

SIMULASI GASIFIKASI *SLUDGE* LIMBAH INDUSTRI *PULP* DAN KERTAS

¹Rusydy, ¹Amun Amri dan ¹Ahmad Fadli

¹Magister Teknik Kimia, Fakultas Teknik, Universitas Riau, Kampus Bina Widya
Jalan Raya HR. Subrantas km 12,5 Simpang Baru Panam, Pekanbaru Riau, 28293, Indonesia

E-mail : rusydy@gmail.com

ABSTRAK

Industri *pulp* dan kertas menghasilkan limbah padat sekitar 3%-4% dari total produksi, sebagian besar berupa lumpur (*sludge*). Salah satu teknologi pengolahan *sludge* adalah proses gasifikasi *sludge* menjadi *syngas*. Faktor-faktor yang mempengaruhi proses gasifikasi *sludge* dipelajari dengan melakukan simulasi proses gasifikasi *sludge* dalam *fluidized bed gasifier* menggunakan software Aspen Plus V8.0. Konfigurasi proses disusun berupa sistem gasifikasi *fluidized bed* dengan umpan *sludge* menggunakan agen gasifikasi O₂ dan *steam*. Beberapa tahap dipertimbangkan untuk menunjukkan seluruh proses gasifikasi, yaitu dekomposisi *sludge*, pembakaran zat yang mudah menguap, gasifikasi *char*, dan pemisahan gas-padatan. Digunakan *sludge* dengan nilai *ultimate* (basis kering): 48,0% C; 5,7% H; 36,3% O; 0,8% S; 1,2% N; dan *proximate* (basis kering); kadar air 40,90%; abu 8,70%; *Volatile Matter* 52,1%; *Fixed Carbon* 41,82%; LHV 9,5 MJ/kg. Variabel penelitian: temperatur reaktor 600-800°C, ER 0,20-0,35 kg/kg, S/B 0,20-0,35 kg/kg dan variabel tetap: tekanan operasi 1 atm dan laju alir *sludge* 100 kg/menit. Temperatur reaktor, *Equivalent Ratio* (ER), Perbandingan *Steam/Sludge* (S/B) adalah faktor-faktor yang sangat berpengaruh dalam proses gasifikasi *sludge*. Peningkatan temperatur menyebabkan konsentrasi hidrogen dalam *syngas* meningkat pesat (24,84-35,19%) dan mengurangi konversi CO (17,07-15,45%). Peningkatan ER mengurangi konversi *syngas* -15,85% dan meningkatkan persentase CO₂ (26,40-35,99%), ER optimal antara 0,2-0,3. *Ratio steam-sludge* tinggi dapat mengurangi suhu reaktor yang berefek pada laju gasifikasi, S/B optimum antara 0,20-0,25.

Kata Kunci : *gasifikasi sludge, fluidized bed gasifier, limbah industri pulp dan kertas.*

ABSTRACT

Pulp and paper industry generates solid waste around 3-4% of the total production, mostly form in sludge from the Waste Water Treatment Plant. Sludge gasification is one such technology processing sludge into syngas. The purpose of this research was to study the factors that influence the pulp and paper industry sludge gasification into syngas. This research was conducted by simulating the sludge process gasification in the fluidized bed gasifier using Aspen Plus v8.0 software. Configuration process is set out in this study is a fluidized bed gasification systems to feed sludge using O₂ and steam as gasification agent. Some stages considered in the ASPEN Plus simulation to show the entire process of gasification, ie the decomposition of sludge, combustion of volatile substances, char gasification and gas-solids separation. In this simulation used sludge with ultimate value (dry basis): 48.0% C; 5.7% H; 36.3% O; 0.8% S; 1.2% N; and proximate (dry basis): water content of 40.90%; ash of 8.70%; Volatile Matter 52.1%; Fixed Carbon 41.82%; LHV 9.5 MJ / kg. Variable research: reactor temperature 600-800°C, ER 0.20 to 0.35 kg/kg, S/B 0.20-0.35 kg/kg and fixed variable operating pressure of 1 atm, sludge flow rate of 100 kg/min. The reactor temperature, Equivalent Ratio (ER), Steam/Sludge ratio (S/S) are factors that are very influential in the sludge gasification process. Increased temperatures cause the concentration of hydrogen in the syngas increased considerably (from 24.84 to 35.19%) and reduces the conversion of CO (17.07 to 15.45%). Increased ER reduces the conversion of syngas -15.85% and increase the percentage of CO₂ (26.40-35.99%), ER optimum between 0.2-0.3. High steam-sludge ratio can reduce the temperature of reactor which have an effect on the rate of gasification, S/B optimum between 0.20-0.25.

Keywords : *sludge gasification, fluidized bed gasifier, waste pulp and paper industry.*

PENDAHULUAN

Perkembangan teknologi proses pembuatan *pulp* dan kertas saat ini cenderung menghasilkan limbah yang didominasi oleh polutan organik terlarut dibandingkan polutan tersuspensi, sehingga perlu diolah secara biologi. Kendala yang dihadapi dengan cara ini adalah terbentuknya hasil samping berupa lumpur *sludge* IPAL yang kandungan utamanya terdiri dari biomassa dengan kadar padatan rendah, hal ini menimbulkan masalah pada penanganannya (Tim Direktorat Industri, 2013).

Sludge yang dihasilkan dari sebuah pabrik *pulp* dan kertas adalah sebesar 3-4% dari total produksi *pulp*. *Sludge* ini diklasifikasikan atas *sludge* primer dari hasil pengolahan secara fisika-kimia, dan *sludge* sekunder dari hasil pengolahan secara biologi.

Sludge pabrik *pulp* dan kertas memiliki panas pembakaran (dasar kering) mencapai 24,1 MJ/kg sehingga berpotensi digunakan sebagai sumber energi alternatif dan terbarukan pengganti gas fosil melalui proses gasifikasi (Scott dkk, 1995).

Pabrik *Pulp* dan Kertas PT RAPP yang berlokasi di Pangkalan Kerinci Kab. Pelalawan adalah salah satu industri *Pulp* dan Kertas terbesar di dunia yang proses produksinya terintegrasi dalam satu kawasan industri.

Potensi *sludge* di PT RAPP dengan kapasitas produksi 2,7 juta ton *pulp* pertahun, bila diasumsi hanya 80% *sludge* yang terpakai adalah 173.520.000 MJ/bulan, setara dengan 6.907 ton batubara per bulan. Bila harga batubara 58,37 USD/ton maka potensi *sludge* sebagai sumber energi mencapai 4.8 miliar rupiah per bulan.

Penelitian ini bertujuan untuk menentukan factor-faktor yang mempengaruhi gasifikasi *sludge* limbah industri *pulp* dan kertas menjadi *syngas* melalui simulasi komputer dengan agen gasifikasi oksigen dan steam. Dari hasil simulasi dalam penelitian ini, diketahui bahwa ada tiga faktor yang berpengaruh dalam proses gasifikasi *sludge* limbah industri *pulp* dan kertas yaitu Temperatur reaktor, *Equivalent Ratio* (ER) dan *Ratio steam-sludge*.

Konsentrasi hidrogen dalam gas produk meningkat pesat (24.84–35.19 %) dengan peningkatan temperatur reaktor 600-800 °C. ER tinggi kurang baik untuk gasifikasi karena menyebabkan hasil pembakaran tidak sempurna, mengurangi konversi gas produk (-15.85 %).

Rasio uap-*sludge* yang lebih tinggi (0.20 – 0.35) menghasilkan reaksi gas-air yang lebih tinggi. Tetapi laju aliran uap yang lebih tinggi akan memberi efek yang berlawanan pada laju gasifikasi, karena akan mengurangi suhu reaktor.

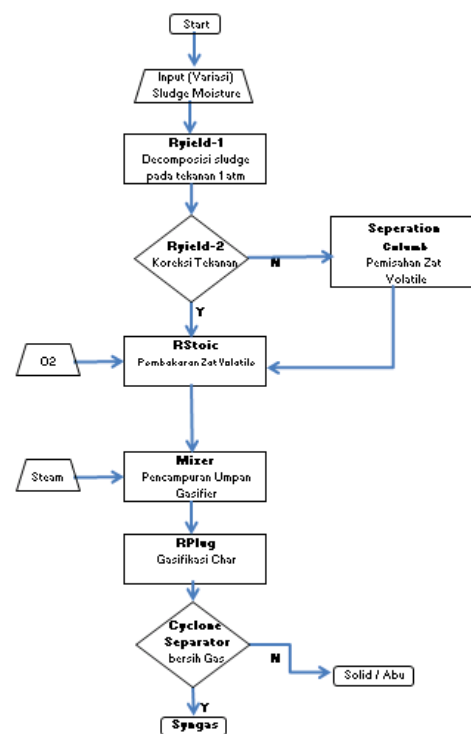
Penelitian gasifikasi biomassa sudah banyak dilakukan, Syamsudin dan Herri Susanto, 2010 melaporkan, *Sludge* merupakan biomassa dengan tipikal panas pembakaran (dasar kering) 24,1 MJ/kg sehingga memiliki potensi untuk digunakan sebagai sumber energi alternatif dan terbarukan.

Sebuah pabrik *pulp* kraft biasanya menghasilkan *sludge* kira-kira 58 kg/ton *pulp*. *Sludge* sebanyak ini dapat dimanfaatkan sebagai bahan bakar pengganti gas alam atau minyak untuk proses kalsinasi di dalam pabrik *pulp* kraft di Indonesia.

BAHAN DAN METODE

Simulasi dengan Aspen Plus bertujuan untuk menentukan faktor-faktor yang mempengaruhi gasifikasi *sludge* limbah industri *pulp* dan kertas menjadi *syngas* dengan agen gasifikasi oksigen dan steam. Faktor penting yang dipelajari adalah temperatur reaktor, pengaruh kadar air *sludge*, nilai *equivalent ratio* (ER), dan perbandingan *Steam/Sludge* (S/B) terhadap *yield syngas* (Doherty dkk, 2013, Panda, 2012).

Algoritma proses gasifikasi *sludge* (Gambar 1) :



Gambar 1. Algoritma proses gasifikasi *sludge*

Beberapa tahap dipertimbangkan dalam simulasi ASPEN Plus, untuk menunjukkan seluruh proses gasifikasi, yaitu dekomposisi *sludge*, pembakaran zat yang mudah menguap, gasifikasi char, dan pemisahan gas-padatan. Gas produser keluar dari gasifier dibersihkan dengan siklon separator. Software ASPEN Plus yang digunakan adalah **Aspen Plus V8.0** produk dari *aspentech*.

Dalam simulasi ini digunakan *sludge* hasil pengolahan di *Effluent Treatment Plant* PT Riau Andalan *Pulp and Paper* di Pangkalan Kerinci Kab. Pelalawan Riau. Nilai ultimate (basis kering): 48,0% C; 5,7% H; 36,3% O; 0,8% S; 1,2% N; dan proximate (basis kering): kadar air 40,90%; abu 8,70%; *Volatile Matter* 52,1%; *Fixed Carbon* 41,82%; LHV (dasar kering) 9.5 MJ/kg. Algoritma seperti tampak pada Gambar 1, adalah sebagai berikut:

1. Input (Variasi) *Sludge* Moisture 30-35%
2. Tahap pertama terjadi proses pyrolysis dalam Reaktor Ryield-1R, yang menguraikan *sludge* menjadi unsur-unsurnya seperti CO, H₂, CO₂, H₂O, H₂S, N₂, CH₄, C₆H₆ dan abu.
3. Ryield-2, Koreksi Tekanan dari tekanan percobaan pirolisis ke tekanan real gasifier $V_2 = V_1 \cdot (1 - a \cdot \ln P_i)$
4. Model *SEPARATION COLUMN* digunakan sebelum RSTOIC reaktor untuk memisahkan bahan yang mudah menguap dan padatan untuk kesempurnaan reaksi.
5. Pembakaran Zat Volatile, Setelah proses pirolisis, combustible gases akan bereaksi dengan oksigen yang di umpankan ke dalam gasifier, seperti reaksi berikut.
$$C_6H_6 + 7,5 O_2 \rightarrow 6CO_2 + 3 H_2O$$
$$H_2 + 0,5 O_2 \rightarrow H_2O$$
$$CO + 0,5 O_2 \rightarrow CO_2$$
$$CH_4 + 2O_2 \rightarrow CO_2 + 2H_2O$$
6. Mixer - Pencampur Umpan Gasifier, gas yang keluar dari RStoic sebelum masuk ke proses Gasifikasi Char dilakukan pencampuran dengan Steam.
7. Gasifikasi Char.
8. Pemisahan gas dengan padatan menggunakan Cyclone Separator. Pemisahan berdasarkan berat jenis komponen

Dekomposisi *Sludge*.

Aspen Plus yield reaktor (RYIELD), digunakan untuk mensimulasikan dekomposisi *sludge*. Pada tahap ini, massa *sludge* dirubah menjadi komponen-komponen pembentuknya berupa C, H, O, S, N,

dan abu, dengan menentukan distribusi hasil sesuai dengan *sludge ultimate* analisis.

Pembakaran Volatile

Reaktor Aspen Plus Gibbs (RSTOIC) digunakan untuk simulasi pembakaran *volatile*, Karbon yang sebagian merupakan fase gas, mengambil bagian dalam devolatilisasi, sisanya bagian dari fase padat (char) dan kemudian menghasilkan arang gasifikasi. Model *SEPARATION COLUMN* digunakan sebelum RSTOIC reaktor untuk memisahkan bahan yang mudah menguap dan padatan untuk kesempurnaan reaksi.

Diasumsikan bahwa arang hanya mengandung karbon dan abu, jumlah bagian karbon dalam material volatil dapat dihitung dengan mengurangi jumlah total karbon dalam arang dari total karbon dalam *sludge*.

Gasifikasi Char

Reaktor RPLUG, digunakan untuk melakukan gasifikasi arang dengan menggunakan kinetika reaksi. Parameter hidrodinamik membagi reactor menjadi dua bagian, *bed* dan *freeboard*, dan masing-masing bagian disimulasikan dengan RPLUG yang terdiri dari serangkaian reaktor RPLUG dengan volume yang sama. Hidro dinamis dan kinetik parameter, seperti kecepatan superfisial, tekanan pecahan oksigen dan uap konstan dalam reaktor tersebut. Dimensi reaktor tergantung pada waktu tinggal, dimensi reactor dan kondisi operasional.

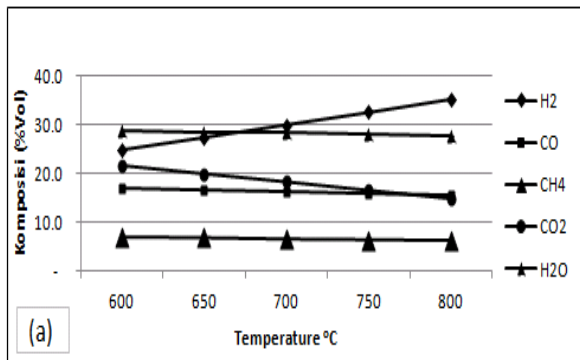
Pemisahan Gas Dengan Padatan.

Pemisahan gas dengan padatan dilakukan dengan Cyclone Separator berdasarkan berat jenis komponen. Pemisahan ini bertujuan untuk memperoleh hasil gas produk (*Synsgas*) yang bersih.

HASIL DAN PEMBAHASAN

Pengaruh Variasi Temperatur

Temperatur gasifikasi adalah salah satu faktor yang paling berpengaruh terhadap komposisi gas hasil, *syngas*. Temperatur yang lebih tinggi dapat meningkatkan hasil gas H₂ dan CH₄, menurunkan komposisi CO dan CO₂. Sementara peningkatan *Ratio Steam-Sludge* berpengaruh terhadap penurunan konversi dari gas produk.



Gambar 2. Pengaruh temp terhadap komposisi syngas pada Ratio Sludge-Steam 0.20

Pengaruh Temperatur dan *Ratio Sludge-Steam* (0.2) terhadap Komposisi Produk dengan Equivalent Ratio (ER) dan 0.20, Moisture 30% dapat dilihat pada Gambar 2.

Gasifikasi adalah reaksi endotermik, komposisi gas produk sangat sensitif terhadap perubahan temperatur. Dari Gambar 2 terlihat bahwa konsentrasi H₂ meningkat dengan peningkatan temperatur (24.84 ke 35.19 %).

Konsentrasi CO berkurang (17,07-15,45%) dalam rentang temperatur (600-800°C). Temperatur yang lebih rendah memberikan komposisi yang lebih baik untuk proses steam reforming metana, dapat menghasilkan 17,069% CO, ini berkaitan dengan peningkatan konsentrasi hidrogen dalam gasifier (35.194%).

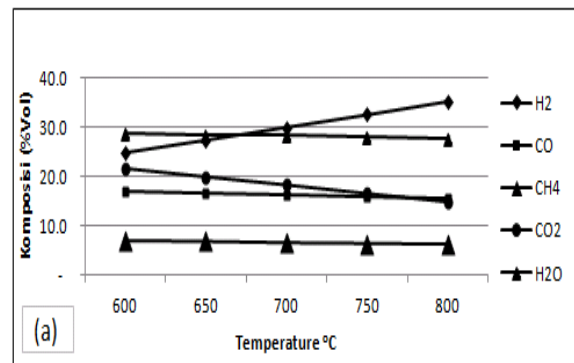
Jika *sludge* yang digasifikasi memiliki kadar air 30%, gas produser memiliki panas pembakaran 9140 kJ/Nm³, menghasilkan temperatur kesetimbangan 570°C (lebih rendah dari temperatur gasifikasi dalam praktek). Komposisi dan panas bakar gas produser tergantung pada perbandingan steam/biomassa, dan oksigen/biomassa, di samping kadar air dalam *sludge* (Syamsudin, 2010).

Pengaruh nilai Equivalent Ratio (ER)

Equivalent Ratio (ER) adalah perbandingan antara aliran udara actual dengan aliran udara yang dibutuhkan secara stoikiometrik untuk pembakaran biomassa. Laju aliran udara dapat mengontrol derajat pembakaran, hal ini dapat mempengaruhi pengaturan suhu gasifikasi.

Gambar 3 memperlihatkan variasi *Equivalent Ratio* (ER) memberi pengaruh yang signifikan pada komposisi dan konversi produk terutama pada temperatur rendah. Pengaruh variasi *Equivalent*

Ratio (ER) kurang terlihat pada kondisi temperatur tinggi.



Gambar 3. Pengaruh temp terhadap komposisi syngas pada Equivalent Ratio (ER) 0.20

Kenaikan *Equivalent Ratio* (ER) yang berlebihan (>0.25), menyebabkan komposisi CO dan H₂ akan menurun. Hal ini terjadi karena adanya oksidasi berlebihan, sehingga banyak membentuk CO₂ dan H₂O. Penurunan pembentukan CO lebih kecil dari pada kenaikan pembentukan CO₂. Hal ini memberikan nilai panas yang dihasilkan ke puncak *gasifier*. Maka efisiensi termal di puncak *gasifier* akan menurun.

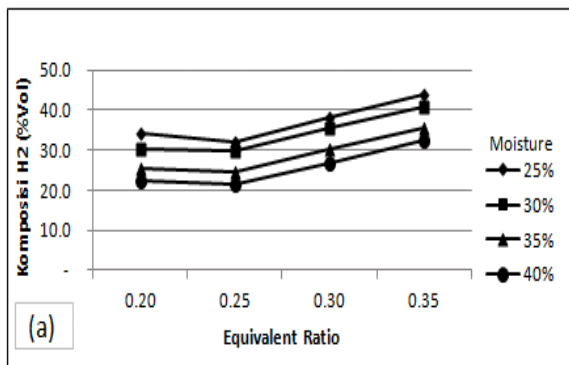
Pengaruh Rasio Uap-Sludge

Menggunakan uap sebagai agen gasifikasi dapat meningkatkan tekanan parsial H₂O di dalam ruang gasifikasi yang berisi gas-air, reaksi pergeseran gas-air dan reaksi reformasi metana mengarah ke peningkatan produksi H₂. Namun, suhu gasifikasi harus cukup tinggi (di atas 750°C) untuk steam reforming dan reaksi gas-air menjadi menguntungkan (Ajay, 2009).

Rasio uap-*sludge* yang lebih tinggi dapat meningkatkan konversi CO menjadi CO₂ dan H₂ melalui reaksi pergeseran gas air (Ajay, 2009). Konsentrasi H₂ dan CO₂ meningkat dengan peningkatan rasio uap-*sludge*, sedangkan konsentrasi CO menurun dalam gas produk. Rasio uap-*sludge* yang lebih tinggi juga memberikan kondisi yang lebih menguntungkan untuk pembentukan metana, terjadi kenaikan sampai 1,7% (Gambar 4).

Kenaikan kadar air dalam *sludge* menyebabkan terjadinya penurunan temperatur gasifikasi. Penurunan ini terjadi karena berkurangnya ketersediaan panas untuk reaksi endotermik gasifikasi akibat penggunaan panas untuk menguapkan air dalam *sludge*. Semakin tinggi kadar air dalam *sludge* menyebabkan kebutuhan

panas penguapan semakin besar, sehingga temperatur kesetimbangan gasifikasi juga semakin turun (Syamsudin, 2010).



Gambar 4. Pengaruh Equivalent Ratio dan Moisture terhadap komposisi syngas (H₂) Pengaruh Moisture Sludge

Proses gasifikasi sendiri sebaiknya dijaga pada temperatur di atas 600 °C, karena proses gasifikasi akan lebih efektif berlangsung diatas temperature tersebut. Selain itu, pada temperatur yang lebih tinggi, tar yang terbentuk menjadi berkurang karena mengalami reaksi oksidasi. Kenaikan kadar air dalam *sludge* umpan gasifier berdampak pada berkurangnya gas produser yang harus dibakar untuk proses pengeringan *sludge* (Syamsudin, 2010).

KESIMPULAN

Konsentrasi hidrogen dalam gas produk meningkat pesat (24.84–35.19 %) dengan peningkatan temperatur reaktor 600-800 °C, temperatur yang tinggi juga dapat mengurangi konversi karbon monoksida (17,07-15,45 %).

Equivalent Rasio (ER) tinggi kurang baik untuk gasifikasi karena menyebabkan hasil pembakaran tidak sempurna, mengurangi konversi gas produk (-15.85 %), menghasilkan persentase CO₂ yang lebih tinggi dalam gas produk (26.40 – 35.99 %). Equivalent Rasio (ER) rendah (<0,2) juga tidak baik, karena akan menghasilkan pirolisis bukan gasifikasi. Untuk penelitian ini Equivalent Rasio (ER) optimal terletak di antara 0.20 dan 0.30.

Rasio uap-*sludge* yang lebih tinggi (0.20 – 0.35) menghasilkan reaksi gas-air yang lebih tinggi. Tetapi laju aliran uap yang lebih tinggi akan memberi efek yang berlawanan pada laju gasifikasi, karena akan mengurangi suhu reaktor. Rasio uap-*sludge* yang optimal terletak antara 0.20 dan 0.25.

UCAPAN TERIMA KASIH

Penulis mengucapkan terima kasih kepada rekan Mukhlis Azis yang telah banyak memberikan saran dan masukan bagi kesempurnaan pada penulisan jurnal ini.

DAFTAR PUSTAKA

- Ajay K., David D.J., and Milford A.H., 2009, "Thermochemical Biomass Gasification: A Review of the Current Status of the Technology". *Energies*, 2, 556-581.
- Doherty W., Reynolds A., and Kennedy D., 2013, *Aspen plus simulation of biomass gasification in a steam blown dual fluidised bed*. Department of Mechanical Engineering, Dublin Institute of Technology,
- Panda, C., 2012 *Aspen Plus Simulation and Exsperimantal Studies on Biomass Gassification*. National Institute of Technology, Rourkela.
- Scott, G.M., Abubakr, S., dan Smith, A., 1995, "*Sludge Characteristics and Disposal Alternatives for the Pulp and Paper Industry*", in Proceedings of the 1995 International Enviro Conference, TAPPI Press, Atlanta, 269-279.
- Syamsudin, dan Herri S., 2010, *Simulasi Termodinamika Gasifikasi Sludge Pabrik Pulp Kraft untuk Penghematan Gas Alam Sebagai Bahan Bakar Lime Kiln*, SEMINAR REKAYASA KIMIA DAN PROSES 2010 ISSN : 1411-4216 Semarang.
- Tim Direktorat Industri Hasil Hutan Dan Perkebunan, 2013, *Digestasi Anaerobik Sludge IPAL Industri Pulp dan Kertas untuk Produksi Biogas sebagai Energi Alternative*. Direktorat Industri Hasil Hutan Dan Perkebunan.