

PEROLEHAN SILIKAT DARI ABU SEKAM PADI DALAM SPOUTED-BED: EFEK PERPINDAHAN MASSA

Johnner P. Sitompul dan Agus Wanadri

Laboratorium Metodika Perancangan dan Pengendalian Proses
Jurusan Teknik Kimia, Institut Teknologi Bandung
Jl. Ganesha 10 Bandung, 40132

ABSTRAK

Spouted-bed (SB) dengan kolom 5 cm telah diaplikasikan sebagai reaktor untuk melaksanakan reaksi padat-cair, abu sekam padi dan NaOH untuk menghasilkan Na-silikat. Hidrodinamika SB dipelajari untuk sistem tak bereaksi dan korelasi kecepatan minimum spouting untuk studi hidrodinamika mengikuti persamaan.

$$U_{ms} = 3,52 D_p^{1,98} D_i^{0,21} \left(H - \frac{D}{3} \tan \theta \right)^{1,5} \text{ (dalam cgs)}$$

Untuk sistem reaksi padat-cair, SB beroperasi dalam rejim transisi pada Re partikel 7-25 atau Re fluida 19-254, dan untuk reaksi padat-cair semacam ini perpindahan massa merupakan tahap pengendali. Model perpindahan massa telah diturunkan dan korelasi perpindahan massa yang dihasilkan mengikuti persamaan: $Sh = 191,34 + 0,6325 Sc^{0,35} Re^{1,89}$

Dibandingkan dengan korelasi perpindahan massa dari peneliti lain untuk SB, korelasi di atas memberikan harga koefisien perpindahan massa yang tinggi untuk $Re = 0$, yang disebabkan oleh reaksi dalam sistem yang ditinjau.

ABSTRACT

A 5 cm diameter spouted-bed reactor has been applied for solid-liquid reaction, paddy ash and NaOH producing Na-silicate. Hydrodynamics of spouted-bed reactor was studied by using paddy ash-water system. Correlation for minimum superficial spouting (U_{ms}) was determined and follows the equation

$$U_{ms} = 3,52 D_p^{1,98} D_i^{0,21} \left(H - \frac{D}{3} \tan \theta \right)^{1,5} \text{ (in cgs unit)}$$

The spouted bed (SB) operates under transition regime i.e. Reynold number particle range 7-25 or Re number fluid ranging from 19 to 254. The mass transfer is the controlling step for this system as for all solid-liquid reactions are very fast. So, a model of mass transfer has been derived and mass transfer correlation in SB follows equations $Sh = 191,34 + 0,6325 Sc^{0,35} Re^{1,89}$

Above correlation shows high mass transfer at stagnant fluid compared to other mass transfer correlations which is due to reacting system involved.

Key words: spouted-bed, solid-liquid reactor, hydrodynamics, mass transfer correlation, silicate, paddy ash.

I. PENDAHULUAN

Sekam padi merupakan limbah yang belum dimanfaatkan secara optimal. Abu hasil pembakaran sekam padi merupakan sumber Silika/ carbon yang cukup tinggi (Chen and Chang, 1991, Mulyono, 1973). Abu hasil pembakaran sekam padi mengandung SiO_2 80-90%, oksida lainnya 10-20%. Beberapa usaha telah dilakukan untuk memanfaatkan sekam padi dari hasil penggilingan padi, seperti bahan bakar dengan melakukan gasifikasi (Manurung,

1994). Secara umum, dari total sekam padi yang dipirolisis, akan dihasilkan abu sekam padi sebesar 15% (Mulyono, 1973). Peningkatan nilai tambah abu sekam padi dapat dilakukan dengan mereaksikannya dengan larutan NaOH untuk menghasilkan Na-silikat, sebagai produk utama. Na-silikat, diantara banyak kegunaannya secara komersial, digunakan untuk bahan filler dalam pembuatan sabun dan detergent, bahan adhesive, silica gel (Kirk and Orthmer, 1969).

Usaha untuk melakukan perolehan Na-silikat dari abu sekam padi telah dilakukan dalam reaktor *batch* berpengaduk (*Stirred Tank Reactor*, STR) oleh Ali and Yi (1968), dan yang baru-baru ini oleh Tarigan dan Husni (1986). Akan tetapi, hasil Na-silikat yang diperoleh umumnya dibatasi oleh rendahnya rasio SiO₂ terhadap Na₂O (lebih kecil dari 2). Secara komersial, syarat rasio SiO₂ dalam larutan Na-silikat adalah lebih besar atau sekitar 3 (Kirk and Orthmer, 1969).

Spouted-bed merupakan suatu teknologi yang relatif baru untuk mengontakkan fluida dengan partikel yang kasar (Marthur and Epstein, 1974, Manurung, Saswinadi dan Sitompul, 1988). SB memberikan koefisien perpindahan panas yang baik, seperti halnya fluidised-bed, dan juga perpindahan massa yang baik karena distribusi fluida dan partikel yang merata sepanjang reaktor.

Pemakaian spouted-bed dalam sistem cair-padat jarang dilakukan dan beberapa penelitian untuk sistem ini umumnya mempelajari hidrodinamika, seperti Grbavcic *et al.* (1976) dan Trisnohadi (1973). Hidrodinamika dalam spouted-bed sangat bergantung pada distribusi partikel, sirkulasi padatan (*cycle time*) di dalam unggun. Pemakaian spouted-bed untuk reaksi padat-cair akan mempersulit studi hidrodinamika, karena ukuran partikel berubah.

Percobaan oleh Ali and Yi (1968), Tarigan dan Husni (1986) menunjukkan waktu konversi yang lama dan konsentrasi NaOH yang relatif sangat tinggi, karena sistem STR beroperasi secara batch, sedangkan dengan operasi spouted-bed yang semi-kontinu (fluida disirkulasi) akan memungkinkan *enhancement* terhadap gradien konsentrasi. Secara singkat, pemakaian spouted-bed sebagai reaktor padat-cair bertujuan untuk mendapatkan perolehan silikat yang tinggi dan mengakomodasi perpindahan massa yang baik.

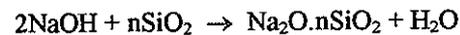
Dalam tulisan ini akan ditunjukkan aplikasi tahap awal pemakaian spouted-bed sebagai reaktor (diameter kolom 5 cm) untuk melangsungkan reaksi padat-cair, dengan memakai sistem abu sekam padi-NaOH. Juga akan dipelajari hidrodinamika spouted-bed untuk sistem tak bereaksi, abu sekam padi-air. Lebih lanjut, untuk sistem yang bereaksi, abu sekam padi-NaOH, akan ditunjukkan konversi/perolehan Na-silikat dalam reaktor spouted-bed

dibandingkan dengan reaktor batch sederhana, STR.

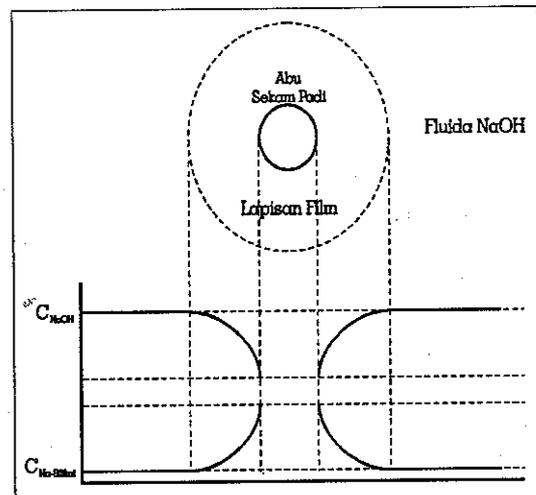
II. PEMODELAN PERPINDAHAN MASSA

Reaksi padat-cair, seperti halnya abu sekam padi dan NaOH, mempunyai ΔG sangat besar sehingga reaksi berlangsung sangat cepat. Selanjutnya, pengendali dalam proses ini adalah perpindahan massa, yang memungkinkan reaktor seperti spouted-bed cukup baik sebagai sarana pengontak.

Parameter perpindahan massa untuk reaksi NaOH dan SiO₂ dapat diturunkan dengan mengasumsikan reaksi mengikuti persamaan:



Dengan meninjau partikel tunggal abu sekam padi, maka proses perpindahan massa dapat digambarkan seperti pada gambar 1 berikut:



Gambar 1: Model perpindahan massa NaOH dari bulk ke permukaan partikel abu sekam padi

Proses/tahap yang terjadi dapat diringkas menjadi: difusi NaOH dari bulk fluida ke permukaan partikel abu sekam padi, reaksi NaOH dengan SiO₂ pada permukaan partikel, dan difusi Na-silikat dari permukaan partikel ke fasa bulk. Karena reaksi pada permukaan partikel antara NaOH dan SiO₂ berlangsung sangat cepat, maka tahanan reaksi dapat diabaikan. Sehingga, tahap difusi sangat dominan, dan tahanan ini sangat bergantung pada faktor laju alir fluida (*Re*), ukuran partikel dan sifat fluida.

Dengan menuliskan perpindahan massa NaOH (A) ke dalam fasa SiO₂ (B) maka akan memenuhi persamaan:

$$\frac{dN_B}{n} = \frac{dN_A}{2} \quad (1a)$$

$$dN_B = \left(\frac{n}{2}\right) dN_A \quad (1b)$$

dimana:

- N_A dan N_B adalah laju perpindahan A dan B
- n adalah jumlah molekul SiO₂ dalam produk

Persamaan laju perpindahan massa di atas menjadi :

$$-\frac{1}{S} \frac{dN_B}{dt} = \frac{n}{2} \frac{dN_A}{dt} \left(-\frac{1}{S}\right) \quad (2)$$

dengan :

$$N_B = \rho_B V_B \quad (3)$$

dimana:

- S luas permukaan partikel padatan/ abu sekam
- ρ_B densitas padatan
- V_B volume padatan

Substitusikan ke persamaan laju perpindahan massa di atas diperoleh,

$$-\frac{1}{S} \rho_B \frac{dV_B}{dt} = \left(\frac{n}{2}\right) \left(-\frac{1}{S}\right) \frac{dN_A}{dt} = \left(\frac{n}{2}\right) k_f (C_{Af} - C_{As}) \quad (4)$$

dimana:

- k_f koefisien perpindahan massa
- C_{af} dan C_{as} konsentrasi NaOH di fasa bulk dan permukaan padatan

Dengan mengasumsikan harga C_{As} bernilai nol, karena konsentrasi NaOH yang terdapat pada permukaan partikel langsung habis bereaksi dengan SiO₂ membentuk Natrium Silikat maka persamaan di atas menjadi.

$$-\frac{1}{S} \rho_B \frac{dV_B}{dt} = \left(\frac{n}{2}\right) k_f C_{Af} \quad (5)$$

Dengan asumsi partikel berbentuk bola yang berjari-jari r,

$$V_B = \frac{4}{3} \pi r^3 \quad (6)$$

dan akan diperoleh hubungan

$$-\rho_B \frac{dr}{dt} = \frac{n}{2} k_f C_{Af} \quad (7)$$

Dengan demikian harga dr/dt akan diperoleh dari pengamatan konversi setiap saat. Jadi, harga koefisien perpindahan massa, k_f, dapat diperoleh dengan mengkalurkan kurva antara -dr/dt terhadap (n/2).C_{NaOH}, dimana harga n

setiap waktu diperoleh dengan mengukur SiO₂ yang terbentuk dengan spektrofotometer.

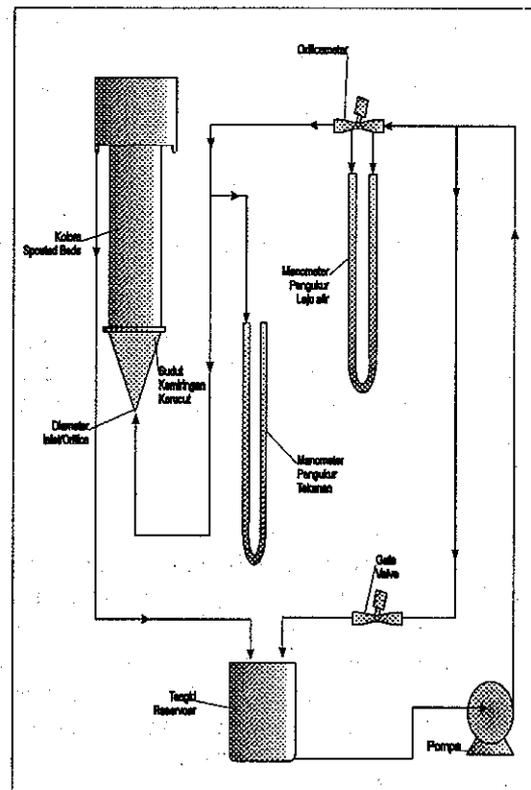
Selanjutnya, korelasi perpindahan massa akan memenuhi persamaan tak berdimensi:

$$Sh = A + B.Sc^p Re^q \quad (8)$$

Data sifat fisik fluida seperti viskositas dan densitas diukur langsung selama percobaan, masing-masing dengan viskometer dan piknometer. Sedangkan harga difusivitas Silikat dalam larutan NaOH diperoleh dengan menerapkan korelasi Wilke-Chang (Reid *et al.*, 1977)

III. METODOLOGI PENELITIAN

Rancangan, peralatan dan metoda pengumpulan data untuk penelitian ini diberikan secara lengkap oleh Alex dan Wanadri (1995, 1996). Gambar 2 menunjukkan skematik dari alat percobaan.



Gambar 1b: Skematik diagram alir dan peralatan spouted-bed sistem padat-cair

Kolom spouted-bed berdiameter 5 cm, dengan bagian bawah berbentuk kerucut terpancung dan dilengkapi dengan orifice. Perbandingan diameter orifice terhadap diameter

kolom bervariasi antara 0,1 dan 0,2. Sudut kerucut yang dipakai adalah 60° dan 45° . Kolom spouted bed dilengkapi dengan manometer pengukur beda tekanan sepanjang kolom dan kran untuk buangan padatan di bagian bawah. Laju alir fluida masuk ke kolom diatur oleh *needle valve*.

Tangki penampung (*reservoir*) berkapasitas 1 liter, dilengkapi dengan pemanas dan temperatur controller untuk menjaga temperatur yang diinginkan.

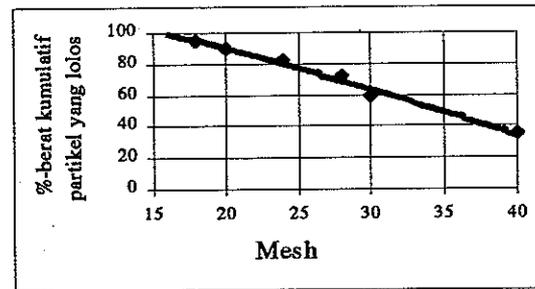
Ukuran partikel abu sekam padi yang dipakai berkisar antara 28 dan 40 mesh, yang merupakan rentang abu sekam padi dari lapangan. Konsentrasi NaOH yang dipakai bervariasi dari 0,2 M sampai dengan 0,8 M.

Hidrodinamika spouted-bed dipelajari terlebih dahulu dengan mengalirkan air (fluida) ke unggun abu sekam padi. Untuk sistem dengan reaksi, abu sekam padi mengalami perlakuan awal (*pretreatment*) terlebih dahulu, baik dalam bentuk pemanasan untuk menghilangkan sisa-sisa karbon dan perlakuan secara kimiawi untuk penghilangan oksida-oksida selain SiO_2 (Alex dan Wanadri, 1996). Parameter yang diamati dalam penelitian ini adalah konversi SiO_2 , rasio $\text{Si}/\text{Na}_2\text{O}$ dan kestabilan spouting. Sejumlah parameter diubah dalam percobaan seperti ukuran diameter partikel, laju alir (Re), sudut kerucut, diameter orifice serta konsentrasi NaOH.

SB beroperasi pada rejim transisi, Re partikel 7-25 atau Re fluida 19-254, dan korelasi perpindahan massa akan diturunkan pada rejim ini

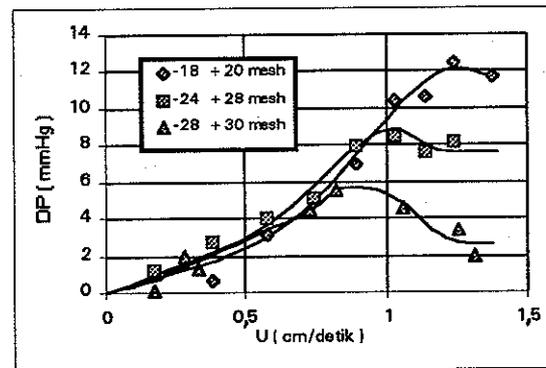
III. HASIL DAN PEMBAHASAN

Distribusi ukuran partikel abu sekam padi dari lapangan yang digunakan dalam penelitian ini diberikan dalam Gambar 3. Hasil ini menunjukkan bahwa partikel padi didominasi oleh ukuran 20-30 mesh, dan hasil fraksi berat kumulatif di atas juga hampir sama dengan hasil peneliti terdahulu (Tarigan dan Husni, 1986),

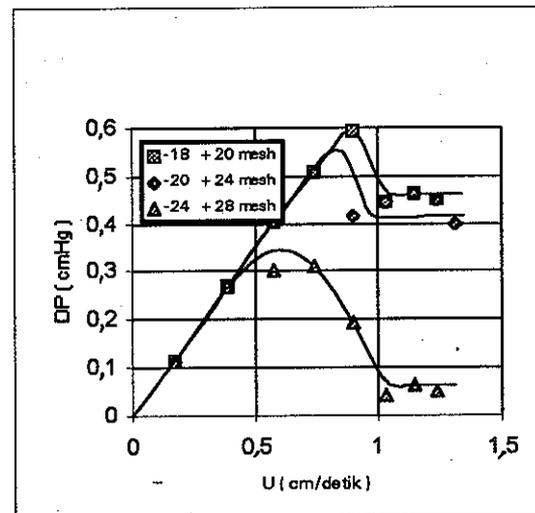


Gambar 3: Kurva distribusi partikel abu sekam padi

Hasil studi hidrodinamika abu sekam padi-air untuk variasi diameter partikel diberikan dalam Gambar 4a dan 4b, yang berturut-turut untuk sudut kerucut 60° dan 45° . Kedua gambar tersebut menunjukkan karakteristik spouted-bed (Marthur and Epstein, 1974, Trisnohadi, 1976).



Gambar 4a: Penentuan U_{ms} dengan variasi ukuran partikel abu sekam padi untuk sudut kerucut 60°



Gambar 4b: Penentuan U_{ms} dengan variasi ukuran partikel abu sekam padi untuk sudut kerucut 45°

Gambar 4a dan 4b juga menunjukkan bahwa diameter partikel yang kecil akan memberikan

penurunan tekanan unggun (ΔP) yang besar, karena porositas yang semakin kecil dengan mengecilnya ukuran partikel. Hasil percobaan hidrodinamika yang lain menunjukkan bahwa unggun dengan ukuran 30-40 mesh (0,72 mm) mengalami spouting untuk rentang kecepatan yang sangat kecil. Hal ini mendukung penemuan Marthur and Epstein (1974), bahwa ukuran partikel minimum untuk menghasilkan spouting yang baik adalah partikel dengan diameter partikel (D_p) > 1 mm.

Lebih lanjut, persamaan kecepatan minimum spouting untuk studi hidrodinamika ini juga diturunkan, dengan melakukan estimasi parameter untuk beberapa korelasi yang mungkin. Dari sejumlah *run*, korelasi U_{ms} yang mendekati U_{ms} hasil eksperimen (*variance* yang terkecil) adalah korelasi:

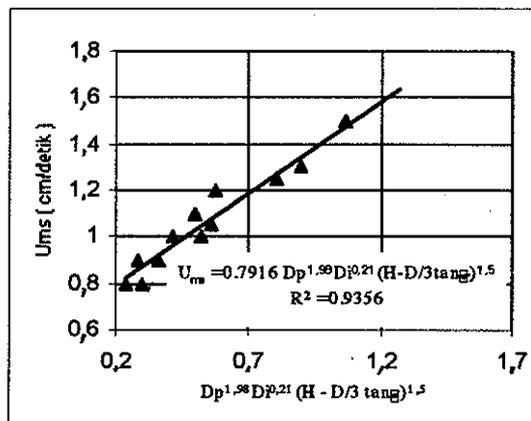
$$U_{ms} = 3,52 D_p^{1,98} D_i^{0,21} (H - \frac{D}{3} \tan \theta)^{1,5} \quad (9)$$

(dalam unit cgs)

dimana:

- D diameter kolom
- D_p diameter partikel
- D_i diameter orifice
- H tinggi unggun
- θ sudut kerucut (*cone*)

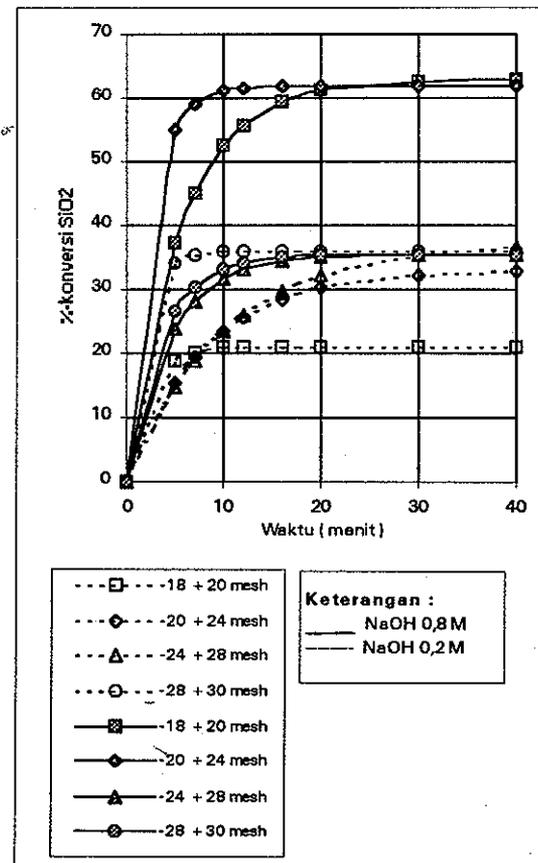
Korelasi ini memasukkan parameter sudut kerucut ($\tan \theta$) seperti halnya korelasi Brunello *et al.*, 1974, Manurung, 1976 (Mathur and Epstein, 1974), untuk percobaan yang menggunakan sistem udara-partikel. Namun, penelitian oleh Ronney and Horison untuk sistem air-partikel tidak menurunkan korelasi U_{ms} . Sehingga korelasi U_{ms} di atas sepanjang pengetahuan penulis merupakan korelasi pertama untuk sistem padat-cair. Lebih lanjut, korelasi U_{ms} di atas ditunjukkan secara grafis dalam Gambar 5.



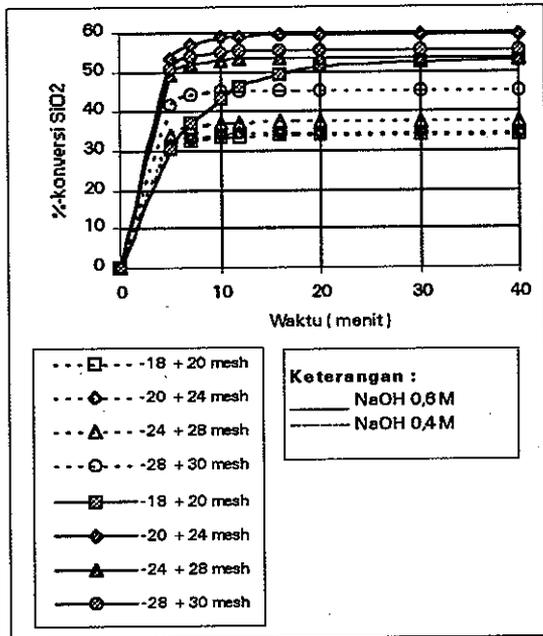
Gambar 5: Kurva Penentuan Kecepatan Minimum Spouting (unit dalam cgs)

Parameter percobaan lainnya adalah perolehan Na-silikat dari reaksi abu sekam padi-NaOH di dalam reaktor spouted-bed. Percobaan dilakukan pada temperatur 80°C, yang merupakan temperatur tertinggi yang mudah dikendalikan selama percobaan berlangsung.

Konversi SiO_2 , yang merupakan perolehan Na-silikat, diberikan dalam Gambar 6a, untuk cone 60°, dan Gambar 6b, untuk cone 45° dengan variasi diameter partikel dan konsentrasi NaOH. Terlihat bahwa konsentrasi NaOH sekitar 0,6-0,8 M memberikan perolehan Na-silikat sekitar 60% untuk diameter partikel antara 18-24 mesh. Ukuran partikel yang lebih kecil, 24-28 mesh, ternyata memberikan konversi yang lebih kecil untuk konsentrasi NaOH yang sama. Hal ini dapat dijelaskan bahwa hidrodinamika semakin tertanggu akibat pengurangan ukuran partikel selama reaksi, dan mungkin daerah spouting lebih banyak dibandingkan dengan daerah annulus, yang menyerupai *fixed bed*. Tambahan pula pengamatan visual menunjukkan bahwa diameter kecil akan mengakibatkan banyaknya partikel abu di bagian atas reaktor (*fountain*), dimana efek *backmixing* sangat dominan yang menyerupai STR dan juga faktor sirkulasi NaOH sangat kurang.

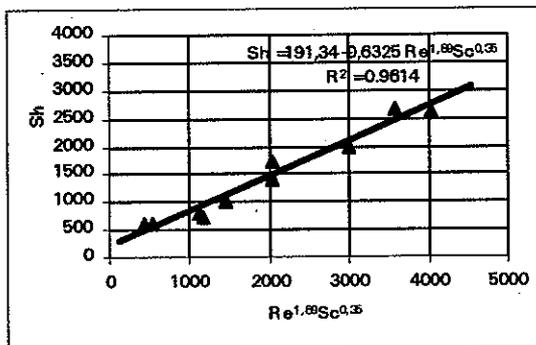


Gambar 6a: Kurva konversi abu sekam padi untuk sudut kerucut 60°



Gambar 6b: Kurva konversi abu sekam padi untuk sudut kerucut 45°

Korelasi perpindahan massa dari sistem reaksi ini (Gambar 7) diperoleh

$$Sh = 191,34 + 0,6325 Sc^{0,35} Re^{1,89} \quad (10)$$


Gambar 7: Kurva korelasi perpindahan massa untuk reaksi abu sekam padi dengan NaOH di dalam reaktor spouted-bed

Korelasi ini berlaku untuk rentang Re partikel 7-25 atau untuk bilangan Re fluida (Re_f) berkisar 19-254. Rentang bilangan Re ini merupakan daerah aliran transisi. Rowe dan Claxton menurunkan korelasi perpindahan massa untuk spouted-bed dari analogi perpindahan panas dan diperoleh

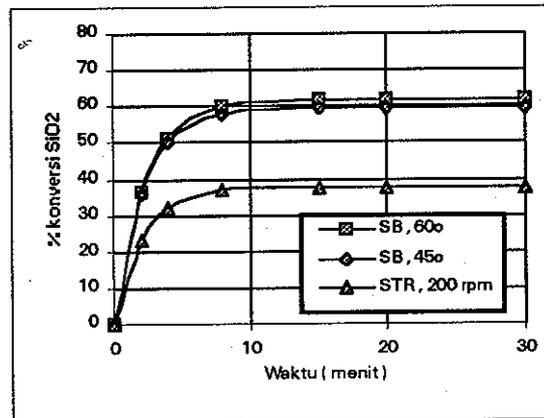
$Sh = A + 0,6325 Sc^{0,33} Re_f^{0,55}$ untuk aliran turbulen dan

$Sh = 0,42 + 0,35 Re_f^{0,8}$ untuk aliran transisi ($Re_f < 100$)

Korelasi dari hasil penelitian ini memberikan faktor yang cukup besar pada keadaan tanpa aliran, yang mungkin diakibatkan oleh adanya efek reaksi yang dominan.

Lebih lanjut, dalam eksperimen perbandingan dalam batch STR, dengan ukuran partikel yang sama, temperatur 80°C dan bilangan Reynold 200 akan diperoleh perolehan silikat kurang dari 35% dan koefisien perpindahan massa 12,0 gr/cm².menit dibandingkan dengan 22,5 gr/cm².menit untuk SB pada konversi maksimum. Hal ini menunjukkan perpindahan massa di dalam SB reaktor jauh lebih tinggi dibandingkan dengan reaktor batch STR dan ini menunjukkan bahwa pengaruh sirkulasi NaOH dalam spouted-bed akan memberikan *enhancement factor* terhadap perpindahan massa.

Untuk membandingkan hasil reaksi perolehan Na-Silikat dalam spouted-bed, maka reaksi yang sama dilaksanakan dalam reaktor batch sederhana, STR, dengan konsentrasi NaOH 0,8M. Reaksi dilakukan pada temperatur 80°C selama 2 jam dengan jumlah abu sekam padi 10 gram dan volume reaktor 1 liter. Gambar 8 menunjukkan perbandingan konversi SiO₂ di dalam reaktor spouted-bed (SB) dan STR.



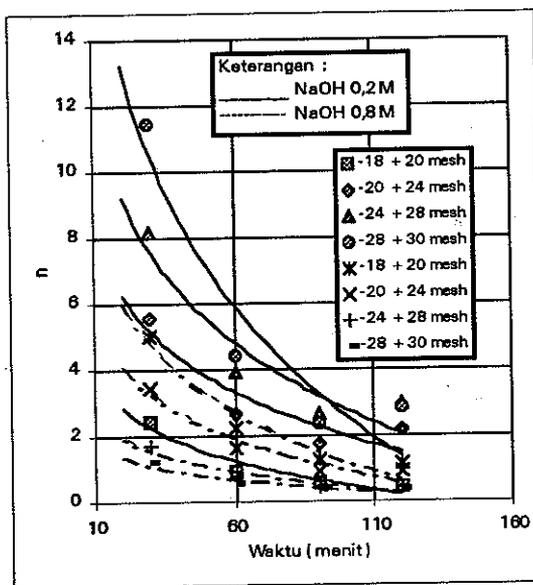
Gambar 8: Kurva perbandingan perolehan silikat dalam reaktor spouted-bed (SB) dan stirred tank reactor (STR)

Gambar 8 menunjukkan hasil yang sangat mengembirakan bila ditinjau dari jumlah perolehan Na-silikat di dalam SB yang hampir 2 kali perolehan silikat dalam STR dengan 200 rpm. Hal ini dapat disimpulkan bahwa sirkulasi fluida dalam spouted bed memungkinkan *enhancement* terhadap gradien konsentrasi. Tambahan pula, dengan SB efek

backmixing dikurangi dengan adanya daerah anulus yang menyerupai *fixed bed*.

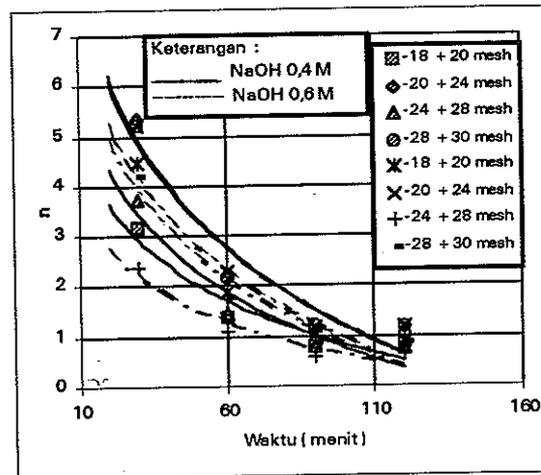
Lebih lanjut, dari hasil-hasil percobaan di atas (gambar 6a dan 6b), perolehan Na-silikat maksimum dengan spouted-bed sebesar 62% untuk sudut kerucut 60° dan ukuran partikel 20-40 mesh. Konversi maksimum ini dicapai dengan konsentrasi NaOH 0,8 M, dan dibandingkan dengan peneliti terdahulu dengan STR (Ali and Yi, 1968, Tarigan dan Husni, 1986), konversi maksimum sebesar ini dicapai dengan konsentrasi NaOH 1,5M dengan Reynold fluida yang sangat tinggi (di atas 10000).

Profil rasio SiO₂/Na₂O selama percobaan dengan SB ditunjukkan dalam Gambar 9a dan 9b.



Gambar 9a: Profil rasio SiO₂ dan Na₂O pada reaktor spouted-bed dengan variasi sudut 60°

Gambar 9a dan 9b tersebut menunjukkan rasio yang tinggi bila reaksi dapat diselesaikan pada waktu kurang dari 60 menit, dimana perolehan silikat sudah hampir konstan. Meskipun demikian dengan NaOH yang lebih kecil 0,2 M akan diperoleh rasio yang tinggi (sekitar 3,2) dimana secara komersial rasio ini sangat diharapkan. Akan tetapi, dengan rasio yang tinggi ini, perolehan silikat sangat rendah dalam reaktor spouted-bed (Gambar 8).



Gambar 9b: Profil rasio SiO₂ dan Na₂O pada reaktor spouted-bed dengan sudut kerucut 45°

V. KESIMPULAN DAN STUDI LANJUT

Studi hidrodinamika abu sekam padi dengan fluida air menunjukkan bahwa spouting yang baik dengan rentang Reynold partikel yang cukup besar diperoleh bila diameter partikel abu sekam padi lebih besar dari 0,72 mm (30-40 mesh). Kecepatan minimum spouting untuk studi hidrodinamika abu sekam padi-air dikorelasikan sebagai:

$$U_{ms} = 3,52 D_p^{1,98} D_i^{0,21} (H - \frac{D}{3} \tan \theta)^{1,5}$$

(dalam cgs)

Applikasi tahap awal reaktor spouted-bed (diameter kolom 5 cm) untuk reaksi padat-cair menunjukkan hasil yang cukup menggembarakan, seperti perolehan silikat yang relatif tinggi sekitar 62% untuk konsentrasi NaOH 0,8 M. Konsentrasi yang kecil ini cukup mengejutkan karena penelitian terdahulu memakai reaktor batch STR membutuhkan konsentrasi yang sangat besar, NaOH 1,5M, dengan konversi 60%. Hal ini membenarkan asumsi bahwa dengan operasi spouted-bed yang semi-kontinu (fluida disirkulasi) akan memungkinkan *enhancement* terhadap gradien konsentrasi. Perolehan silikat untuk diameter yang kecil (28-30 mesh) relatif lebih tinggi untuk konsentrasi NaOH lebih kecil (0,2-0,4 M). Akan tetapi untuk konsentrasi yang lebih besar 0,8 M, perolehan silikat lebih rendah jika dibandingkan dengan diameter partikel 24-28 mesh. Hal ini kemungkinan disebabkan oleh perubahan ukuran diameter partikel yang cukup berarti selama reaksi sehingga hidrodinamika partikel terganggu, jauh dari sifat spouting. Pemakaian partikel pendukung yang tepat untuk menjaga kehomogenan unggun dan/atau pemakaian draft tube akan memberikan daerah

spouting yang stabil (Nitta and Morgan III, 1992)

Rasio $\text{SiO}_2/\text{Na}_2\text{O}$ dalam percobaan dengan SB menunjukkan rasio yang tinggi pada saat perolehan silikat hampir konstan. Rasio semakin kecil bila waktu reaksi semakin lama. Meskipun demikian dengan konsentrasi NaOH yang relatif kecil (0,2 M) pada akhir percobaan akan diperoleh rasio yang tinggi (sekitar 3,2), dimana secara komersial rasio ini sangat diharapkan. Akan tetapi, dengan rasio yang tinggi ini, perolehan silikat sangat rendah dalam reaktor spouted-bed, sehingga perlu *pay-off* antara perolehan silikat yang tinggi atau rasio $\text{SiO}_2/\text{Na}_2\text{O}$ yang tinggi.

Pemodelan perpindahan massa dalam rejim transisi, rentang Re partikel 7 sampai 25, memberikan korelasi perpindahan massa,

$$\text{Sh} = 191,34 + 0,6325 \text{Sc}^{0,35} \text{Re}^{1,89}$$

Korelasi ini memberikan harga perpindahan massa tanpa aliran ($\text{Re} = 0$) cukup tinggi akibat adanya reaksi dalam sistem ini. Meskipun demikian korelasi ini mendekati korelasi Rowe and Claxton (Marthur and Epstein, 1974) untuk aliran transisi. Penelitian untuk rentang Re yang lebih besar (rejim turbulen) perlu dilakukan untuk penelitian akan datang.

Ucapan Terima Kasih

Penelitian ini terlaksana atas bantuan dana dari Lembaga Penelitian ITB melalui kontrak No. 1398/PT07.08/N/ 1995.

Daftar Pustaka

1. Alex, J, dan Wanadri, A., *Perolehan Natrium Silikat dari Abu Sekam Padi dalam Spouted-Bed, Penulisan Laporan dan Seminar & Penelitian, Jurusan Teknik Kimia ITB, 1995&1996.*
2. Ali, R., and Yi, M-K, Production of Sodium Silicate from Paddy Husk, Union Burma, *J. Sci. Technology*, pp. 149-153, 1968.
3. Chen, J-M, and Chang, F-W, The Chlorination Kinetics of Rice Hull, *Ind. Eng. Chem. Res.*, 30, pp. 2241-2247, 1991.
4. Grbavcic, Z.B., Vukovic, D.V., Zdanski, F.K., and Litmann, H., The Fluid Flow Pattern, Minimum Spouting Velovity and Pressure Drop in Spouted-Beds, *Can. J. Chem. Eng.*, 54, pp.33-40, 1976.
5. Kirk, and Orthmer, *Encyclopedia of Chemical Technology*, 2nd Ed., 18, John Wiley and Son Inc., USA, 1969.
6. Manurung, R., Sasmojo, R., dan Sitompul, J., *Pengeringan Padi dalam Spouted-Bed dengan Menggunakan Energi Biomassa, Laporan Penelitian 9407188, LP ITB, 1988.*
7. Manurung, R., *The Novel Reactor of Paddy Husk Gasifier*, Doctor Thesis, University of Twente, Netherland, 1994.
8. Mathur, K.B., and Epstein, N., *Spouted Beds*, Academic Press, NY, 1974.
9. Mulyono, H.A., Studi Termo-Ekonomi terhadap Pengolahan Natrium Silikat dari Sekam Padi, *Laporan Penelitian Karja Utama, Departemen Teknologi Kimia, 1974.*
10. Nitta, B.V., and Morgan III, M.H., Particle Circulation and Liquid Bypassing in Three Phase Draft Tubed Spouted Beds, *Chem. Eng. Sci.*, 47, pp. 3459-3466, 1992
11. Reid, R.C., Prausnitz, J., and Sherwood T.K., *The Properties of Gases and Liquids*, 3rd ed., McGraw-Hill, New York, 1977.
12. Tarigan, R., dan Husni, M., *Pemanfaatan Abu Sekam Padi Limbah Pedesaan untuk Pembuatan Sodium Silikat, Laporan Penelitian Teknik Kimia, ITB, Bandung, 1986.*
13. Trisnohadi, A., *Suatu Percobaan Spouted-Beds Sistem Tjair-Padat, Laporan Kerja Utama, Departemen Teknologi Kimia ITB, 1976.*