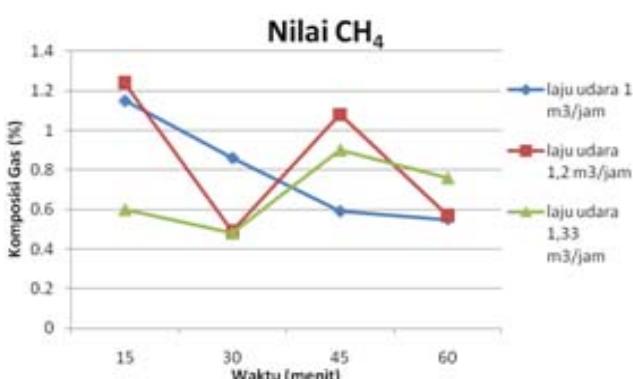
gasifikasi yang terjadi mengarah ke pembakaran sempurna. Sehingga gas produser yang dihasilkan lebih banyak mengandung karbodioksida ( $\text{CO}_2$ ) dibandingkan karbonmonoksida (CO).



Gambar 4.11 Perbandingan nilai  $\text{H}_2$  (%) terhadap waktu dengan variasi laju udara



Gambar 4.12 Perbandingan nilai CO (%) terhadap waktu dengan variasi laju udara



Gambar 4.13 Perbandingan nilai  $\text{CH}_4$  (%) terhadap waktu dengan variasi laju udara

Pada grafik perbandingan komposisi  $\text{CH}_4$  terhadap waktu, terlihat bahwa jumlah aliran udara yang terlampaui rendah mengakibatkan suhu

pembakaran yang dihasilkan rendah. Sehingga proses pemanasan (pirolisis) bahan bakar yang akan digasifikasi menjadi tidak efisien. Sedangkan jumlah aliran udara yang terlampaui tinggi akan mengakibatkan proses gasifikasi yang terjadi mengarah ke pembakaran sempurna. Semakin luas daerah pirolisis maka kualitas gas yang dihasilkan akan lebih baik, karena akan menghasilkan lebih banyak produk pirolisis terutama gas mampu bakar ( $\text{CO}$ ,  $\text{CH}_4$ ,  $\text{H}_2$ ) dan char yang digunakan pada proses berikutnya atau menjadi produk langsung.

## 5. KESIMPULAN

Dari hasil percobaan gasifikasi tongkol jagung menggunakan *gasifier* aliran keatas (*updraft*) dapat diambil kesimpulan sebagai berikut:

1. Secara fungsional *gasifier* telah dapat bekerja untuk menghasilkan *producer gas* dengan terbantunya daerah gasifikasi (pembakaran, reduksi, pirolisis, pengeringan).
2. Perbandingan ukuran bahan baku kecil lebih baik dari pada ukuran tongkol jagung besar dari segi suhu gasifier serta hasil komposisi gas yang dihasilkan. Perbandingan kadar air dengan kandungan air 5,05 %; 14,21 %; 10,89 %, kadar air 10,89 % lebih baik berdasarkan hasil komposisi gas yang dihasilkan. Perbandingan AFR dengan 1,2; 1,4; 1,6, nilai AFR 1,4 yaitu laju udara 1,2 lebih baik berdasarkan hasil komposisi gas yang dihasilkan.
3. Dari hasil pengujian komposisi gas yang dihasilkan berdasarkan perbandingan variasi kadar air dan *air fuel ratio* (AFR) didapatkan perbandingan yang terbaik yaitu dengan tongkol jagung ukuran kecil dengan kadar air 10,89 % serta nilai AFR 1,4 atau laju udara 1,2  $\text{m}^3/\text{h}$  yaitu dengan komposisi gas komposisi syngas ( $\text{CH}_4$  1,24 %,  $\text{H}_2$  2,43 %,  $\text{CO}$  7,95 %) serta komposisi gas lainnya ( $\text{CO}_2$  15,99 % dan  $\text{O}_2$  4,09 %).

## Referensi

- [1] Alexis T Belonio. 2005. "Rice Husk Gas Stove Handbook". Iloilo. Filipina
- [2] Bridgwater, AV. 2002. "Thermal Processing of Biomass for Fuels and Chemical", Paper, 6<sup>th</sup> Asia-Pacific International Symposium on Combustion and Energy Utilization. Paper.
- [3] Compoy, M., Gomes-Barea, A., Villanueva, A.L., Ollera, P. 2008. "Air-Steam Gasification of Biomass in A Fluidized Bed Under Simulated Autothermal and Adiabatic

Condition”, Ind. Eng. Chem.Res.,47, 5957-5965

[4] Diebold, J.P. 1999. “Overview of Fast Pyrolysis of Biomass for The Production of Liquid Fuels”. USA.

[5] Federal Emergency Management Agency. “Construction of a Simplified Wood Gas Generators for Fueling Internal Combustion Engines in a Petroleum Emergency Final Report”. Washington D.C. Maret 1989

[6] Guo, J., Lua, A.C. 2000. “Kinetic Study on Pyrolysis of Extracted Oil Palm Fiber”. Journal Of Thermal Analysis and Calorimeter, Vol 59, 763-774.

[7] Jayah, T.H., Aye, L., Fuller, R.J., dan Stewart, D.F. 2003. Computer simulation of downdraft wood gasifier for tea drying. “*Journal of Biomass and Bioenergi*”. Vol 25, pp 459-469.

[8] Kaup, A., Gross, J.R. 1981. ”State of The Art Report for Small Scale (to 50 KW) Gas Producer Engine System”. Department of Agricultural Engineering University of California

[9] Kurniadi, S. 1989. “Pirolisis Kulit Biji Jambu Mete Secara Batch dengan Prinsip Oksidasi Partial”. Laboratorium Proses Kimia Jurusan Teknik Kimia Universitas Gadjah Mada. Yogyakarta.

[10] Krisna, Bayu Pramudita. 2008. ”Karakterisasi Gasifikasi Tongkol Jagung dalam Gasifier Belonio”. Program Studi Teknik Kimia Fakultas Teknologi Industri Institut Teknologi Bandung

[11] Mathieu, P. dan Dubuisson, R. 2002. ”Performance Analysis Of Biomass Gasifier”. *Journal of Energi Conversion and Management*, Vol 43, pp 1291-1299

[12] Sulistyaningati, 1985, “Pirolisis Tempurung Kelapa Secara Batch” dengan Prinsip Oksidasi Partial”. Laboratorium Proses Kimia Jurusan Teknik Kimia Universitas Gadjah Mada. Yogyakarta

[13] Susanto, Herri. “Penerapan Teknologi Gasifikasi”. Poster. 2004

[14] Tsai. W.T., Lee, M.K., Chang, Y.M.. 2006. “Fast Pyrolysis of Rice Straw, Sugarcane Bagasse and Coconut Shell in A Induction Heating Reactor”. J.Anal.Appl.Pyrolysis,76, 230-237

[15] Wikipedia, Hasil pencarian artikel dengan kata kunci gasification, (<http://en.wikipedia.org/wiki/gasification,2007>).

[16] Wu, S., J. Gu, L. Li, Y. Wu and J. Gao. 2006. ”The Reactivity and Kinetics of Yanzhou Coal Chars from Elevated Pyrolysis Temperature During Gasification in Steam at 900-1200°C”. Department of Chemical Engineering for Energy Resources, East China University of Science and Technology. Shanghai. China

[17] Anonim. 2008. [www.DESDM.go.id](http://www.DESDM.go.id)

[18] Anonim. 2012. [www.deptan.go.id](http://www.deptan.go.id)