

KARAKTERISTIK HILANG TEKAN ALIRAN UDARA MELALUI TUMPUKAN SERBUK GERGAJI DI FIXED BED REACTOR

Sunu Herwi Pranolo*, Grata Priangga, M. Ikbal Said

Jurusan Teknik Kimia Fakultas Teknik Universitas Sebelas Maret
Jl. Ir. Sutami no. 36 A, Surakarta 57126 Telp/fax: 0271-632112

*Email: sunu_pranolo@yahoo.com

Abstract : *Solid Bed in fixed bed gasifier tends to cause the pressure drop that resulting energy loss. Thus, the main cause needs analysis in order to obtain the operating conditions that minimize energy loss. Pressure drop at the fixed bed gasifier is influenced by the particle diameter, bed porosity and shape factor of the solid particle. This research purposed to analyze influence of air flow rate and depth of sawdust bed in the fixed bed gasifier. The experiments were performed by air flux from the blower. This research analyzed two conditions of the gasifier, empty and filled with the bed of sawdust. Average diameter (D_p) of 0,02 cm was selected as constant variable and the independent variables were depth of bed (L) and air superficial velocity (G). The experiments air superficial velocities were in the range of 1,3154 – 1,3891 g/cm²s and depth of bed at 15 cm, 30 cm, 45 cm. Experimental results showed that the trend of the pressure drop is proportional to the air flow rate and to the depth of sawdust bed.*

Keywords: *pressure drop, sawdust, gasification*

PENDAHULUAN

Proses reaksi kimia memerlukan kesesuaian reaktor agar reaksi berlangsung cepat dan konversi optimum pada suatu kondisi operasi. Misalnya, reaksi heterogen antara gas dan padatan dibedakan atas dasar pengontakan, yaitu *fixed bed reactor* dan *fluidized bed reactor*. *Fixed bed reactor* tersusun oleh tumpukan padatan tetap selama reaksi berlangsung dan *fluidized bed reactor* padatan difluidisasi sehingga padatan bergerak seiring dengan gerakan fluida. Contoh reaksi heterogen antara gas dan padatan adalah proses gasifikasi biomassa, seperti sekam padi, janggel jagung dan serbuk gergaji.

Serbuk gergaji merupakan hasil samping proses penggergajian kayu gelondongan menjadi balok kayu. Serbuk gergaji yang dihasilkan sekitar 20% dari bahan baku kayu yang diolah. Salah satu jenis kayu yang menghasilkan serbuk gergaji adalah kayu jati. Di Pulau Jawa luas hutan jati hampir mencapai 11% luas Pulau Jawa sehingga cukup berpotensi menghasilkan serbuk gergaji kayu jati dalam jumlah banyak (Simatupang, 2000). Potensi tersebut juga berarti membuka peluang perkembangan gasifikasi serbuk gergaji kayu jati untuk pemenuhan kebutuhan energi bagi masyarakat di sekitar hutan jati.

Gasifikasi serbuk gergaji dapat dilangsungkan dalam reaktor jenis *fixed bed*. Tumpukan serbuk gergaji di dalam reaktor *fixed*

bed cenderung menyebabkan adanya hilang tekan (*pressure drop*). Hilang tekan tersebut menyebabkan kehilangan energi, jadi perlu analisa penyebab utama hilang tekan tersebut agar kebutuhan energi proses gasifikasi minimal.

Serbuk gergaji kayu jati adalah serbuk kayu sisa proses penggergajian kayu jati. Kayu jati merupakan jenis kayu bermutu tinggi sehingga banyak digunakan untuk pembuatan mebel dan struktur suatu bangunan. Kayu jati memiliki berat jenis sekitar 0,62 - 0,75 kg/cm³ dan jika mengalami pembakaran dapat menghasilkan panas sebesar 21,34 x 10³ kJ/gram. Komposisi kimia kayu jati terdiri dari selulosa 47,5%, lignin 29,9%, pentosa 14,4%, abu 1,4% dan silika 0,4% (Setyawan, 2006). Analisa proksimat dan ultimat kayu jati disajikan pada Tabel 1 (Ismadji, 2004).

Tabel 1. Analisa proksimat dan ultimat kayu jati

Analisa Proksimat		Analisa Ultimat	
Kandungan	Berat	Kandungan	Berat
Kadar air	7,4%	Karbon	56,31%
Bahan <i>volatile</i>	63,3%	Nitrogen	1,06%
Karbon tetap	28,9%	Hidrogen	7,78%
Abu	0,4%	Oksigen	34,73%
		Belerang	0,12%

Proses gasifikasi telah dikenal sejak abad lalu sebagai cara pengolahan batubara, gambut atau kayu menjadi bahan bakar gas. Pada

tahun-tahun terakhir ini, proses gasifikasi mendapat perhatian kembali di seluruh dunia, terutama dalam pengolahan biomassa sebagai sumber energi terbarukan. Secara sederhana proses gasifikasi biomassa dapat dikatakan sebagai reaksi kimia pada temperatur tinggi antara biomassa dengan udara (Susanto, 2010).

Proses gasifikasi terdiri dari empat tahapan proses atas dasar perbedaan rentang kondisi temperatur, yaitu pengeringan ($T > 150$ °C), pirolisis ($150 < T < 700$ °C), oksidasi ($700 < T < 1500$ °C), dan reduksi ($800 < T < 1000$ °C). Proses pengeringan, pirolisis, dan reduksi bersifat menyerap panas (endotermik), sedangkan proses oksidasi bersifat melepas panas (eksotermik). Jadi, panas hasil proses oksidasi digunakan untuk proses pengeringan, pirolisis dan reduksi. Bahan kering hasil dari proses pengeringan mengalami proses pirolisis, yaitu pemisahan bahan *volatile* (uap air, cairan organik, dan gas tak terkondensasi) dari arang. Hasil pirolisis berupa arang mengalami proses pembakaran dan proses reduksi yang menghasilkan gas produser yaitu, H_2 dan CO .

Reaktor gasifikasi dikenal dengan nama *gasifier*. Ketika gasifikasi berlangsung, terjadi kontak antara bahan bakar dengan *gasifying agent* di dalam *gasifier*. *Gasifying agent* yang umum digunakan adalah udara dan uap air. *Gasifier* yang digunakan menentukan kontak antara bahan bakar dengan medium penggasifikasi. Pengontakan bahan bakar dengan medium penggasifikasinya pada *gasifier* dibagi menjadi tiga jenis, yaitu *entrained bed*, *fluidized bed*, dan *fixed/moving bed*.

Hilang tekan pada *gasifier* dapat diukur dengan manometer pipa U. Persamaan (1) dapat digunakan untuk perhitungan hilang tekan (Brown, 1950).

$$-\Delta P = \Delta h(\dots_{air} - \dots_{gas})g \quad (1)$$

Hilang tekan terjadi karena adanya suatu hambatan atau tahanan yang dilalui suatu fluida. Laju alir suatu fluida berbanding lurus dengan hilang tekan suatu aliran yang melewati pipa. Hubungan hilang tekan dan debit aliran suatu fluida dapat dilihat pada Persamaan (2) (Perry, 1997).

$$Q = \frac{1}{A} \sqrt{\frac{2(p_1 - p_2)}{\left[\left(\frac{A}{a} \right)^2 - 1 \right]}} \quad (2)$$

Aliran suatu fluida melewati suatu tumpukan padatan berpori akan menghasilkan hilang tekan lebih besar daripada tanpa melewati suatu tumpukan karena adanya tahanan berupa tumpukan padatan tersebut.

Hilang tekan aliran fluida melewati padatan dipengaruhi oleh ukuran partikel padatan, kedalaman unggun padatan, laju alir fluida dan jenis fluida (Persamaan (3) dan (4)).

$$f_m = \frac{D_p \dots W_s^{3-n} v^3 \Delta p}{2G^2 L(1-n)^{3-n}} \quad (3)$$

$$Re = \frac{D_p G}{\dots} \quad (4)$$

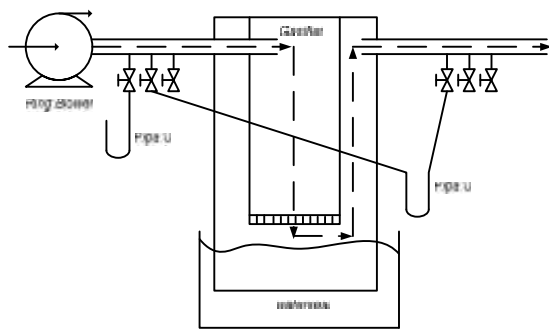
Bila bilangan Reynolds rendah (< 10) hilang tekan akan sebanding dengan viskositas fluida dan kecepatan fluida. Bila bilangan Reynolds tinggi (> 10) hilang tekan akan sebanding dengan densitas fluida dan kuadrat laju alir fluida (Perry, 1997). Bilangan Reynolds dan faktor friksi dihubungkan dengan suatu eksponen n . Hubungan antara bilangan Reynolds dan eksponen n ditunjukkan oleh grafik *Leva* (Gambar 1) (Perry, 1997).

Pada *gasifier* dengan aliran dingin atau tanpa proses pembakaran dapat dilakukan perbandingan dengan dua kondisi tumpukan biomassa berbeda. Pada kondisi pertama *gasifier* berisi tumpukan biomassa yang baru saja dipadamkan setelah mengalami proses pembakaran dan pada kondisi kedua *gasifier* berisi biomassa yang belum mengalami proses pembakaran. Kedua kondisi *gasifier* tersebut dialirkan dengan variasi laju alir yang memiliki rentang 36 – 108 kg/jam sehingga dapat dihasilkan karakteristik hilang tekan terhadap laju alir udara melewati tumpukan. Karakteristik yang didapatkan adalah hilang tekan berbanding lurus dengan laju alir udara yang melewati tumpukan. Kondisi pertama menghasilkan hilang tekan lebih besar daripada kondisi kedua. Pada laju alir 68,4 kg/jam selisih hilang tekan antara kondisi pertama dan kedua sebesar 6 MMWC sedangkan pada laju alir 108 kg/jam selisih hilang tekan kedua kondisi tersebut meningkat menjadi 15 MMWC. Partikel biomassa di kondisi pertama sudah mengalami perubahan ukuran menjadi lebih kecil setelah mengalami proses pembakaran. Ukuran partikel biomassa semakin kecil maka porositas tumpukan juga semakin kecil, hal inilah yang menyebabkan aliran udara menjadi sulit melewati tumpukan dan kemudian menghasilkan hilang tekan semakin besar (Sharma, 2009).

METODOLOGI

Bahan baku keperluan penelitian ini adalah serbuk gergaji kayu jati. Diameter partikel tumpukan diwakili oleh diameter rata-rata partikel. Metode pengukurannya adalah pengayakan bertahap dengan penggunaan beberapa ukuran ayakan.

Serbuk gergaji dimasukkan ke dalam kolom unit gasifikasi (*fixed bed gasifier*) dengan dimensi kolom berdiameter dalam 14 cm dan tinggi kolom 60 cm. Udara masuk ke dalam kolom reaktor pada ketinggian 50 cm dari dasar kolom. Udara tersebut dialirkan dengan menggunakan *ring blower* 1/5 hp melalui pipa. Pengukuran hilang tekan yang dihasilkan menggunakan manometer pipa U dengan membaca beda tinggi cairan di dalam manometer. Gas masuk dan keluar reaktor dialirkan menuju manometer dengan menggunakan selang berdiameter 0,7 cm. Skema rangkaian peralatan ditunjukkan pada Gambar 1.



Gambar 1. Skema peralatan percobaan tipe down draft gasifier

Penelitian ini menganalisa hilang tekan pada sebuah gasifier dengan kondisi isi berbeda-beda, yaitu dibagi menjadi dua model: gasifier kosong dan gasifier berisi biomassa. Hasil percobaan *gasifier* berisi biomassa dibandingkan hilang tekan yang dihasilkan dengan *gasifier* kosong.

Variabel bebas penelitian ini adalah laju alir udara (G) dan tinggi tumpukan serbuk gergaji (L) dan variabel tetapnya adalah diameter rata-rata partikel (D_p). *Ring blower* sebagai alat pengalir udara dikalibrasi terlebih dahulu. Variasi tinggi tumpukan adalah 15, 30, 45 cm dan *gasifier* kosong. Laju alir udara percobaan pada rentang 1,3154 – 1,3891 $g/cm^2.s$. Setelah diperoleh data hasil percobaan yaitu h manometer yang menunjukkan besarnya P , maka data tersebut akan diolah dalam perhitungan sampai didapatkan bilangan Reynold (Re) yang dapat diperoleh hubungannya dengan faktor friksi (f_m) melalui eksponen n (Gambar 1 dan Persamaan (3)).

HASIL DAN PEMBAHASAN

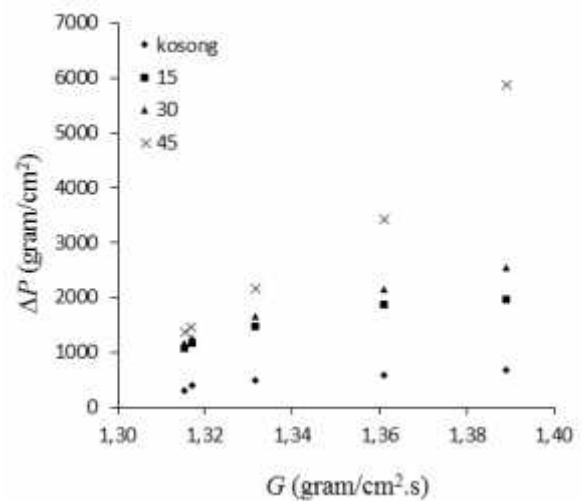
1. Hasil percobaan pendukung

Diameter partikel rata-rata serbuk gergaji yang diperoleh melalui pengayakan sebesar 0,02 cm. Porositas tumpukan serbuk gergaji

tersebut adalah 0,803. Laju alir udara dihitung dengan data selisih beda tinggi kolom cairan dalam manometer. Hubungan antara beda tinggi kolom cairan dalam manometer h dan debit aliran, yaitu $Q = 27,3 h^2 - 57,5 h + 466,4$.

2. Pengaruh laju alir udara dan tinggi tumpukan terhadap hilang tekan

Hubungan antara hilang tekan dan laju alir udara pada berbagai tinggi tumpukan serbuk gergaji ditampilkan pada Gambar 2. Saat gasifier tidak berisi serbuk gergaji aliran udara yang melewati reaktor hanya menerima hambatan dari reaktor itu sendiri. Hambatan tersebut menyebabkan timbulnya hilang tekan. Dengan besar laju alir udara masuk reaktor berbeda maka hilang tekan yang dihasilkan juga berbeda. Penelitian ini menganalisis hilang tekan pada laju alir udara dari 1,3154 - 1,3891 $g/cm^2.s$ dengan rentang berbeda-beda. Pada laju alir 1,3154 $g/cm^2.s$ menghasilkan P sebesar 293,66 $g/cm.s^2$ dan dengan laju alir lebih besar yaitu 1,3169 $g/cm^2.s$ menghasilkan P sebesar 391,54 $g/cm.s^2$ Kenaikan hilang tekan berbanding lurus dengan kenaikan besar laju alir udara melewati reaktor.



Gambar 2. Grafik hubungan antara laju alir udara (G) dan hilang tekan (P)

Jika dibandingkan dengan reaktor berisi tumpukan serbuk gergaji hilang tekan yang timbul jauh lebih besar. Tumpukan serbuk gergaji membuat aliran udara melewati reaktor terhambat sehingga menghasilkan hilang tekan lebih besar daripada reaktor kosong. Variasi laju alir udara yang sama dengan percobaan pada gasifier kosong didapatkan kecenderungan bahwa hilang tekan berbanding lurus dengan tinggi tumpukan. Saat laju alir 1,3891 $g/cm^2.s$

selisih hilang tekan antara tinggi 15 cm dan 30 cm adalah 587,31 g/cm.s² sedangkan selisih antara tinggi 30 cm dan 45 cm adalah 3328,12 g/cm.s². Selisih hilang tekan pada tinggi 15 cm dan 30 cm jauh lebih kecil jika dibandingkan dengan selisih pada tinggi 30 cm dan 45 cm (Gambar 2). Pada tinggi tumpukan sudah dekat jaraknya dengan aliran udara masuk. Kecenderungan hilang tekan terhadap laju alir udara masuk sesuai dengan penelitian oleh Sharma yaitu hilang tekan berbanding lurus dengan laju alir udara masuk.

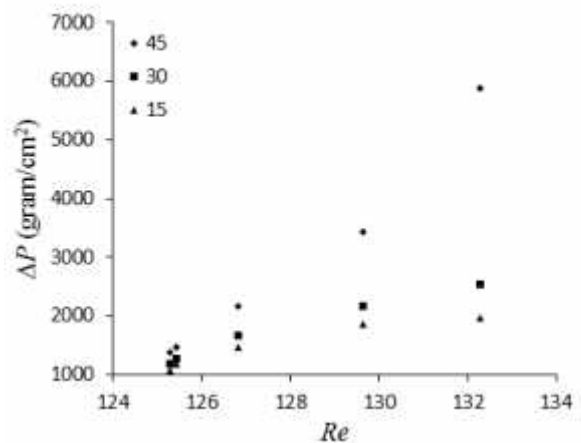
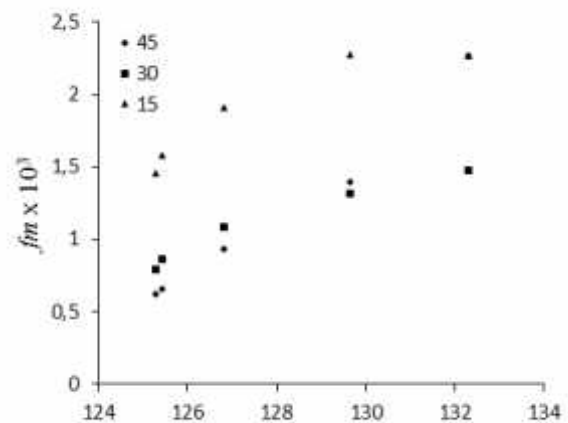
3. Pengaruh bilangan Reynolds terhadap faktor friksi

Hubungan antara bilangan Reynolds dan harga faktor friksi pada berbagai tinggi tumpukan ditampilkan pada Gambar 3. Kecenderungan hubungan antara faktor friksi dengan bilangan Re hampir sama dengan hubungan nilai hilang tekan dengan bilangan Re karena P berbanding lurus dengan harga faktor friksi sesuai dengan Persamaan (3). Hilang tekan berbanding lurus dengan faktor friksi karena adanya hambatan menimbulkan hilang tekan dan hambatan tersebut ditunjukkan dengan harga faktor friksi.

Sesuai dengan Persamaan (3) faktor friksi dipengaruhi beberapa faktor yaitu laju alir udara, tinggi tumpukan, porositas, diameter partikel serbuk dan spherisitas. Kondisi tumpukan sangat berpengaruh terhadap faktor friksi yang dihasilkan, hal ini dibuktikan pada tinggi tumpukan 15 cm faktor friksi lebih besar dibandingkan dengan pada tinggi 30 cm. Pada bilangan Re 132,29 harga faktor friksi di tinggi 15 cm adalah $2,27 \times 10^{-3}$ sedangkan di tinggi 30 cm hanya $1,47 \times 10^{-3}$ dan di tinggi 45 cm $2,27 \times 10^{-3}$. Dapat dilihat bahwa pada tinggi 45 cm dan 15 cm memiliki faktor friksi yang sama, hal ini akibat dari permukaan tumpukan pada tinggi 45 cm sudah terlalu dekat dengan aliran udara masuk

KESIMPULAN

Penelitian ini berlaku pada rentang laju alir 1,3154 g/cm².s sampai dengan 1,3891 g/cm².s. Kecenderungan data hilang tekan yang diperoleh sesuai dengan persamaan fluida melewati media porous. Hilang tekan besar pada *fixed bed gasifier* menghasilkan faktor friksi besar juga.



Gambar 3. Grafik hubungan bilangan Re dengan faktor friksi (f_m) dan hilang tekan

DAFTAR LAMBANG

- P = hilang tekan (g/cm²)
- h_1, h_2 = tinggi kolom 1 dan 2 (cm)
- ρ_{air} = densitas air (g/cm³)
- ρ_{gas} = densitas udara (g/cm³)
- L = tinggi tumpukan (cm)
- D_p = diameter rata-rata partikel (cm)
- = fraksi kekosongan/porositas
- n = eksponen pada grafik untuk fungsi Re
- = faktor bentuk
- G = kecepatan massa pada ruang kosong (g/cm².s)
- = densitas fluida (g/cm³)
- μ = viskositas fluida (Pa.s)
- g = kecepatan gravitasi (cm/s²)

DAFTAR PUSTAKA

- Brown, C.R. ,2003, "Biorenewable Resources", page 4, Iowa State Press, Iowa
- Brown, G.G. ,1950," Unit Operation", page 154, John Willey and Sons Inc, New York
- Higman, C, and van der Berg, M.,2003, "Gasification", Elsevier Science, USA
- Ismadji, S, dkk. ,2004,"Activated Carbon From Char Obtained From Vacuum Pyrolysis of Teak Sawdust: Pore Structure Development and Characterization", Department of Chemical Engineering, Widya Mandala Catholic University, Surabaya, Indonesia
- Perry, R. H., and Green, D. W. 2007, "Perry's Chemical Engineers Handbook", 8th ed, page 6-9, 6-39, Mc Graw Hill Book Company, New York
- Setyawan, M.I.B., 2006, "Pengaruh Penambahan Serbuk Gergaji Kayu Jati Pada Mortar Semen Ditinjau Dari Kuat Tekan, Kuat Tarik dan Daya Serap Air"
- Sharma, A., 2009, "Experimental study on 75 kW_{th} downdraft (biomass) gasifier system", Mech. Engg. Dept., D.C.R. University of Science & Technology, Murthal(Sonepat), 131039 Haryana, India
- Simatupang, M. H.,2000."Some Notes on the Origin and Establishment of Teak Forest in Java, Indonesia", Fakultas Kehutanan UGM, Perum Perhutani, Yogyakarta
- Susanto, H., 2009, "Potensi Pemanfaatan Teknologi Gasifikasi Biomassa pada Pemenuhan Energi Pedesaan