

GASIFIKASI LIMBAH KULIT BIJI KOPI DALAM REAKTOR *FIXED BED* DENGAN SISTEM *INVERTED DOWNDRAFT GASIFIER* : DISTRIBUSI SUHU

Yovita Reiny Arisanty, Yuni Kusumastuti, dan Annisa Widyanti Utami

Jurusan Teknik Kimia, Fakultas Teknik, Universitas Gadjah Mada

Jl. Grafika 2 Yogyakarta 55281

Telp. (0274)902171 Fax. (0274)902170

Email : * yovita.arisanty@gmail.com

Abstrak

Gasifikasi merupakan salah satu teknologi pengolahan biomassa sebagai sumber energi alternatif yang potensial. Proses gasifikasi biomassa pada penelitian ini menggunakan kulit biji kopi (coffee hull) yang merupakan limbah dari proses pengolahan kopi. Penelitian ini dilakukan untuk mempelajari distribusi suhu dalam reaktor fixed bed dengan sistem inverted down draft serta karakteristik produk-produk yang dihasilkan berupa gas dan tir. Penelitian berlangsung dalam reaktor berdiameter 7 cm dan kisaran suhu rata-rata sepanjang reaktor 200-600°C pada kondisi tekanan atmosferis. Dengan sistem inverted downdraft gasifier yang diterapkan dalam tumpukan kulit biji kopi, pengamatan dilakukan pada interval waktu tertentu sepanjang reaktor dengan kecepatan alir udara sebagai variasi penelitian. Suhu pembakaran sepanjang reaktor dicatat sebagai fungsi posisi (z) dan (t) dan pada akhir percobaan diamati jumlah produk samping berupa cairan dan padatan tersisa yang tertinggal dalam reaktor setelah proses gasifikasi berakhir.

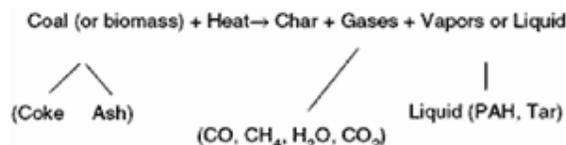
Kata kunci : *gasifikasi; fixed bed; coffee hull*

Pendahuluan

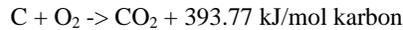
Kebutuhan akan energi alternatif kini makin mendesak seiring peningkatan konsumsi energi secara drastis tiap waktunya, yang sampai saat ini masih bergantung pada sumber energi fosil. Selain energi nuklir, biomassa melalui proses gasifikasi menjadi salah satu teknologi yang menjanjikan. Sudah banyak jenis biomassa yang diteliti potensi pemanfaatannya melalui proses gasifikasi, namun potensi limbah kulit biji kopi dari proses penggilingan kopi masih jarang pemanfaatannya.

Gasifikasi adalah proses konversi bahan bakar yang mengandung karbon menjadi gas yang memiliki nilai bakar dengan cara oksidasi parsial pada temperatur tinggi. Proses gasifikasi ini dilakukan dalam reaktor gasifikasi atau biasa disebut *gasifier* dan gas hasilnya disebut gas produser. *Gasifier* merupakan alat yang relatif sederhana karena mekanisme operasinya, seperti pengumpanan dan pembersihan gas hasil yang cukup mudah. Namun keberhasilan operasi gasifikasi pada penerapannya tidak mudah. Hal ini karena fenomena termodinamika operasi *gasifier* belum begitu dipahami secara mendalam, sehingga masih banyak hal yang memerlukan pengkajian. Proses gasifikasi biomassa dapat dilakukan baik secara langsung (menggunakan udara atau oksigen untuk membangkitkan panas melalui reaksi eksotermis), maupun tidak langsung (mentransfer panas ke dalam reaktor dari luar) (Reed, 1988). Gasifikasi umumnya terdiri dari 4 zona proses, yaitu pengeringan, pirolisis, oksidasi dan reduksi. Proses pengeringan, pirolisis dan reduksi bersifat endotermis, sementara proses oksidasi yang bersifat eksotermis berfungsi sebagai penyedia panas bagi ketiga proses tersebut.

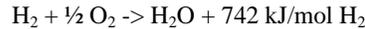
Pirolisis atau devolatilisasi disebut juga sebagai gasifikasi parsial. Suatu rangkaian proses fisik dan kimia terjadi selama proses pirolisis yang dimulai secara lambat pada $T < 350$ °C dan terjadi secara cepat pada $T > 700$ °C. Komposisi produk yang tersusun merupakan fungsi temperatur, tekanan, dan komposisi gas selama pirolisis berlangsung. Proses pirolisis dimulai pada temperatur sekitar 230 °C, ketika komponen yang tidak stabil secara termal, seperti lignin pada biomassa dan *volatile matters* pada batubara, pecah dan menguap bersamaan dengan komponen lainnya. Produk cair yang menguap mengandung tar dan PAH (*polyaromatic hydrocarbon*). Produk pirolisis umumnya terdiri dari tiga jenis, yaitu gas ringan (H_2 , CO, CO_2 , H_2O , dan CH_4), tar, dan arang.



Oksidasi atau pembakaran arang merupakan reaksi terpenting yang terjadi di dalam gasifier. Proses ini menyediakan seluruh energi panas yang dibutuhkan pada reaksi endotermik. Oksigen yang dipasok ke dalam *gasifier* bereaksi dengan substansi yang mudah terbakar. Hasil reaksi tersebut adalah CO₂ dan H₂O yang secara berurutan direduksi ketika kontak dengan arang yang diproduksi pada pirolisis. Reaksi yang terjadi pada proses pembakaran adalah:



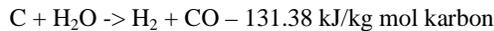
Reaksi pembakaran lain yang berlangsung adalah oksidasi hidrogen yang terkandung dalam bahan bakar membentuk kukus. Reaksi yang terjadi adalah:



Reduksi atau gasifikasi melibatkan suatu rangkaian reaksi endotermik yang panasnya disuplai dari panas reaksi pembakaran. Produk yang dihasilkan pada proses ini adalah gas bakar, seperti H₂, CO, dan CH₄. Reaksi berikut ini merupakan empat reaksi yang umum terlibat pada gasifikasi.

❖ *Water-gas reaction.*

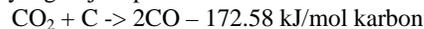
Water-gas reaction merupakan reaksi oksidasi parsial karbon oleh kukus yang dapat berasal dari bahan bakar padat itu sendiri (hasil pirolisis) maupun dari sumber yang berbeda, seperti uap air yang dicampur dengan udara dan uap yang diproduksi dari penguapan air. Reaksi yang terjadi pada *water-gas reaction* adalah:



Pada beberapa gasifier, kukus dipasok sebagai medium penggasifikasi dengan atau tanpa udara/oksigen.

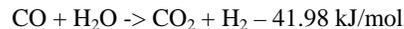
❖ *Boudouard reaction*

Boudouard reaction merupakan reaksi antara karbondioksida yang terdapat di dalam gasifier dengan arang untuk menghasilkan CO. Reaksi yang terjadi pada *Boudouard reaction* adalah:



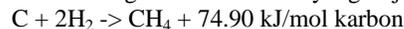
❖ *Shift conversion*

Shift conversion merupakan reaksi reduksi karbonmonoksida oleh kukus untuk memproduksi hidrogen. Reaksi ini dikenal sebagai *water-gas shift* yang menghasilkan peningkatan perbandingan hidrogen terhadap karbonmonoksida pada gas produser. Reaksi ini digunakan pada pembuatan gas sintetik. Reaksi yang terjadi adalah sebagai berikut:



❖ *Methanation*

Methanation merupakan reaksi pembentukan gas metan. Reaksi yang terjadi pada *methanation* adalah:



Pembentukan metan dipilih terutama ketika produk gasifikasi akan digunakan sebagai bahan baku industri kimia. (Higman, 2003)

Untuk mekanisme operasi langsung terbagi lagi menjadi 2 tipe utama berdasarkan posisi zona reaksi dan posisi masuk umpan udara di dalam reaktor, yaitu *updraft* dan *downdraft*. Sedangkan berdasarkan mekanisme kontak antara bahan bakar biomassa dengan medium penggasifikasi, *gasifier* terbagi menjadi 3 kategori besar yaitu *fixed bed*, *fluidized bed*, dan *entrained bed*. Penelitian ini sendiri dilakukan dalam reaktor gasifikasi tipe *fixed bed* dengan sistem *inverted down draft* dan operasi secara langsung. Prinsip utama sistem *inverted downdraft gasifier* sama dengan *downdraft gasifier*, hanya saja gas hasil gasifikasi bergerak keatas. Pengamatan suhu proses gasifikasi untuk berbagai kecepatan aliran udara lalu dilakukan tiap interval 5 menit dengan 3 variasi ketinggian tumpukan bahan dalam reaktor.

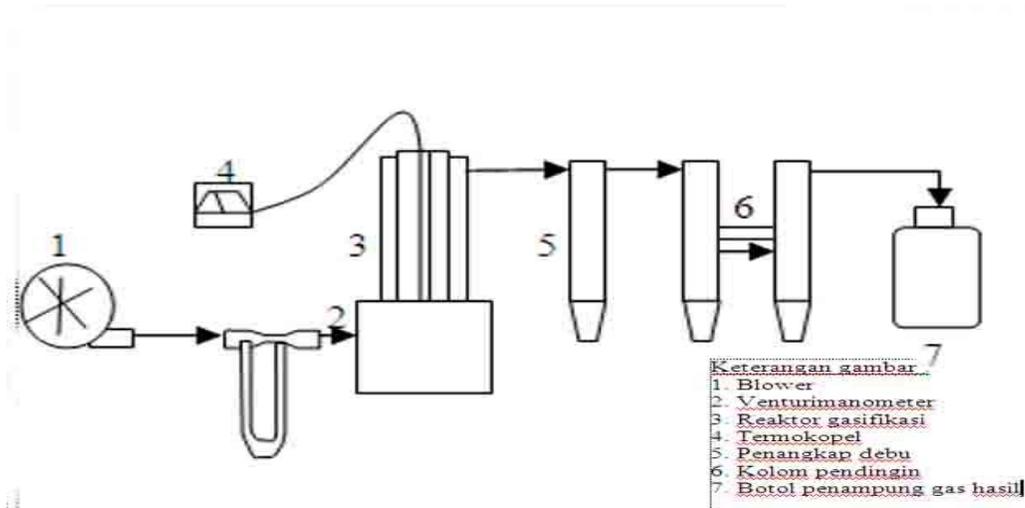
Bahan Dan Metode Penelitian

Bahan

Bahan utama dalam proses gasifikasi ini adalah limbah kulit biji kopi bagian dalam (*coffee hull*) kering berukuran rata-rata 5x5x0.5 mm³, yang diperoleh dari sisa proses penggilingan kopi. Sebagai pembangkit panas gasifikasi berasal dari reaksi oksidasi eksotermis yang oksigennya berasal dari udara biasa (29% O₂, 71% N₂) yang dialirkan dengan bantuan blower. Sementara air digunakan sebagai media pendingin gas hasil.

Rangkaian Alat

Proses gasifikasi dilakukan dalam reaktor gasifikasi berbentuk silinder vertikal berisolasi dengan diameter bagian dalam 7cm. Pengukuran suhu dilakukan menggunakan termokopel yang diletakkan di pusat reaktor. Termokopel yang dirangkai paralel digunakan untuk mengukur suhu pada berbagai posisi dalam *gasifier*. Udara dialirkan menggunakan blower dengan kecepatan alir diatur menggunakan venturimanometer. Umpan udara masuk melalui bagian bawah reaktor dan gas hasil gasifikasi keluar di bagian atas reaktor menuju siklon penangkap abu lalu mengalir ke kolom pendingin gas sebelum akhirnya ditampung dalam botol penampung.



Gambar 1. Rangkaian Alat Gasifikasi

Mekanisme Penelitian

Bahan bakar kulit biji kopi sejumlah 140gram dimasukkan ke dalam *gasifier*. Sementara udara dialirkan dari blower ke bagian bawah *gasifier* melewati venturimanometer dan kecepatan alirnya diatur dengan cara mengatur beda ketinggian kaki manometer. Pembangkitan panas diawal dilakukan dengan pembakaran sampel bagian atas *gasifier* lalu ditutup dan suhu proses gasifikasi dicatat sebagai fungsi posisi dan waktu. Gas hasil keluar dari bagian atas melewati penangkap abu dan kolom pendingin yang menggunakan pendingin air dengan aliran *counter current*. Gas yang telah turun suhunya saat keluar dari kolom pendingin lalu ditampung dalam botol penampung gas. Setelah berlangsung selama 1jam proses gasifikasi dihentikan dan sisa bahan bakar diambil dari bagian bawah *gasifier* sementara cairan tir bercampur abu diambil dari bagian bawah siklon penangkap abu dan kolom pendingin.

Hasil Dan Pembahasan

Karakteristik Biomassa

Bahan bakar biomassa yang digunakan dalam proses gasifikasi ini adalah kulit bagian dalam biji kopi kering yang menjadi limbah dari proses penggilingan kopi, sehingga ukuran bahan awal sudah cukup kecil dan seragam. Tampilan fisis dan tekstur *coffee hull* ini sendiri menyerupai kulit biji nangka. Sebelum diproses bahan dianalisis kadar airnya terlebih dahulu. *Bulk density* bahan dihitung dari perbandingan massanya terhadap volum tumpukan bahan dalam reaktor.

Tabel 1. Karakteristik limbah kulit biji kopi (*coffee hull*)

Ukuran (mm ³)	5x5x0.5	Kandungan karbohidrat :*	
<i>Bulk density</i> (g/cm ³)	0.16	- Pentosa (%berat)	20.30
Kadar air (% berat, basis basah)	8.8863	-Selulosa (%berat)	-
Lemak (% berat)*	0.6	-Hexosa(%berat)	45.90
Nitrogen (% berat)*	0.39	Lignin (%berat)*	24.40
Abu (% berat)*	0.5		

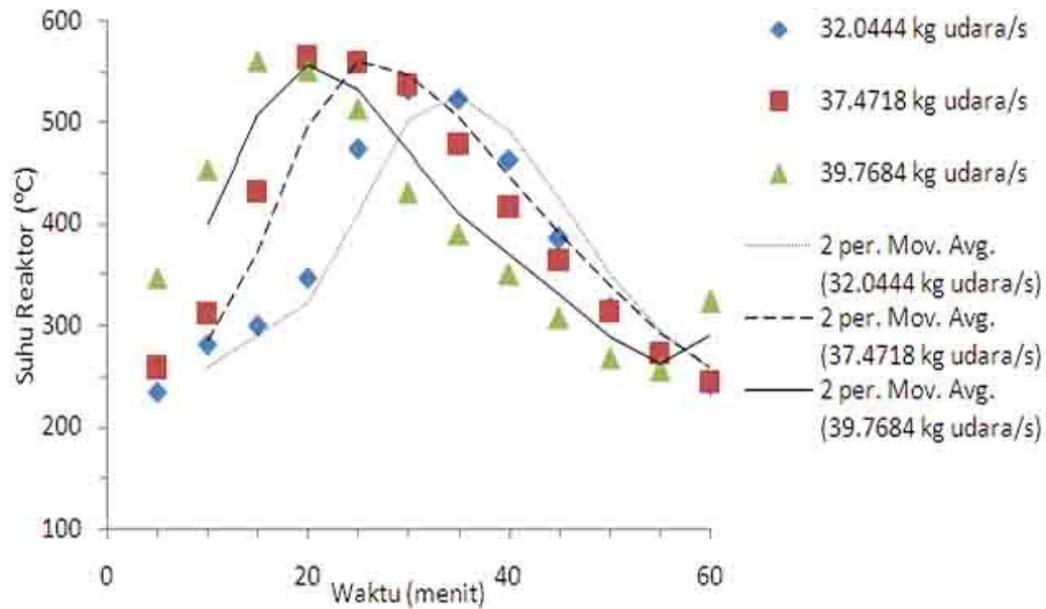
Sumber : *Bressani and Braham (1972)

Proses Gasifikasi

Parameter yang divariasikan dalam proses gasifikasi ini adalah kecepatan aliran umpan udara. Suhu reaktor gasifikasi diamati sebagai fungsi waktu (interval 5 menit) dan posisi (di 3 titik ketinggian bahan yaitu 0, 12 dan 24 cm dari dasar silinder *gasifier*). Suhu rata-rata di dalam reaktor gasifikasi diperoleh dari rata-rata suhu di 3 posisi tersebut.

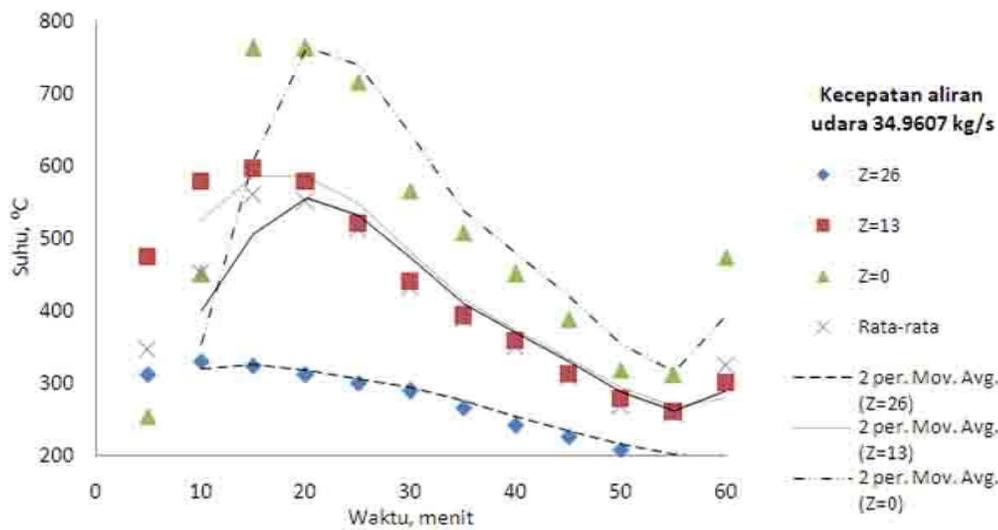
Hubungan distribusi suhu rata-rata reaktor gasifikasi tiap interval waktu 5menit dengan variasi kecepatan udara disajikan dalam Gambar 2. Dari Gambar 2 dapat terlihat bahwa perubahan kecepatan aliran udara memberi pengaruh yang cukup signifikan pada proses gasifikasi yang dilihat dari distribusi suhu rata-rata reaktor sebagai fungsi waktu. Makin besar kecepatan aliran udara, maka kecenderungan kenaikan suhu di dalam reaktor serta pencapaian kondisi steady state (suhu maksimum) akan semakin cepat. Dari grafik tersebut terlihat proses gasifikasi mencapai keadaan ajeg pada menit ke 30; 20 dan 15 untuk masing-masing kecepatan aliran udara 32.0444; 37.4718;

39.7684 kg/s. Selain itu dapat teramati bahwa suhu reaktor pada 10 menit kondisi ajegnya untuk tiap kecepatan aliran udara berkisar 450-600°C.



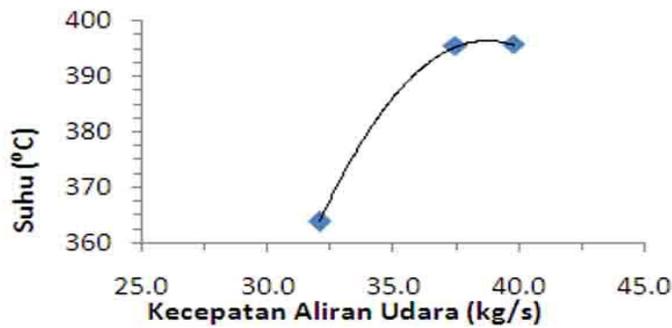
Gambar 2. Distribusi suhu rata-rata *gasifier* setiap waktu untuk berbagai kecepatan aliran udara.

Profil distribusi suhu berbeda di masing-masing posisi ketinggian (*Z*) dalam reaktor, seperti disajikan dalam Gambar 3. Dari grafik tersebut dapat diperkirakan kategori zona reaksi yang terjadi di tiap ketinggian. Untuk tipe *downdraft gasifier* urutan posisi zona reaksi yang terjadi dari tumpukan bahan atas ke bawah yaitu pirolisis (endotermis), *combustion* (eksotermis) dan reduksi (endotermis).



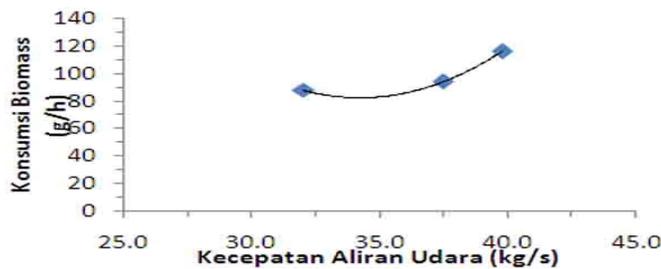
Gambar 3. Profil suhu di berbagai ketinggian bahan dalam reaktor gasifikasi

Sedangkan pengaruh kecepatan aliran udara terhadap suhu rata-rata keseluruhan proses gasifikasi yang berlangsung selama 1 jam ditunjukkan oleh Gambar 3. Dari penelitian teramati bahwa makin besar kecepatan aliran udara maka suhu *overall* proses akan makin tinggi. Zona gasifikasi dimana terjadi reaksi reduksi karbon dioksida oleh karbon menjadi karbon monoksida biasanya terjadi pada suhu diatas 500°C, sehingga proses gasifikasi sempurna akan tercapai pada suhu diatas 500°C (Kirubakaran, 2007)



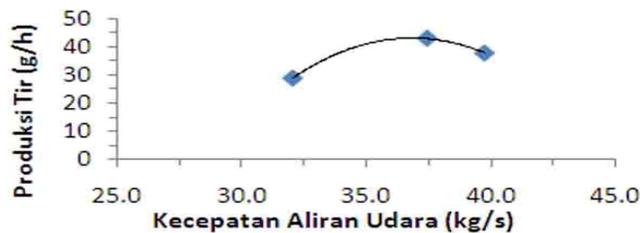
Gambar 4. Pengaruh kecepatan aliran udara terhadap suhu rata-rata keseluruhan proses gasifikasi

Pengaruh kecepatan aliran udara terhadap kecepatan konsumsi biomassa dapat disajikan dalam Gambar 4. Dari grafik ini, teramati bahwa makin besar kecepatan aliran udara, konsumsi biomassa makin meningkat. Hal ini karena peningkatan kecepatan aliran udara akan menyediakan lebih banyak oksigen untuk mengoksidasi biomassa sehingga biomassa yang terbakar jumlahnya akan makin besar. Energi yang dilepaskan dari pembakaran biomassa ini akan meningkatkan kecepatan proses pengeringan dan pirolisis yang juga mengkonsumsi biomassa. Sehingga peningkatan konsumsi biomassa yang terjadi bukan hanya untuk reaksi gasifikasi namun juga untuk proses pengeringan dan reaksi pirolisis.



Gambar 5. Pengaruh kecepatan aliran udara terhadap konsumsi biomassa

Dalam proses gasifikasi ini, selain gas hasil, juga terdapat hasil samping berupa cairan tir bercampur arang yang diambil dari bagian bawah siklon penangkap abu dan kolom pendingin. Penampilan fisis cairan tir ini berwarna hitam pekat dengan bau khas. Komposisi utama cairan ini adalah tar dan *polyaromatichydrocarbon* (PAH) dari proses pirolisis serta air kondensat (H₂O) yang berasal dari hasil reaksi oksidasi maupun dari kandungan umpan udara dan biomass. Hubungan kecepatan aliran udara pada proses gasifikasi dan produksi tir dari penelitian ini dapat diamati pada gambar 5. Makin besarnya kecepatan aliran udara yang juga berakibat kenaikan suhu overall menyebabkan adanya fluktuasi dari produk tir yang dihasilkan. Hal ini masih memerlukan pengkajian lebih lanjut mengenai proses optimasi gasifikasi terkait dengan distribusi suhu serta produk gasifikasi yang berupa gas, padatan (sisa biomassa) dan cairan (tir).



Gambar 6. Pengaruh kecepatan aliran udara terhadap produksi tir

Kesimpulan

Kesimpulan yang diperoleh dari data hasil penelitian ini adalah : Dengan semakin besar kecepatan aliran udara, maka kecepatan kenaikan suhu rata-rata dalam reaktor akan meningkat.

1. Distribusi suhu di dalam reaktor gasifikasi berkisar pada range 450-600⁰C selama 10 menit pada *steady state* dengan variasi kecepatan aliran udara 32.0444; 37.4718; 39.7684 kg/s.
2. Peningkatan kecepatan aliran udara akan menyebabkan peningkatan kecepatan konsumsi biomassa yang digunakan baik untuk reaksi oksidasi, pirolisis maupun reduksi.

Daftar Pustaka

- Babu, B. V., Chaurasia, A. S., 2004, "Parametric Study of Thermal and Thermodynamic Properties on Pyrolysis of Biomass in Thermally Thick Regime", *Energy Conversion and Management* 45, 53-72.
- Babu, B. V., Sheth, P. N., 2006. "Modelling and Simulation of Reduction Zone of Downdraft Biomass Gasifier : Effect of Char Reactivity Factor. *Energy Conversion and Management* 47, 2602-2611.
- Basu, P., 2006, "Combustion and Gasification in Fluidized Beds", CRC Press, Taylor and Francis Group, London.
- Bridgewater, A. V., 1990, "Biomass Pyrolysis Technologies, Biomass to Energy and Industry", London : Elsevier Applied Science.
- Chowdhury, R., Bhattacharya, P. Chakravarty, M., 1994, "Modelling and Simulation of a Downdraft Rice Husk Gasifier. *International Journal of Energy Research* 18, 581-594.
- Demirbas, A., 2001, "Bioresource Facilities and Biomass Conversion Processing for Fuels and Chemicals. *Energy Conversion and Management* 42, 1357-1378
- Di Blasi, C., Signorelli, G., Portoricco, G., 1999, "Countercurrent Fixed Bed Gasification of Biomass at Laboratory Scale", *Industrial Engineering Chemistry and Research* 38, 2571-2581.
- Grassi, G., Goose, G., dan Dos-Santos, G., 1990, "Biomass to Energy and Industry", London : Elsevier Applied Science.
- Higman, C., 2003, "Gasification", MVD Burgt, pg98 – 109.
- Kirubakaran, V., et al., 2007, "A Review on Gasification of Biomass", *Renewable and Sustainable Energy Reviews* 13; 179-186
- Reed, T. B., dan DAS, A., 1988, "Handbook of Biomass Downdraft Gasifier Engine System", Solar Energy Research Institute, Colorado.
- Werther, J., Saenger, M., Hartage, E. U., Ogada, T., dan Siagi, Z., 2000, "Combustion of Agricultural Residues", *Prog Energy Combust Sci* 26 : 1.
- Williams, P. T., dan Besler, S., 1996, " Influence of Temperature and Heating Rate on the Slow Pyrolysis of Biomass", *Renew Energy*; 7 : 233-250