

PEMANFAATAN LIMBAH PERTANIAN SEBAGAI ENERGI ALTERNATIF MELALUI KONVERSI THERMAL

T. Iskandar¹⁾ dan N D. Siswati²⁾

¹⁾PS. Teknik Kimia, Fakultas Teknik, Universitas Tribhuvana Tunggaladewi

²⁾Jurusan Teknik Kimia FTI UPN "Veteran" Jawa Timur

Abstract

Waste agriculture (biomassa) availability in society is quite a lot but did not yet been exploited in an optimal. Biomassa as organic matters which contain hydrocarbon compound is able as source of energi like to be is ready of heat, making fuel, and power plant. Biomassa exploiting as source of alternative energi thermal can conversion by gasifikasi process. Gasifikasi is imperfect combustion process or with limited oxygen yield CO, H₂ and metan gas, used as balmy and peaceful of hot energy and also for the power of diesel, turbine etc. Besides, in course of this also yielded aqueous vapour (H₂O) and dioxide carbon (CO₂) which do not burnt, mote and tar. Syngas biomassa is one of product gasifikasi can be mixed with diesel fuel in room burn diesel motor moving generator to yield electric power. Mixing of diesel fuel with biomassa syngas can economize usage of diesel fuel till 70% of the amount of usage initialy, its mean that if generator set required 0,4 diesel fuel litre per kWh hence by enhancing syngas result of gasifikasi process 2 kg biomassa, required diesel fuel only 0.02 l/kWh.

Key words: agriculture waste, biomassa, gasifikasi, syngas

Pendahuluan

Produk limbah pertanian di masyarakat cukup banyak dan belum termanfaatkan secara optimal. Potensi limbah pertanian sebagai sumber energi di Indonesia diperkirakan mencapai 200 juta t/tahun dari residu pertanian, kehutanan, perkebunan dan limbah padat/sampah kota, dengan hutan produktif dan perkebunan seluas 23 juta ha.

Limbah pertanian atau dikenal sebagai biomassa mengandung bahan organik tinggi (yaitu selulosa, hemiselulosa dan lignin) yang memiliki kadar energi. Tetapi ketersediaan biomassa yang cukup melimpah tersebut masih diperlukan perlakuan khusus, karena perbandingan kandungan energi yang dimiliki oleh biomassa lebih kecil dari pada bahan bakar minyak. Rendahnya kandungan energi yang dimiliki oleh biomassa mengharuskan

penggunaan teknik pemanfaatan energi biomassa yang tepat. Salah satu cara memanfaatkan energi biomassa secara efektif adalah dengan *gasifikasi*.

Proses gasifikasi telah dikenal sejak abad lalu dan kini mendapat perhatian kembali di seluruh dunia, terutama karena keunggulannya dapat mengolah biomassa sebagai sumber energi alternatif yang terbarukan.

Perkembangan terakhir dari gasifikasi biomassa telah terbukti mampu menjadi salah satu pilihan yang bisa memberikan kontribusi yang substansial sebagai sumber energi. Dengan memanfaatkan teknologi gasifikasi secara intensif untuk aplikasi pembangkit listrik dan thermal akan mampu menurunkan tingginya biaya produksi ke tingkat yang lebih kompetitif dan menguntungkan. Selain itu dapat meningkatkan perekonomian dan peluang kerja di pedesaan melalui suplai energi

(*energy plantation*) yang akan menjadikan lingkungan yang lebih hijau yang selanjutnya akan mengakibatkan lebih banyak turun hujan dan menurunkan temperatur lingkungan industri dari sumber-sumber terbarukan.

Tujuan gasifikasi biomassa adalah untuk pemanfaatan yang sebesar-besarnya dari sumber daya alam dan sumber daya manusia yang ada di pedesaan, untuk memenuhi kebutuhan listrik di masyarakat terutama desa-desa terpencil sehingga kesejahteraan dapat merata dan untuk menjaga lingkungan hidup dengan memanfaatkan *green energy*.

Gasifikasi Biomassa

Biomassa

Biomassa sebenarnya dapat digunakan secara langsung sebagai sumber energi panas, sebab biomassa tersebut mengandung energi yang dihasilkan dalam proses fotosintesa saat tumbuhan tersebut masih hidup (Foley dan Barnard, 1983). Dalam proses ini terjadi absorpsi energi radiasi matahari sehingga menyebabkan terjadinya perubahan struktur molekul dalam substansi tumbuhan.

Reaksi fotosintesis selengkapnya adalah sebagai berikut:



Biomassa mengandung tiga unsur utama yaitu karbon (C), hidrogen (H) dan oksigen (O). Unsur karbon dan hidrogen adalah yang reaktif dan mudah terbakar dan dapat menghasilkan energi dalam bentuk panas ketika bereaksi dengan oksigen. Tetapi agar prosesnya berjalan lancar, maka biomassa yang digunakan harus mempunyai kadar air tidak lebih dari 20%, bentuk partikelnya

mendekati bulat atau kubus, bukan panjang atau pipih, ukuran partikel antara 0,5-5,0 cm, tidak banyak mengandung zat-zat anorganik dan rapat massanya di atas 400 kg/m². Jika persyaratan tersebut dapat dipenuhi, maka biomassa dapat dimanfaatkan sebagai sumber energi alternatif untuk menghasilkan energi lain seperti listrik dan bahan bakar lain pengganti bahan bakar minyak.

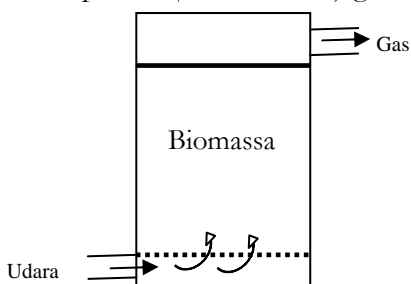
Untuk memenuhi persyaratan tersebut di atas, diperlukan pengolahan awal: pengeringan, pemotongan atau pemampatan. Di samping itu ketersediaan harus biomassa dalam jumlah yang cukup secara kontinyu, nilai ekonomisnya rendah atau tidak ada manfaat lainnya. Kayu, tempurung kelapa, cangkang kelapa sawit dan tongkol jagung merupakan biomassa yang mendekati persyaratan tersebut di atas.

Gasifikasi biomassa

Gasifikasi biomassa merupakan suatu proses dekomposisi termal dari bahan-bahan organik melalui pemberian sejumlah panas tinggi dengan suplai oksigen terbatas untuk menghasilkan *synthesis gas* yang terdiri dari CO, H₂, CH₄ (selanjutnya disebut dengan *syngas*) sebagai produk utama dan sejumlah kecil bio-arang, abu dan sisa material yang tidak terbakar (*inert*) sebagai produk ikutan (Eggen dan Kraatz, 1976).

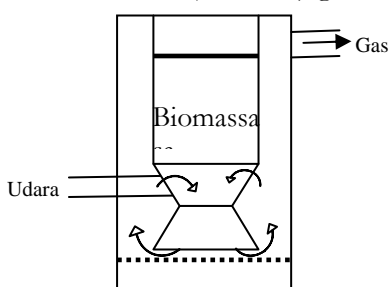
Proses gasifikasi biomassa dilakukan dengan cara melakukan pembakaran secara tidak sempurna di dalam sebuah ruangan yang mampu menahan temperatur tinggi yang disebut reaktor gasifikasi. Ada 3 (tiga) tipe dan modifikasi reaktor gasifikasi yang diketahui:

a. Up draft (*counter current*) gasifikasi



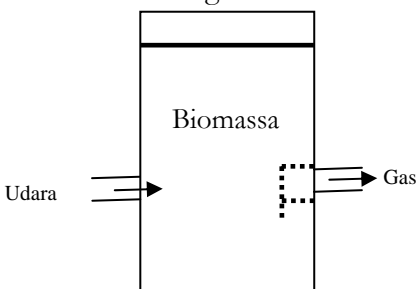
Tipe yang paling sederhana dari gasifikasi adalah up draft, biomassa dimasukkan dari bagian atas reaktor dan bergerak ke bawah menghasilkan gas dan arang, pemasukan udara untuk pembakaran dari bawah dan syngas keluar dari atas, biomassa sebagai bahan bakar bergerak berlawanan arah dengan aliran syngas (*counter current flow*) dan melewati zona pengeringan, zona distilasi, zona reduksi dan zona oksidasi/pembakaran.

b. Down draft (*co current*) gasifikasi



Pada tipe down draft, biomassa dimasukkan dari atas begitu pula udara untuk pembakaran, produser gas akan mengalir dari bawah reaktor. Aliran biomassa dan udara searah (*co current flow*), dan melewati zona pengeringan zona pirolisis zona reduksi seperti up draft. Kelebihan utama dari tipe down draft adalah menghasilkan produser gas dengan kandungan tar rendah.

c. Cross draft gasifikasi



Reaksi kimia pada proses gasifikasi

Pembakaran yang terjadi pada proses gasifikasi harus menggunakan udara dengan jumlah yang lebih sedikit dari kebutuhan stokiometrik pembakaran dan dialirkan ke dalam reaktor melalui *fan/blower* untuk mensuplai kebutuhan oksigen. Untuk menghitung kebutuhan udara pada pembakaran biomassa dapat digunakan konversi energi rata-rata yang didefinisikan sebagai berikut:

$$\eta_{\text{Gas bakar}} = \frac{\text{Nilai kalor gas/kg}}{\text{No. nilai kalor 1 kg bahan bakar}}$$

Proses pembakaran yang terjadi

menyebabkan reaksi termo-kimia yang menghasilkan CO, H₂ dan gas metan (CH₄). Selain itu, dalam proses ini juga dihasilkan uap air (H₂O) dan karbon dioksida (CO₂) yang tidak terbakar.

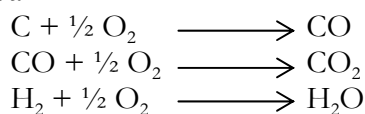
Secara umum, proses gasifikasi biomassa terdiri dari 4 tahapan proses yaitu drying, pirolisis, oksidasi parsial (*combustion*) dan reduksi, sebagai berikut:

- Drying merupakan tahapan pertama dari proses gasifikasi, yaitu proses penguapan kandungan air di dalam biomassa melalui pemberian sejumlah panas pada interval suhu 100~300^oC. Pada drying ini, biomassa tidak mengalami penguraian unsur-unsur kimianya (dekomposisi kimia), tetapi

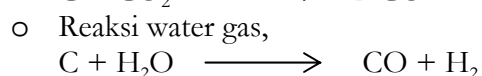
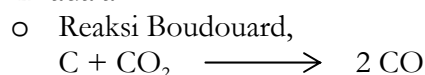
hanya terjadi pelepasan kandungan air dalam bentuk uap air.

- Proses pirolisis merupakan proses eksoterm yang melepas sejumlah panas pada interval suhu 300~900°C. Berikut ini dapat dijelaskan bahwa pada suhu 200°C air diusir. Antara 200-280°C karbon dioksida, asam asetat dan air dilepaskan. Proses pirolisis yaitu perengkahan molekul besar menjadi molekul-molekul kecil berlangsung antara (280–500)°C, yang menghasilkan sejumlah besar gas mengandung tar dan karbon dioksida, sedikit arang, uap air dan gas-gas. Selain tar, beberapa metil alkohol juga terbentuk. Antara 500–700°C produksi gas mengandung sedikit hidrogen. Jadi pada proses ini terjadi dekomposisi termal biomassa terhadap kandungan volatil matter berupa gas dan menyisakan bio-arang. Dan pada gasifier up draft akan menghasilkan tar lebih dari down draft.
- Selanjutnya sisa bio-arang akan mengalami proses oksidasi parsial/pembakaran (*combustion*), dimana proses ini merupakan proses eksoterm yang melepas sejumlah panas pada interval suhu di atas 900–1450°C. Panas yang dilepas dari proses oksidasi parsial ini digunakan untuk mengatasi kebutuhan panas dari reaksi reduksi endotermis dan untuk memecah hidrokarbon yang telah terbentuk selama proses pirolisis. Pada tahapan ini volatil dan sebagian arang yang memiliki kandungan karbon (C) bereaksi dengan oksigen membentuk CO₂ dan CO serta menghasilkan panas yang digunakan pada tahap selanjutnya yaitu tahap gasifikasi.

Reaksi kimia yang terjadi pada tahap ini adalah:

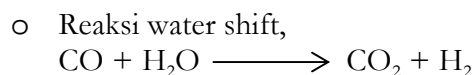


- Tahapan berikutnya adalah proses reduksi dimana arang yang bereaksi dengan CO₂ dan uap air akan menghasilkan gas CO dan H₂ yang merupakan produk yang diinginkan dari keseluruhan proses gasifikasi. Proses reduksi gas CO₂ dan H₂O ini terjadi pada interval suhu 400~900°C. Reaksi kimia yang terjadi pada tahap ini adalah:

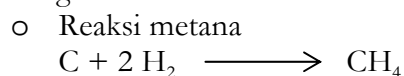


Tahapan tambahan dalam proses ini adalah tahap *water shift reaction*. Melalui tahapan ini, reaksi termo-kimia yang terjadi di dalam reaktor gasifikasi mencapai keseimbangan. Sebagian CO yang terbentuk dalam reaktor bereaksi dengan uap air dan membentuk CO₂ dan H₂.

Reaksi kimia yang terjadi pada tahap ini adalah:



Jika proses gasifikasi dapat dikendalikan sehingga temperatur reaksi terjadi di bawah 1000°C, maka akan terjadi reaksi pembentukan CH₄. Hal ini terjadi ketika C bereaksi dengan H₂, sesuai dengan reaksi:



Sistem gasifikasi

Gas-gas mudah terbakar dari gasifier dapat digunakan: a) dalam mesin pembakaran internal, b) untuk aplikasi panas langsung dan c) sebagai bahan baku untuk produksi bahan kimia seperti metanol.

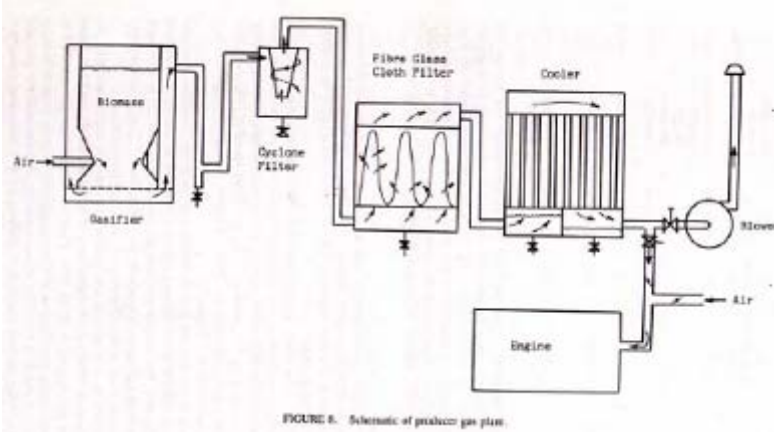
Namun agar gas yang akan digunakan untuk setiap aplikasi di atas itu harus dibersihkan dari debu dan tar dan harus didinginkan. Pendinginan dan pembersihan gas adalah salah satu proses yang paling penting dalam sistem gasifikasi

keseluruhan. Kegagalan atau keberhasilan unit penghasil gas tergantung sepenuhnya pada kemampuan mereka untuk menyediakan gas yang bersih dan dingin ke mesin atau untuk pembakar.

Suhu gas yang keluar dari generator biasanya antara 300-500°C. Gas ini harus didinginkan dalam rangka untuk meningkatkan kepadatan energi. Pendingin dapat dilakukan dengan menggunakan alat penukar panas, dimana pendinginan dilakukan oleh konveksi bebas dari udara pada permukaan luar penukar panas sampai mencapai suhu ambien.

Pembersihan gas dilakukan dengan menggunakan tiga jenis filter untuk klasifikasi kering, lembab dan basah (Skov

dan Paperworth, 1974). Cyclone adalah penyaring kategori kering dan digunakan untuk menyaring hasil gas yang mengandung debu (Perry dan Chilton, 1973). Cyclone dapat membersihkan ukuran partikel dari 5 µm–60 µm. Cyclone sangat efektif untuk mengeliminasi partikel padat sampai dengan 60 – 65%. Setelah melewati Cyclone gas, yang masih mengandung debu halus, partikel dan tar dibersihkan dengan melewatkan ke dalam scrubber secara berlawanan arah. Scrubber juga bertindak seperti cooler. Gambar 1, memperlihatkan skema sistem gasifikasi down draft dengan pembersihan dan pendinginan.



Gambar 1. Skema sistem gasifikasi down draft

Aplikasi Hasil Teknologi Gasifikasi

Gas hasil gasifikasi terdiri dari gas-gas mudah terbakar yaitu CO, H₂ dan CH₄ dan gas-gas tidak mudah terbakar CO₂ dan N₂. Komposisi gas ini sangat tergantung pada komposisi unsur dalam biomassa, bentuk dan partikel biomassa serta kondisi-kondisi proses gasifikasi.

Gas hasil biomassa tergolong gas bahan bakar berkualitas rendah (dibandingkan dengan panas pembakaran gas alam 32000 kJ/m³). Gas hasil gasifikasi dapat digunakan untuk motor diesel,

motor bensin atau alat pemanasan dan pendinginan.

Unit motor diesel dapat digabungkan dengan perangkat gasifikasi melalui pengaliran gas hasil ke dalam aliran udara masuk motor, dengan sambungan pipa silang. Sambungan silang sangat sederhana dan murah sesuai untuk kapasitas rendah. Dalam motor diesel, tidak seluruh kebutuhan solar dapat digantikan, karena sedikit solar tetap diperlukan untuk sarana pengapian. Operasi ini disebut sebagai sistem bahan bakar ganda. Dalam praktek, komposisi bahan bakar ganda ini kira-kira 30% solar dan 70% gas. Pengaturan daya

motor dapat dilakukan dengan pengaturan laju alir gas, sementara laju alir solar diatur pada kebutuhan minimum untuk sarana pengapian. Secara teoritik 1 m³ gas hasil gasifikasi biomassa memerlukan 1,2 m³ udara untuk pembakaran, dan menghasilkan temperatur 1600^oC. Pada prakteknya, temperatur pembakaran gas ini hanya berkisar antara 700-1200^oC.

Daya maksimum yang dapat dihasilkan oleh motor diesel dengan bahan bakar gas turun sampai kira-kira 80% dari daya aslinya. Motor untuk penggunaan gas hasil gasifikasi sebaiknya dipilih yang mempunyai kecepatan nominal 1500 putaran/menit. Dengan efisiensi gasifier sebagaimana tersebut di atas, maka efisiensi total sistem (gasifikasi dan mesin) adalah 10-13%. Jadi rata-rata bisa mendapatkan 0,55-0,75 kWh energi mekanik/kg gasifikasi biomassa (nilai kalor biomassa diambil menjadi 19,6 MJ/kg), dan bisa sampai serendah 0,22 kWh/kg untuk beban 10% sampai 0,73 kWh/kg untuk beban 87% dinilai kapasitas (Van Der Heijden *et al*, 1981). Namun demikian untuk tujuan ukuran sistem, sejumlah yang baik adalah 0,7 kWh/kg.

Kesimpulan

1. Gasifikasi biomassa menawarkan sistem energi alternatif yang paling menarik untuk dikembangkan dengan sistem jenis gasifikasi down draft, karena gas yang dihasilkan lebih bersih.
2. Syngas dapat digunakan untuk menjalan motor bakar diesel dan lebih dikenal dengan *dual fuel engine*, yaitu mesin diesel dengan bahan bakar solar dan gas dengan perbandingan 30% solar dan 70% menggunakan gas hasil dari biomassa gasifikasi dan baik untuk diterapkan pada pemenuhan listrik pedesaan.
3. Syngas menghasilkan percikan pengapian pada motor bakar diesel

rata-rata 0,55-0,75 kWh energi dari 1 kg biomassa.

4. Kompresi pengapian (diesel) mesin tidak dapat menjalankan sepenuhnya pada gas produser. Jadi untuk menghasilkan 1 kWh energi yang mereka konsumsi 1 kg biomassa dan 0,07 l solar dan dapat menghemat solar 70-80%.

Daftar Pustaka

- Eggen, A. C. W., and Kraatz, R. 1976. Gasification of Solid Waste in Fixed Beds. Mechanical Engineering, 24.
- Foley, G., and Barnard, G. 1983. Biomass Gasification in Developing Countries. Technical Report No. 1, Earthscan, London.
- Perry, R. H. and Chilton, C. H. 1973. Chemical Engineer Handbook, Fifth Edition, Eds. McGraw Hill Book Company, 20-75.
- Skov, N. A. and Paperworth, M. L. 1974. The Pegasus Unit, Pegasus Publishers, Olympia, Washington, Chap VII.
- Van Der Heijden, S., Szladow, A. J., Barabas, M., Sirianni, G. 1981. Wood Gasification system for Electricity Production, Proceedings 16th IECEC, 459.