

PENGARUH *AIR FUEL RATIO* (AFR) DAN TEMPERATUR TERHADAP KADAR CO₂ DARI GASIFIKASI BIOMASSA KAYU KARET (*HEVEA BRASILIENSIS*).

Tiara^{1*}, Miftahul Djana¹, Rizka Mayasari¹, Hasrul Anwar¹, Muhammad Haviz¹,
Ashruri¹

¹Teknik Lingkungan, Fakultas Teknik, Universitas Lampung

*Corresponding email: tiara@eng.unila.ac.id

Abstrak

Proses gasifikasi terjadi di reaktor gasifikasi yang disebut gasifier. Di antara jenis proses gasifikasi, yang paling sederhana dan mampu menghasilkan gas dengan kualitas yang cukup baik adalah jenis gasifikasi *downdraft*. Dalam penelitian ini akan digunakan gasifier *downdraft* di mana udara pembakaran akan masuk dari bagian atas atau samping di zona pembakaran dan *syngas* akan keluar dari bagian bawah reaktor. Pada penelitian ini, gasifikasi biomassa berbahan baku kayu karet dengan tujuan untuk mengetahui pengaruh AFR dan suhu terhadap nilai kalor dan komposisi *syngas* dengan menggunakan *downdraft* gasifier dan batubara sebagai stabilisator. Hasil dari penelitian ini terdapat persentase penurunan CO, H₂, dan CH₄ karena AFR meningkat, pada 0,64 AFR kadar CO₂ menurun secara signifikan pada suhu 700°C - 800°C yaitu sebesar 6,01% tanpa batubara. Kondisi optimum terbaik terdapat pada suhu 0,64 AFR dan suhu 800°C, pada kondisi tersebut didapatkan kadar CO₂ sebesar 18,77%. Kondisi operasi terbaik pada penelitian terjadi pada air fuel ratio (AFR) 0,64, temperatur 800°C dengan batubara sebesar 33,95% dan tanpa batubara sebesar 31,54%.

Kata Kunci: Gasifikasi, Biomassa, Gasifier, Kayu Karet, Syngas

PENDAHULUAN

Biomassa adalah energi alternatif ramah lingkungan karena tidak mengandung belerang, karbon-netral, dan jumlahnya sangat banyak (Natthaya, 2015). Biomassa yang mengacu pada semua bahan yang diproduksi secara biologis dan benda hidup di bumi yang energinya berasal dari sumber tanaman, seperti kayu dari hutan, limbah dari limbah pertanian, kehutanan dan industri, manusia atau hewan. Selain itu, biomassa adalah sumber karbon terbarukan yang dapat dikonversi menjadi bahan bakar padat, cair atau gas (Akhilesh dan Ravindra, 2014). Fischer dan Schrattenholzer (2001) memperkirakan potensi biomassa global menjadi 91 hingga 675 EJ/tahun untuk tahun 1990 hingga 2060. Biomassa termasuk residu tanaman dan kehutanan, tanaman energi, dan limbah hewan dan kota.

Dua cara utama mengubah energi biomassa (bahan bakar padat) menjadi biofuel dan biopower adalah konversi biokimia dan proses konversi termokimia. Konversi biokimia mengubah biomassa menjadi bahan bakar cair atau gas melalui fermentasi atau *anaerobic digestion*. Fermentasi biomassa (pati dan selulosa) terutama menghasilkan etanol. *anaerobic digestion* mengarah pada produksi bahan bakar gas terutama yang mengandung metana.

Teknologi konversi termokimia meliputi pembakaran, gasifikasi, dan pirolisis. Pembakaran biomassa adalah proses yang paling langsung dan paling mudah secara teknis, efisiensi keseluruhan menghasilkan panas dari energi biomassa rendah. Gasifikasi memiliki efisiensi yang lebih tinggi dibandingkan dengan pembakaran dan pirolisis. Biomassa secara tradisional dibakar untuk memproduksi panas dan listrik dalam proses industri. Efisiensi untuk pembangkit listrik dari pembakaran langsung biomassa sangat rendah, berkisar antara 20% hingga 40%. Pirolisis mengubah biomassa menjadi bio-oil tanpa adanya oksigen (O₂). Pirolisis mengubah biomassa menjadi bio-oil tanpa adanya oksigen (O₂). Kegunaannya yang terbatas dan kesulitan dalam pengolahan hilir bio-minyak telah membatasi penerapan teknologi pirolisis biomassa (Wang, et al, 2007).

Gasifikasi memiliki banyak keunggulan dibandingkan pembakaran yaitu dapat menggunakan bahan baku bernilai rendah dan mengubahnya tidak hanya menjadi listrik, tetapi juga menjadi bahan bakar transportasi. Di tahun-tahun mendatang, itu akan berfungsi sebagai teknologi utama untuk melengkapi kebutuhan energi dunia (Stiegel dan Maxwell, 2001). Penggunaan teknologi canggih seperti turbin gas dan *fuel cells* dengan *syngas* yang dihasilkan dari gasifikasi menghasilkan peningkatan efisiensi (Sipila, 1993). Untuk pembakaran bahan bakar padat sepenuhnya, udara berlebih diperlukan, dan suhu pembakaran tinggi menghasilkan lebih banyak NO_x dan emisi lainnya, dibandingkan dengan pembakaran produk dengan gasifikasi. Selama siklus gabungan untuk gabungan panas dan pembangkit listrik, kontaminan dalam *syngas* seperti spesies sulfur dan nitrogen dihilangkan secara efisien menghasilkan emisi yang jauh lebih rendah (Whitty, et al, 2008). Selain itu, bahan bakar cair dan gas lebih diminati karena kemudahan penanganan dan operasi, dan aplikasinya sebagai bahan bakar transportasi.

Di Indonesia potensi limbah yang berasal dari biomassa berlimpah terutama hasil dari komoditas pertanian dan perkebunan. Komoditas tersebut meliputi: kelapa sawit, tebu, beras, dan limbah hutan. Berikut potensi limbah yang dihasilkan dari komoditas ini.

Tabel 1. Potensi Sumber Biomassa di Indonesia

<i>Sector</i>	<i>Quantity (ton/years)</i>
<i>Sugar Industry</i>	
- <i>Bagasse</i>	8,500,000
- <i>Leaf cane</i>	1,290,000
<i>Palm Oil</i>	
- <i>Shell</i>	3,450,000
- <i>Fibre</i>	6,700,000
- <i>Empty fruit bunches</i>	12,900,000
- <i>Palm Oil Mill Effluent (POME)</i>	31,000,000
<i>Rice Mills</i>	12,500,000
<i>Wood Waste</i>	9,345,933

(Sumber : BPPT,2011)

Potensi biomassa juga bisa dilihat dari nilai panas yang dihasilkan. Nilai kalor yang dapat dihasilkan dari biomassa dapat digunakan sebagai klasifikasi standar dalam menentukan jenis bahan baku yang diberi prioritas dalam pemanfaatan. Asumsi nilai kalor dan kadar umpan biomassa kadar air ditunjukkan pada tabel 2 berikut.

Tabel 2. Nilai Kalor dari Beberapa Bahan Baku Biomassa

<i>Type of Industry</i>	<i>Feedstock</i>	<i>Calorific value (Kcal/kg)</i>	<i>Moiusture (%)</i>
Palm Oil	Fiber	3,340	30
	Shell	4,300	15
	EFB	1.200	45
	Fronnd	3,350	20
	Trunk	3,500	20
Cane	Bagasse	1,850	50
	Leaf Cane	3,000	30
Coconut	Fiber	3,300	30
	Shell	4,300	15
Rubber	Rubber Wood	4,400	15
Rice	Husk	3,350	12
	Straw	2,800	50
Corn	Corn Cob	3,500	14
	Trunk and Leaf	2,500	40
Wood	Wood Waste	4,400	15
Urban Waste	Refuse Derived Fuel	2,200	20
Pulp and Paper	Black Liquor	3,300	70

(Sumber : Arief Tajalli, 2015)

Gasifikasi adalah proses mengubah bahan bakar padat menjadi syngas (CO, CO₂, CH₄, dan H₂) melalui proses pembakaran menggunakan udara terbatas antara 20% hingga 40% dari stoikiometri udara (Guswendar, 2012). Selain dapat digunakan sebagai bahan bakar secara langsung, panas dan uap yang dihasilkan syngas juga dapat digunakan pada turbin gas untuk menghasilkan listrik. Gasifikasi memiliki kelebihan dapat meningkatkan efisiensi pemanfaatan energi biomassa terutama dalam menghasilkan energi listrik. Pembakaran syngas adalah proses yang lebih mudah dikendalikan sehingga dapat menurunkan produksi emisi berbahaya, daya efisiensi produksi yang dihasilkan lebih tinggi dengan pembakaran syngas dalam turbin gas dan siklus steam-gas serta kehilangan panas pada proses gasifikasi lebih rendah dan produksi energi lebih baik daripada kombinasi biogas. Proses gasifikasi terjadi di reaktor gasifikasi yang disebut gasifier. Berdasarkan latar belakang tersebut, maka akan dilakukan penelitian gasifikasi biomassa berbahan baku kayu karet dengan tujuan untuk mengetahui pengaruh AFR dan suhu terhadap nilai kalor dan komposisi syngas dengan menggunakan *downdraft* gasifier dan batubara sebagai stabilisator.

Produksi syngas dari kayu karet menggunakan *updraft* dan *downdraft* gasifier telah dilakukan oleh para peneliti sebelumnya. Peningkatan nilai kalori Syngas dari kayu karet sebagai bahan baku menggunakan *bubifier fluidized bed* gasifier dengan variasi ER 0,28 hingga 0,50. Rumusan masalah dari penelitian ini adalah bagaimana memproduksi syngas menggunakan *downdraft* gasifier dan bahan baku berupa kayu karet dengan kandungan tar yang lebih rendah, nilai kalor tinggi, dan dapat digunakan untuk *gas engines*. Dalam penelitian ini adalah akan meneliti pengaruh AFR terhadap nilai kalor dan komposisi syngas (CO, H₂, CH₄, dan CO₂) dengan menggunakan *downdraft* gasifier dan batubara sebagai stabilisator.

METODOLOGI PENELITIAN

Alat

- *Gasifier Downdraft*
- *Analytical Balance*
- *Butane Lighters*
- *CHNS TruSpace*
- *TGA-701*
- *Bomb Calorimeter*
- *Gas Cromatograpy*

Bahan Baku

- Kayu Karet
- Batubara

Rancangan Penelitian

Bahan Baku

Bahan baku yang digunakan dalam penelitian ini adalah kayu karet. Bahan baku diperoleh dari perkebunan di daerah Ogan Ilir, Sumatera Selatan. Proses pertama pengurangan ukuran bahan baku dengan ukuran partikel 0,5-5 cm. Sampel kemudian dikeringkan untuk mengurangi kadar air yang terkandung dalam bahan baku dengan sinar matahari langsung hingga mencapai berat konstan dan disimpan untuk analisis dan eksperimen lebih lanjut. Komposisi kimiawi kayu ditentukan oleh analisis langsung dan akhir. TGA-701 digunakan untuk menentukan kadar air, kadar abu, bahan mudah menguap dan karbon tetap. *CHNS TruSpace* digunakan untuk menentukan kandungan karbon, nitrogen, hidrogen, sulfure, dan oksigen dari bahan baku. Analisis nilai kalor bahan baku juga dilakukan dengan menggunakan bom Calorimeter.

Prosedur Penelitian

1. Start Up

1. Mengisi 30% kayu karet dalam penyimpanan bahan bakar dan mendorong kayu karet dalam gasifier menggunakan sekrup
2. Menghidupkan blower dan mengatur laju aliran.
3. Bakar kayu karet di gasifier dan tunggu sampai 5 - 10 menit atau sampai terbentuk arang.

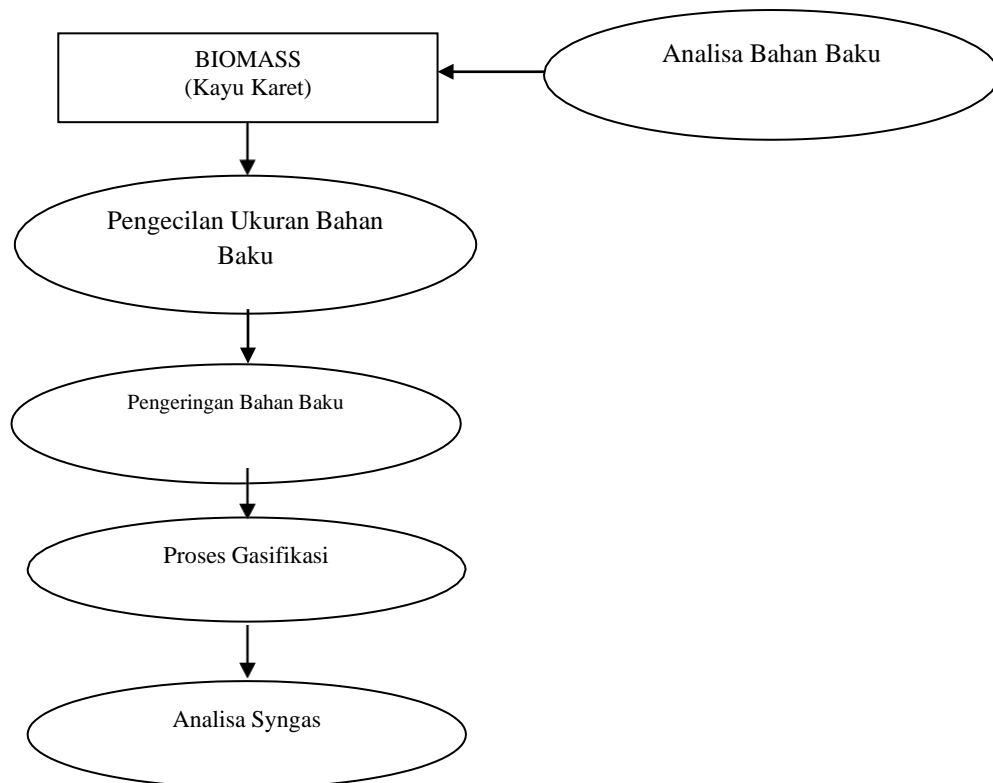
2. Prosedur Gasifikasi

1. Setelah proses start-up selesai, mengisi 70% kayu karet dalam penyimpanan bahan bakar, dan kemudian putar sekrup untuk mengatur laju umpan biomassa ke dalam gasifier.
2. Mengatur AFR dengan variasi 0,64
3. Menutup bagian atas penyimpanan bahan bakar dan membuka katup gas stack
4. Ketika gasifikasi suhu mencapai 600°C, *syngas* dalam gas stack dibakar dengan butana lighters untuk mendapatkan nyala api yang konstan
5. Setelah mendapatkan contanst flame, maka sampel *syngas* akan diambil
6. Komposisi *syngas* dianalisis dengan Gas *Chromatography* (GC)
7. Temperatur proses gasifikasi bervariasi antara 600°C-1000°C
8. AFR untuk proses gasifikasi adalah 0,64, 0,95, dan 1,26
9. Eksperimen selanjutnya dilakukan dengan 30% batubara sebagai stabilizer dalam proses gasifikasi.

3. Turn of Gasifier Procedur

1. Membuka semua katup di gasifier
2. Menyalakan blower untuk menghilangkan semua asap dan residu yang tersisa di reaktor.
3. Setelah reaktor dingin, membersihkan bagian dalam gasifier untuk menghilangkan abu dan menghindari tar mengeras.

Rancangan Penelitian



Gambar 1. Flow Diagram Rancangan Penelitian

HASIL DAN PEMBAHASAN

Komposisi kimia kayu karet sebagai bahan baku dalam penelitian ini ditentukan dengan analisis proksimat, ultimat, dan nilai kalor. Hasil dari analisis kandungan dari kayu karet dapat dilihat pada Tabel 3.

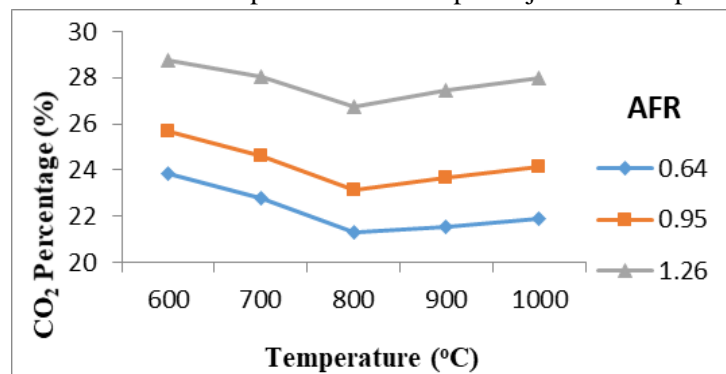
Tabel 3. Hasil Analisis Kandungan dari Kayu Karet

Analysis	Content	Value
Proksimat	Moisture	10.24 (%)
	Volatiile Matter	2.71 (%)
	Fixed Carbon	71.81 (%)
	Ash	15.25 (%)
Ultimat	C	45.76 (%)
	H	6.32 (%)
	N	0.0 (%)
	O	34.40 (%)
Nilai kalor	-	4,526.98 Cal/g

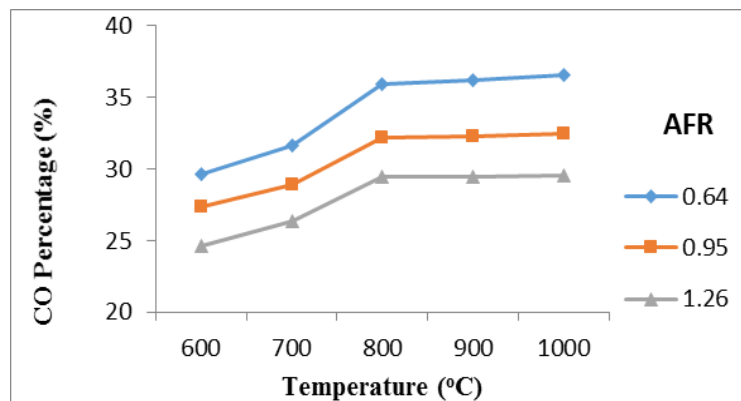
Kandungan karbon monoksida (CO) dalam syngas pada penelitian ini semakin menurun seiring dengan meningkatnya AFR. Pada **Gambar 2** terlihat bahwa pada 0,64 AFR dan temperatur 600°C kadar CO sebesar 26,48% menurun menjadi 24,59% pada AFR 0,95 dan 22,31% pada AFR 1,26. Penurunan kadar CO sama pada setiap AFR pada kisaran suhu 700°C-1000°C. Sedangkan penurunan CO dengan meningkatnya AFR menyebabkan terjadinya pembakaran parsial komponen gas yang berbeda yang mengakibatkan peningkatan konsentrasi CO₂ yang besar (Kurniawan, 2012). Kenaikan

temperatur pada proses gasifikasi juga mempengaruhi kandungan CO dalam syngas. Pada 0,64 AFR dan penurunan suhu pada kisaran 600°C - 800°C meningkatkan kadar CO sebesar 6,4 - 8,6%, tetapi kadar CO akan menurun jika suhu lebih dari 800°C sampai dengan 0,8-1,2%. Pada 0,95 AFR dan penurunan temperatur pada kisaran 600°C - 800°C meningkatkan kandungan CO sebesar 5,6-6,7%, namun kandungan CO akan menurun jika temperatur lebih dari 800°C hingga 1,9-2,8%. Pada 1,26 AFR dan penurunan temperatur pada kisaran 600°C - 800°C meningkatkan kandungan CO sebesar 4,5-5,2%, namun kandungan CO akan menurun jika temperatur lebih dari 800°C hingga 2,2-2,9%. Kandungan CO terutama ditentukan oleh reaksi bourdard ($\text{CO}_2 + \text{C} \rightarrow 2\text{CO}$). Temperatur yang lebih tinggi tidak mendukung produksi CO, sehingga kandungan CO menurun dan kandungan CO₂ akan meningkat.

Pada percobaan kedua dilakukan dengan menggunakan batubara sebagai stabilizer pada proses gasifikasi dengan variasi AFR dan temperatur yang sama dengan studi pertama. Pada **Gambar 3** dapat dilihat pengaruh penggunaan batubara terhadap kandungan CO dalam syngas yang walaupun temperatur gasifikasi lebih dari 800°C, namun kandungan CO yang dihasilkan tetap meningkat, walaupun peningkatannya tidak terlalu signifikan. Pada suhu 0,64 AFR kadar CO 600°C-800°C meningkat menjadi 6,2-11,9%, sedangkan pada kisaran suhu 800°C-1000°C kadar CO terus meningkat namun hanya sebesar 0,7 - 0,9%. Pada suhu 0,95 AFR, kadar CO 600°C-800°C meningkat menjadi 5,4-10,0%, sedangkan pada kisaran suhu 800°C-1000°C kadar CO terus meningkat tetapi hanya sebesar 0,4-0,5%. Pada suhu 1,26 AFR, kadar CO 600°C-800°C meningkat menjadi 6,7-10,4%, sedangkan pada kisaran suhu 800°C-1000°C kadar CO terus meningkat namun hanya sebesar 0,2-0,3%. Hal ini dikarenakan penggunaan batubara dapat menstabilkan temperatur didalam gasifier sehingga reaksi pembentukan CO dalam proses reduksi dapat terjadi secara optimal.



Gambar 2. Pengaruh AFR dan Temperatur terhadap Kadar CO₂ Tanpa Menggunakan Batubara



Gambar 3. Pengaruh dari AFR dan Temperatur pada %CO Menggunakan Batubara

Pada 0,64 AFR kandungan CO meningkat secara signifikan pada temperatur 700°C - 800°C yaitu sebesar 8,59% (tanpa batubara) dan 11,98% (dengan batubara). Kondisi terbaik pada penelitian ini adalah pada suhu 0,64 AFR dan suhu 800°C, pada kondisi kadar CO diperoleh 35,95% pada penelitian dengan batubara sebagai stabilizer sedangkan pada penelitian tanpa batubara hanya sebesar 31,54%.

KESIMPULAN

Hasil dari penelitian ini terdapat persentase penurunan CO, H₂, dan CH₄ karena AFR meningkat, pada 0,64 AFR kadar CO₂ menurun secara signifikan pada suhu 700°C - 800°C yaitu sebesar 6,01% tanpa batubara. Kondisi optimum terbaik terdapat pada suhu 0,64 AFR dan suhu 800°C, pada kondisi tersebut didapatkan kadar CO₂ sebesar 18,77%. Kondisi operasi terbaik pada penelitian terjadi pada air fuel ratio (AFR) 0,64, temperatur 800°C dengan batubara sebesar 33,95% dan tanpa batubara sebesar 31,54%.

DAFTAR PUSTAKA

- Arief, T. 2015. Panduan Penilaian Potensi Biomassa Sebagai Sumber Energi Alternatif di Indonesia. Penabulu Alliance
- Akhilesh, K., and Ravindra, R. 2014. Experimental Analysis of a Producer Gas Generated by a Chir Pine Needle (Leaf) in a Downdraft Biomass Gasifier. *Journal of Engineering Research and Applications*. Vol. 4, 122-130
- BPPT. 2011. Potensi Sumber Biomassa di Indonesia. Badan Pengkajian dan Penerapan Teknologi, Jakarta.
- Fischer, G.; Schrattenholzer, L. 2001. Global bioenergy potentials through 2050. *Biomass Bioenergy*, 20, 151 – 159.
- Guswendar, R. 2012. Karakteristik Gasifikasi Pada Updraft Double Outlet Gasifier Menggunakan Bahan Bakar Kayu Karet. Jakarta: Universitas Indonesia
- Kurniawan. 2012. Karakteristik Konvensional Updraft Gasifier Dengan Menggunakan Bahan Bakar Kayu Karet Melalui Pengujian Variasi Flow Rate Udara. Jakarta: Universitas Indonesia
- Natthaya, P., Chaiyot, T., and Takayuki, T. 2015. Low Temperature Gasification of Coconut Shell with CO₂ and KOH: Effects of Temperature, Chemical Loading, and Introduced Carbonization Step on the Properties of Syngas and Porous Carbon Product. *International Journal of Chemical Engineering* 481615, 16 page
- Sipila, K. 1993. New power production technologies : various options for biomass and cogeneration. *Bioresour. Technol.* 46:5–12.
- Stiegel, G.J., and Maxwell, R.C. 2001. Gasification Technologies. The Path to Clean, Affordable Energy in The 21st Century. *Fuel Process. Technol.* 71:79–97.
- Wang, Y.; Yoshikawa, K.; Namioka, T.; Hashimoto, Y. 2007. Performance optimization of two-staged gasification system for woody biomass. *Fuel Process. Technol.* 88, 243 – 250
- Whitty, K.J., Zhang, H.R., & Eddings, E.G. 2008. Emission From Syngas Combustion. *Scien Technol* 180:1117 – 1136.