

Pengaruh Laju Alir Udara Dan Ukuran Limbah Batang Daun Tembakau Terhadap Syngas Menggunakan Reaktor Gasifikasi Updraft

ENDANG SUHENDI^{1*}, AISAH HASANAH², SYAIDAH ANJARIYAH³

¹Jurusan Teknik Kimia, Fakultas Teknik, Universitas Sultan Ageng Tirtayasa

Jl. Jendral Sudirman Km. 3 Kota Cilegon, Banten 42435

Email : endangs.untirta@gmail.com

Abstrak

Proses gasifikasi merupakan proses pemanfaatan biomassa yaitu dengan mengkonversi biomas (bahan padat) menjadi *syngas*. Biomassa salah satunya yaitu limbah batang daun tembakau karena jumlahnya yang melimpah dan belum dimanfaatkan dengan maksimal. Tujuan penelitian ini adalah sebagai berikut memanfaatkan limbah batang daun tembakau menjadi syngas (CO, H₂, CH₄) sebagai sumber energi baru dalam proses gasifikasi, mendapatkan kondisi optimum dari proses gasifikasi dengan memvariasikan laju alir udara dan ukuran limbah batang daun tembakau terhadap syngas yang dihasilkan. Penelitian ini menggunakan reaktor gasifikasi updraft dengan kapasitas 2 kg. Penelitian dilakukan secara batch dengan pengujian terhadap limbah batang daun tembakau secara proksimat dan ultimat dilanjutkan dengan proses preparasi bahan dan proses gasifikasi. Hasil dari proses gasifikasi dianalisa menggunakan metode gas chromatography. Identifikasi zona tahapan proses gasifikasi dilakukan dengan pemasangan 4 titik pengukuran temperatur sepanjang reaktor gasifikasi untuk mendapatkan zona pengeringan, zona pirolisis, zona oksidasi dan zona reduksi. Berdasarkan hasil penelitian menunjukkan bahwa, hasil optimum didapatkan pada laju alir udara 0,178 lpm dan ukuran limbah batang daun tembakau 0,44-0,64 mm menghasilkan syngas yaitu CO = 10,2 %v, H₂ = 3,61 %v, CH₄ = 1,61 %.

Kata Kunci : Limbah Batang Daun Tembakau, Gasifikasi

Abstract

The gasification process is a process of biomass utilization by converting biomass (solid material) into syngas. One of the Biomass that is used here is tobacco leaf stems wastes, as it is abundant and not maximally utilized. This study aims to convert the wastes into syngas (CO, H₂, CH₄) as a new energy source through a process of gasification, To obtain the optimum conditions of the gasification process, this study varies the air flow rate and the size of tobacco leaves stem by using a 2 kg capacity-updraft gasifier. The study was conducted in a batch that began with proximate and ultimate testing of the tobacco leaf stem wastes and then proceed with the preparation of materials and the gasification process. The results of the process was analyzed by using gas chromatography methods. Zone identification stages of the gasification process were done with the installation of four temperature measurement points along the gasification reactor namely : the drying zone,

pyrolysis zone, oxidation zone and the reduction zone. This research found out that with the air flow rate 0.178 lpm and the size of waste stems of tobacco leaves from 0.44 to 0.64 mm it can be obtained syngas which CO = 10.2% v, H₂ = 3.61% v, CH₄ = 1.61%.

Keywords: the Utilization of Tobacco Stem Leaf Wastes, Gasification

1. PENDAHULUAN

Saat ini bahan bakar untuk energi merupakan faktor penting bagi berlangsungnya sektor industri. Sedangkan cadangan sumber energi berupa minyak bumi semakin berkurang akibat pemakaian yang meningkat dari tahun ke tahun sehingga perlu dilakukan mencari dan memanfaatkan sumber energi alternatif baru dan terbarukan yang berpotensi antara lain tenaga air, panas bumi, mikrohidro, nuklir, tenaga surya, tenaga angin dan biomassa. Potensi sumber energi biomassa di Indonesia berjumlah 49,81 GW dimana kapasitas yang sudah terpasang sebesar 0,3 GW (DESDM, 2008). Di Indonesia pada tahun 2012 terdapat perkebunan swasta dengan total produksi 226.704 ton daun tembakau (Deptan, 2012). Produksi tembakau ini digunakan oleh industri rokok nasional untuk memproduksi rokok sejumlah ± 186 milyar batang rokok pada tahun yang sama. Apabila dianggap 24% dari berat total daun tembakau adalah batang dan tulang daunnya maka produksi limbahnya adalah 54.408,96 ton pada tahun 2012 atau 149,06 ton perharinya. Saat ini limbah dari produksi rokok tersebut belum dapat dikelola dengan baik, hanya dijual kepada petani untuk digunakan sebagai kompos dan sebagian lagi untuk memproduksi pestisida dengan mengambil nikotin yang terkandung didalamnya atau langsung dipakai sebagai bahan bakar pada proses pembakaran langsung yang mengakibatkan polusi udara. Untuk mengatasi hal tersebut, teknologi gasifikasi bisa digunakan. Gasifikasi adalah suatu proses mengubah bahan padatan menjadi syngas (CO, H₂, CH₄) melalui proses pembakaran pada temperatur tinggi didalam reaktor dengan suplai udara terbatas. Hasil pembakaran lebih bersih dan cenderung tidak menimbulkan efek merusak pada lingkungan. Gas CO₂ hasil pembakaran biomassa mudah terurai melalui proses fotosintesis pada tumbuhan. Bahan bakar biomassa juga sedikit mengandung unsur S dan N sehingga gas pembakaran mengandung sedikit emisi gas SO₂ dan NO_x (Mathieu et.al, 2002). Pemilihan reaktor gasifikasi jenis updraft didasarkan pada mekanisme kerja yang sederhana yaitu memiliki aliran berlawanan arah (counter-current) tidak membutuhkan alat tambahan berupa blower hisap sehingga tidak terjadi penyumbatan aliran gas. Penelitian ini dilakukan berdasarkan penelitian sebelumnya yaitu menurut Guswendar, 2010 "Karakteristik Gasifikasi Pada Updraft Double Gas Outlet Gasifier Menggunakan Bahan Bakar Kayu Karet" menghasilkan syngas yang keluar dari daerah atas dan bawah reaktor yaitu daerah atas reaktor menghasilkan CO = 22,69 %v, H₂ = 9,83 %v, CH₄ = 2,66 %v sedangkan daerah bawah reaktor menghasilkan CO = 20,80 %v, H₂ = 9,05 %v, CH₄ = 2,38 %v. Berdasarkan data yang dihasilkan, upaya pengembangan limbah batang daun tembakau dapat dilakukan dengan mengadakan penelitian lebih lanjut pada proses gasifikasi untuk menghasilkan syngas.

Tembakau adalah tanaman musiman yang tergolong dalam tanaman perkebunan. Pemanfaatan tembakau terutama pada daunnya yaitu untuk pembuatan rokok. Tanaman tembakau diklasifikasikan sebagai berikut :

- a. Family : Solanaceae
- b. Sub Family : Nicotianae
- c. Genus : Nicotianae
- d. Spesies : Nicotiana tabacum dan Nicotiana rustica (Cahyono, 1998)

Species *Nicotiana tabacum* terdapat varietas yang amat banyak jumlahnya dan untuk tiap daerah terdapat perbedaan jumlah kadar nikotin, bentuk daun dan jumlah daun yang dihasilkan. Proporsi kadar nikotin banyak bergantung kepada varietas, tanah tempat tumbuh tanaman dan kultur teknis serta proses pengolahan daunnya (Abdullah, 1982).

Tanaman tembakau mempunyai bagian-bagian sebagai berikut :

1. Akar
2. Batang
3. Daun
4. Bunga

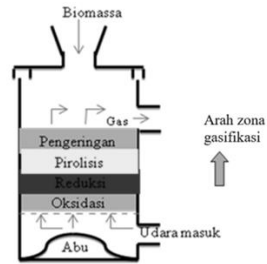
Limbah batang daun tembakau adalah hasil dari sortir berupa batang dan tulang daun pada daun tembakau yang keberadaannya tidak diinginkan dalam proses produksi rokok karena menurunkan kualitas rokok yang dihasilkan. Daun tembakau secara umum terdiri dari daun, tulang daun dan basal yaitu bagian batang pada daun tembakau sekitar 18 % dari berat daun keseluruhan. Jadi berat total batang dan tulang daun pada daun tembakau adalah sekitar 24 % dari berat totalnya. Secara nasional, pada tahun 2012 produksi daun tembakau keseluruhan adalah ± 226.704 ton, maka limbah yang dihasilkan sebanyak 54.408,96 ton pada tahun 2012 atau 149,06 ton perharinya.

1.1. Proses Gasifikasi

Proses gasifikasi biomassa merupakan proses konversi secara termo-kimia bahan biomassa padat menjadi gas. Proses gasifikasi pada dasarnya merupakan proses pirolisa pada suhu sekitar 150-900 °C, diikuti oleh proses oksidasi gas hasil pirolisa pada suhu 900-1400 °C, serta proses reduksi pada suhu 600-900 °C (Abdullah, 1998). Baik proses pirolisa maupun reduksi yang berlangsung dalam reaktor gasifikasi terjadi dengan menggunakan panas yang diperoleh dari proses oksidasi. Gasifikasi berlangsung dalam keadaan kekurangan oksigen maka gasifikasi biomassa disebut sebagai reaksi oksidasi parsial biomassa, menghasilkan campuran gas yang masih dapat dioksidasi lebih lanjut atau bersifat bahan bakar. Bahan baku yang digunakan untuk proses gasifikasi menggunakan bahan yang mengandung hidrokarbon seperti batubara, petroleum coke, dan biomassa. Alat atau ruang yang digunakan untuk menggasifikasi biomassa dinamakan gasifier atau reaktor gasifikasi. Terdapat dua tipe umum reaktor gasifikasi yang biasa digunakan menurut jalannya udara dan gas didalam reaktor gasifikasi diantaranya adalah tipe fixed bed dan fluidized bed.

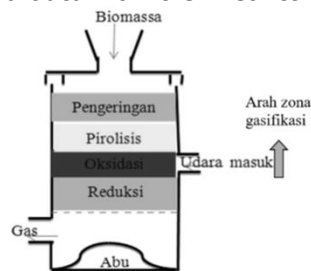
Pada tipe reaktor fixed bed ini terjadi aliran secara lambat biomassa dalam reaktor secara gravitasi, oleh karena itu disebut juga sebagai moving bed. Pada tipe fixed bed, biomassa akan mengalir ke bawah secara lambat dalam reaktor berbentuk tabung dan dengan laju pembakaran yang terjadi pada bagian bawah tumpukan tersebut. Pada tipe tersebut selama proses gasifikasi, nyala api terjadi dibagian bawah reaktor Ada beberapa tipe reaktor fixed bed antara lain tipe updraft (counter- current) dan tipe downdraft (cocurrent)

Gasifikasi tipe updraft merupakan gasifikasi aliran berlawanan arah (counter-current), dimana umpan biomassa dimasukan dari bagian atas dan udara dari bagian bawah reaktor. Kelebihan gasifikasi jenis updraft adalah memiliki prinsip kerja counter-current sehingga tidak terjadi penyumbatan aliran gas, suhu gas lebih rendah dan efisiensi panas tinggi. Kekurangan dari gasifikasi jenis ini adalah produksi asap yang berlebihan dalam operasinya dan produksi tar yang begitu tinggi.



Gambar 1. Reaktor Gasifikasi Updraft

Gasifikasi tipe downdraft merupakan gasifikasi aliran searah (co-current), dimana umpan biomassa dimasukkan dari bagian atas dan udara dihembuskan dari samping reaktor menuju ke zona oksidasi. Kelebihan gasifikasi jenis ini adalah waktu yang dibutuhkan untuk start up dan pengoperasian pada kondisi optimal sekitar 20-30 menit. Waktu tersebut lebih singkat dibandingkan dengan waktu yang dibutuhkan oleh reaktor gasifikasi jenis updraft.

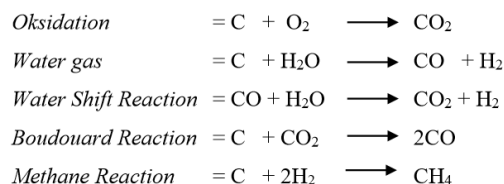


Gambar 2. Reaktor tipe down-draft

1.2. Gas Produser

Gasifikasi limbah batang daun tembakau dihasilkan didalam suatu reaktor gasifikasi. Jumlah udara yang terbatas disuplai dari blower menuju reaktor untuk merubah limbah batang daun tembakau menjadi karbon melalui proses termokimia, hasil dari proses tersebut menghasilkan combustible gas berupa karbon monoksida, hidrogen dan metana (Belonio, 2005).

Reaksi kimia selama proses gasifikasi berlangsung, dapat diuraikan sebagai berikut :



1.3. Faktor-Faktor yang Mempengaruhi Proses Gasifikasi

Beberapa faktor yang mempengaruhi proses gasifikasi yaitu sebagai berikut :

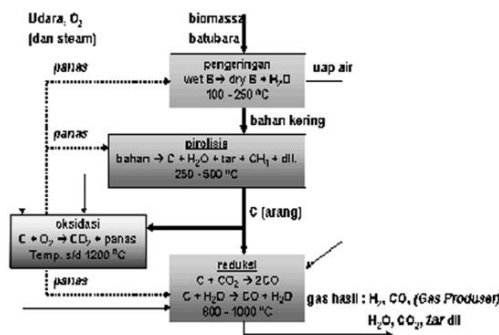
1. Waktu
2. Kandungan energi biomassa
3. Kandungan air
4. Ukuran biomassa
5. Kecepatan Aliran Udara

1.4. Proses-Proses Pada Reaktor Gasifikasi

Gasifikasi memiliki tujuan untuk memutuskan ikatan dari molekul kompleks menjadi gas sederhana yang mudah terbakar yaitu CO, H₂ dan CH₄. Ketiga gas tersebut merupakan gas

Pengaruh Laju Alir Udara Dan Ukuran Limbah Batang Daun Tembakau Terhadap Syngas Menggunakan Reaktor Gasifikasi Updraft

bersih dimana hanya memerlukan satu atom oksigen untuk dibakar menghasilkan CO₂ dan H₂O. Hal inilah yang menyebabkan gasifikasi memiliki emisi yang relatif bersih karena tujuan dari gasifikasi adalah untuk mengendalikan proses termal secara terpisah yang biasanya tercampur dalam proses pembakaran sederhana dan diatur untuk menghasilkan produk yang diinginkan. Gasifikasi terdiri dari empat tahapan terpisah yaitu proses pengeringan, proses pirolisis, proses oksidasi dan proses reduksi. Proses tersebut terjadi pada rentang temperatur yang berbeda. Penjelasan lebih lanjut dapat diuraikan sebagai berikut :



Gambar 3. Proses-Proses Pada Reaktor Gasifikasi (Susanto, 2004)

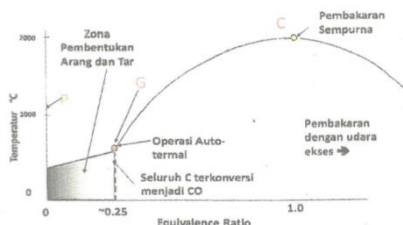
Proses gasifikasi dapat berfungsi dengan baik ada beberapa parameter yang harus diperhatikan untuk dijaga pada batasan tertentu. Pada proses gasifikasi memiliki batasan AFR 1-1,5 untuk menentukan air fuel ratio gasifikasi dapat digunakan rumus :

$$AFR = \frac{m \text{ udara pembakaran}}{m \text{ bahan bakar}}$$

$$AFR = \frac{\rho \times A_1 \times V}{m \text{ bahan bakar/t}} \dots \dots \dots (1)$$

dimana :

- m = laju aliran massa (kg/s)
- ρ = massa jenis fluida (kg/m³)
- A₁ = luas penampang pipa masuk (m²)
- V = laju udara (m/s)
- Parameter Equivalence Ratio (ER)



Gambar 4. Karakteristik Proses Pirolisis, Gasifikasi dan Pembakaran.

Teknologi pengolahan biomassa memiliki tiga metode yaitu pirolisis, gasifikasi, dan pembakaran. Ketiga metode tersebut dibedakan berdasarkan kebutuhan udaranya saat proses konversi berlangsung. ER adalah perbandingan udara aktual dengan udara stoikiometri dalam pengujian dengan batasan ER untuk gasifikasi antara 0,2 s/d 0,4. Untuk menentukan ER dapat digunakan rumus sebagai berikut :

$$ER = \frac{AFR \text{ aktual}}{AFR \text{ stoikiometri}} \dots\dots\dots (2)$$

2. METODOLOGI PENELITIAN

2.1. Alat dan bahan yang digunakan

Adapun bahan-bahan yang digunakan pada penelitian ini adalah sebagai berikut : Limbah batang daun tembakau berasal dari PD.Tarumartani Yogyakarta, Kerosin, Arang



Gambar 5. Alat Gasifikasi updraf

2.2. Prosedur Penelitian

Limbah batang daun dikeringkan menggunakan sinar matahari dengan kadar air $\pm 16\%$, kemudian dimasukan ke dalam crusher dan di screening untuk mendapatkan ukuran 0,44-0,64 dan 0,64-0,89 mm.

Air pendingin dialirkan secara continue, memasukan arang yang sudah dibakar ke dalam reaktor sebagai ignitor dan mulai menghidupkan blower kemudian menambahkan limbah batang daun tembakau ke dalam reaktor. Setelah kondisi oksidasi berlangsung dianggap sebagai awal reaksi hingga mencapai suhu tertentu, tiap 20 menit sekali dicatat suhu operasinya. Gas yang dihasilkan dianalisa untuk diketahui konsentrasinya dengan diinjeksikan menggunakan syringe ke dalam gas chromatography.

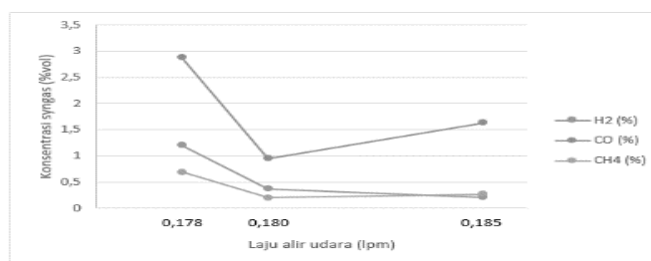
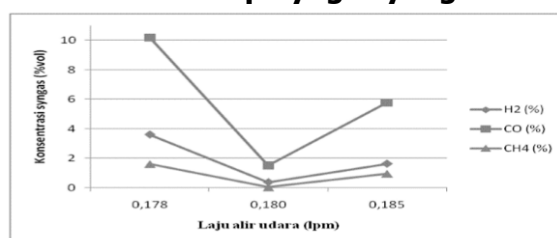
3. HASIL DAN PEMBAHASAN

Penelitian ini dilakukan menggunakan metode batch feed system dengan waktu operasi 2 jam yaitu metode satu kali proses dengan memasukkan sejumlah limbah batang daun tembakau ke dalam reaktor gasifikasi updraft kemudian disulut api dan produknya langsung ditampung untuk dianalisa. Dibutuhkan waktu pembersihan 30 menit sebelum reaktor digunakan kembali. Kondisi setiap pengujian menggunakan metode dan sistem yang sama secara berulang dengan tujuan mendapatkan data yang akurat. Oleh karena laju alir udara dan ukuran limbah batang daun tembakau sangat berperan dalam menghasilkan kualitas syngas maka penelitian ini dilakukan dengan memvariasikan laju alir udara yaitu; 0,178; 0,180; 0,185 lpm dan ukuran limbah batang daun tembakau yaitu 0,44-0,64 dan 0,64-0,89 mm dalam upaya untuk memanfaatkan limbah batang daun tembakau menjadi syngas (CO, H₂, CH₄) sebagai sumber energi baru dalam proses gasifikasi dan mendapatkan kondisi optimum proses gasifikasi terhadap syngas yang dihasilkan. Limbah batang daun tembakau yang akan digunakan dilakukan pengujian proksimat dan ultimat dengan data sebagai berikut :

Tabel 1. Hasil Pengujian Limbah Batang Daun Tembakau (Indonesian Power, 2014)

No.	Parameter Pengujian	Hasil Pemeriksaan (air dried basis)
1.	Moisture	16,7 %wt
2.	Ash content	14,16 %wt
3.	Volatile matter	65,21 %wt
4.	Fixed carbon	4,46 %wt
5.	Total sulphur	0,12 %wt
6.	Karbon (C)	36,85 %wt
7.	Hidrogen (H)	3,85 %wt
8.	Sulfur (S)	0,12 %wt
9.	Oksigen (O)	28,31 %wt
10.	Nitrogen (N)	0,54 %wt

3.1 Pengaruh Laju Alir Udara Terhadap Syngas yang Dihasilkan



Gambar 5. Pengaruh Laju Alir Udara 0,178; 0,180; 0,185 lpm Terhadap Konsentrasi Syngas pada ukuran: (a) 0,44-0,64 mm; (b) 0,64-0,89 mm.

Berdasarkan Gambar 5. Pengaruh Laju Alir Udara 0,178; 0,180; 0,185 lpm Terhadap Konsentrasi Syngas menunjukkan bahwa semakin tinggi laju alir udara maka semakin rendah

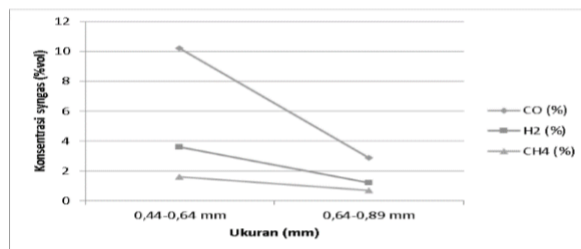
konsentrasi syngas (CO, H₂, CH₄) yang dihasilkan. Peningkatan laju alir udara akan meningkatkan nilai air fuel ratio (AFR) karena laju alir udara yang besar tidak sebanding dengan jumlah biomassa yang lebih kecil menyebabkan udara yang dihembuskan ke dalam reaktor berlebih, maka akan banyak terbentuk non combustible gas (CO₂, N₂, O₂). Konsentrasi syngas pada laju alir udara 0,178 lpm lebih tinggi dibandingkan pada laju alir udara 0,180 dan 0,185 lpm yaitu CO sebesar 10,20%v, H₂ sebesar 3,61%v, CH₄ sebesar 1,61%v, hal ini dikarenakan udara yang dihembuskan ke dalam reaktor memenuhi batasan rasio udara-bahan bakar (AFR) yaitu sebesar 1-1,5 dalam proses gasifikasi sehingga karbon terkonversi menjadi gas seluruhnya yang berpengaruh terhadap proses pembentukan syngas sedangkan pada laju alir udara 0,180 lpm terjadi penurunan konsentrasi karena proses oksidasi yang terjadi tidak efektif mengakibatkan temperatur operasi menjadi rendah hanya mencapai 923,5 °C sedangkan pada laju alir udara 0,185 lpm lebih tinggi yaitu sebesar 1125,6°C. Penurunan konsentrasi syngas juga dipengaruhi oleh jumlah udara yang dihembuskan ke dalam reaktor lebih dari batasan air fuel ratio sehingga produk telah mengalami pembakaran sempurna. Hal ini dapat ditunjukkan nilai AFR hasil perhitungan untuk tiap penelitian adalah sebagai berikut:

Tabel 2. Nilai AFR Hasil Penelitian Reaktor Gasifikasi Updraft

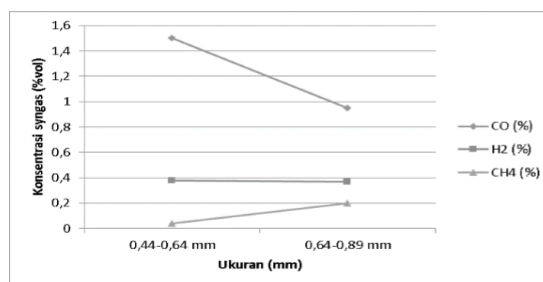
No.	Laju Alir Udara (kg/jam)	Massa Bahan Baku (kg)	Kecepatan Udara (m/jam)	Air Fuel Ratio (AFR)	Equivalence Ratio (ER)
1.	1,53	2	45359,68	1,5	0,4
2.	1,55	2	45861,07	1,55	0,43
3.	1,60	2	47337,42	1,60	0,45

Berdasarkan Tabel 2. Nilai AFR Hasil Penelitian Reaktor Gasifikasi Updraft diperoleh equivalence ratio (ER) sebesar 0,4; 0,43; 0,45. Dimana nilai equivalence ratio (ER) untuk proses gasifikasi harus dibawah 1,0 untuk memastikan bahwa bahan bakar akan tergasifikasi. Nilai ER kurang dari 0,2 menghasilkan beberapa masalah seperti proses gasifikasi menjadi tidak sempurna, jumlah umpan biomassa yang berlebih dan produksi gas dengan nilai panas yang rendah sedangkan ER lebih dari 0,25 menghasilkan gas produk yang telah terbakar sehingga dapat menaikkan temperatur dan apabila nilai ER lebih dari 0,4 jumlah produk yang telah mengalami pembakaran sempurna lebih banyak (Basu, 2010).

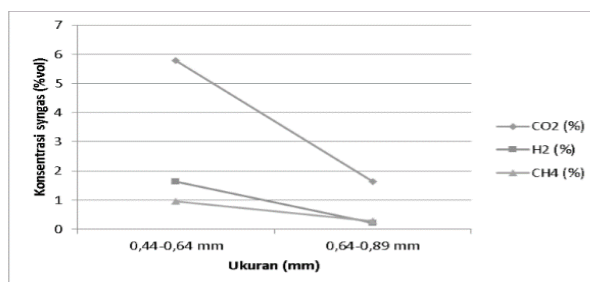
3.2 Pengaruh Ukuran Limbah Batang Daun Tembakau Terhadap Syngas yang Dihasilkan



(a)



(b)



(c)

Gambar 6. Pengaruh Ukuran Limbah Batang Daun Tembakau 0,44-0,64 dan 0,64-0,89 mm Terhadap Konsentrasi Syngas pada laju alir: (a) 0,178 lpm; (b) 0,180 lpm; (c) 0,185 lpm.

Berdasarkan Gambar 6. Pengaruh Ukuran Limbah Batang Daun Tembakau 0,44-0,64 dan 0,64-0,89 mm Terhadap Konsentrasi Syngas menunjukkan semakin besar ukuran limbah batang daun tembakau maka semakin rendah konsentrasi syngas yang dihasilkan. Ukuran yang terlalu besar akan mengurangi reaktifitas limbah batang daun tembakau. Besarnya jangkauan distribusi ukuran akan mempengaruhi proses oksidasi menjadi tidak efektif. Proses oksidasi yang tidak efektif akan mengakibatkan temperatur operasi menjadi rendah sehingga akan mempengaruhi produksi syngas. Ukuran limbah batang daun tembakau yang terlalu besar akan memberikan banyak ruang kosong untuk udara yang masuk ke dalam reaktor gasifikasi dan jarak antar partikel limbah batang daun tembakau yang satu dengan yang lainnya lebih longgar sehingga udara dapat bergerak lebih cepat melewati celah-celah antar partikel. Namun ukuran limbah batang daun tembakau yang terlalu kecil dapat mengakibatkan penurunan tekanan yang besar dan membutuhkan aliran udara dengan tekanan yang lebih tinggi. Penurunan tekanan yang besar dapat mengakibatkan penurunan temperatur sehingga dapat mempengaruhi proses oksidasi dan reduksi berjalan tidak efektif dalam menghasilkan syngas (CO, H₂, CH₄). Kondisi optimum pada ukuran 0,44-0,64 mm dengan hasil CO = 10,20 %v, H₂ = 3,61 %v, CH₄ = 1,61 %v sedangkan untuk nilai metana tiap penelitian hasilnya fluktuatif hal ini mempengaruhi jumlah syngas atau gas bakar (CO, H₂, CH₄). Konsentrasi CO, H₂, CH₄

yang dihasilkan mengindikasikan bahwa proses gasifikasi berlangsung cukup baik, sehingga dapat ditingkatkan kembali untuk menghasilkan syngas yang lebih berkualitas.

4. KESIMPULAN

Berdasarkan hasil penelitian dan analisa, maka dapat disimpulkan bahwa kondisi optimum dihasilkan pada laju alir udara 0,178 lpm dan ukuran 0,44-0,64 mm dengan konsentrasi syngas yaitu CO sebesar 10,2%, H₂ sebesar 3,61% , dan CH₄ sebesar 1,61%.

DAFTAR PUSTAKA

Ditjen MIGAS., 2008. Data Potensi Sumber Energi Biomassa di Indonesia. <URL:<http://esdm.go.id>>.

Ditjen Pertanian., 2012. Data Perkebunan Tembakau di Indonesia. <URL:<http://deptan.go.id>>.

Belonio, T Alexis. 2005. Rice Husk Gas Stove Handbook. Iloilo. Filipina.

Basu, P. 2010. Biomassa Gasification And Pyrolysis : Practical Design. Uk : Elsevier.

Cahyono. 1998. Tembakau Budidaya dan Analisis Usaha Tani Kanisius. Yogyakarta.

Abdullah A., dan Sudarmanto. 1982. Budidaya Tembakau. Jakarta: CV Yasaguna

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

Susanto, H. 2004. Penerapan Teknologi Gasifikasi. Poster.