

KOEFISIEN TRANSFER MASSA PADA PROSES PEMURNIAN BIOETANOL DALAM KOLOM TERADUK MENGGUNAKAN ADSORBEN ZEOLIT ALAM TERMODIFIKASI

Suratno Lourentius¹, Ery Susiany Retnoningtyas¹

¹Jurusan Teknik Kimia, Fakultas Teknik, Universitas Katolik Widya Mandala Surabaya
Jl. Kalijudan 37 Surabaya 60114 Telp 0313891264
Email: suratno.lourentius@yahoo.co.id

Abstrak

Kebutuhan premium sekarang ini mencapai 66.937 kliter/hari atau melebihi kuota premium yang sebesar 63.536 kliter/hari. Berkenaan dengan itu, perlu dicari alternatif pengganti, misalnya: bioetanol. Bioetanol yang akan digunakan sebagai bahan bakar memiliki konsentrasi >99,5% dan disebut fuel grade ethanol (FGE). FGE bisa dicampur dengan premium membentuk biopremium E-5 atau E-15. Kendala yang dihadapi dalam memproduksi FGE adalah biaya pemurnian bioetanol 95% menjadi FGE. Metode pemurnian tersebut salah satunya adalah adsorpsi yang masih relatif baru. Adsorben sekarang ini masih didatangkan dari luar negeri. Beberapa hal yang perlu dikembangkan dalam operasi adsorpsi adalah data kesetimbangan dan koefisien transfer massa. Dalam penelitian ini hendak diteliti koefisien transfer massa air dari bioetanol kolom adsorben teraduk. Implikasi lain adalah pemanfaatan zeolit alam Malang sebagai adsorben. Zeolit alam Malang yang diaktivasi menggunakan asam sulfat encer 2% dan dikalsinasi pada suhu 600°C. Persamaan hubungan kesetimbangan mengikuti persamaan Freundlich. Proses adsorpsi dilakukan dengan mengalirkan bioetanol 95% dengan kecepatan tertentu ke dalam kolom berdiameter 5,00 cm dan tinggi 50 cm yang berisi zeolit dan diaduk. Dengan menyusun persamaan diferensial parsial berdasarkan neraca massa dapat dimodelkan persamaan hubungan antara kecepatan bioetanol masuk, waktu, tinggi kolom, dan konsentrasi air terhadap koefisien transfer massa. Dengan kecepatan aliran bioetanol 15 ml/menit, massa adsorben 330 gram dan kecepatan pengadukan 465 rpm, didapatkan data bahwa selama sekitar 75 menit konsentrasi ke luar kolom 0,000817 g air/menit atau bioetanol berkadar 99,8% dan untuk waktu selebihnya konsentrasi ke luar kolom beranjak naik dan mencapai konsentrasi kejenuhan pada waktu 165 menit serta nilai koefisien transfer massa sekitar $6,91E-8$ l/menit.

Kata kunci: bioetanol; pemurnian; zeolit alam; preparasi; transfer massa

Pendahuluan

Kebutuhan premium sekarang ini mencapai 66.937 kliter/hari atau melebihi kuota premium yang sebesar 63.536 kliter/hari (Kementerian ESDM, 2011). Berkenaan dengan menipisnya sumber energi fosil tersebut, untuk mengantisipasi kebutuhan akan energi pada masa mendatang, maka perlu dicari alternatif bahan bakar pengganti, misalnya: biodiesel dan bioetanol. Bahan baku untuk memproduksi bioetanol antara lain: ubi kayu, ubi jalar, jagung, sagu, tetes dan tebu. Bioetanol tersebut memiliki konsentrasi sekitar 95% dan disebut etanol terhidrat. Bioetanol yang akan digunakan sebagai bahan bakar memiliki konsentrasi >99,5% dan disebut *fuel grade ethanol (FGE)* (BSN, 2006). FGE bisa dicampur dengan premium membentuk biopremium E-5 atau E-15 (Prihandono, 2007). Kebutuhan akan bioetanol saat ini cukup besar mencapai 1,82 juta kliter/tahun. Kendala yang dihadapi dalam memproduksi FGE adalah biaya investasi yang tinggi. Biaya investasi yang tinggi ini berkaitan dengan pemurnian bioetanol 95% menjadi FGE. Metode pemurnian tersebut salah satunya adalah adsorpsi yang masih relatif baru. Adsorben yang digunakan secara umum masih didatangkan dari luar negeri dan adsorben ini volume penggunaannya besar. Beberapa hal yang perlu dikembangkan dalam operasi adsorpsi adalah perencanaan alat adsorpsi meliputi pemilihan adsorben, tipe alat adsorber, data kesetimbangan dan koefisien transfer massa adsorpsi. Dalam penelitian ini hendak diteliti koefisien transfer massa adsorpsi air dari bioetanol yang dilaksanakan dalam kolom adsorben yang teraduk. Implikasi lain dari penelitian ini adalah pemanfaatan zeolit alam Malang dengan potensi tambang zeolit berkisar dari 3,2 sampai 4,8 juta ton (Kiswara, 2010). Namun bahan tambang tersebut sampai kini belum dimanfaatkan secara maksimal. Dengan demikian apabila tambang zeolit tersebut dapat dimanfaatkan sebagai adsorben bisa digunakan sebagai adsorben alternatif untuk adsorben zeolit yang bukan saja adsorben impor, tetapi juga harganya relatif lebih mahal. Dengan demikian pemanfaatan zeolit dapat menggiatkan kegiatan roda perekonomian khususnya di daerah Malang. Di samping itu adsorben yang dipreparasi bisa diimplementasikan pada industri rumah tangga pembuatan bioetanol/spiritus.

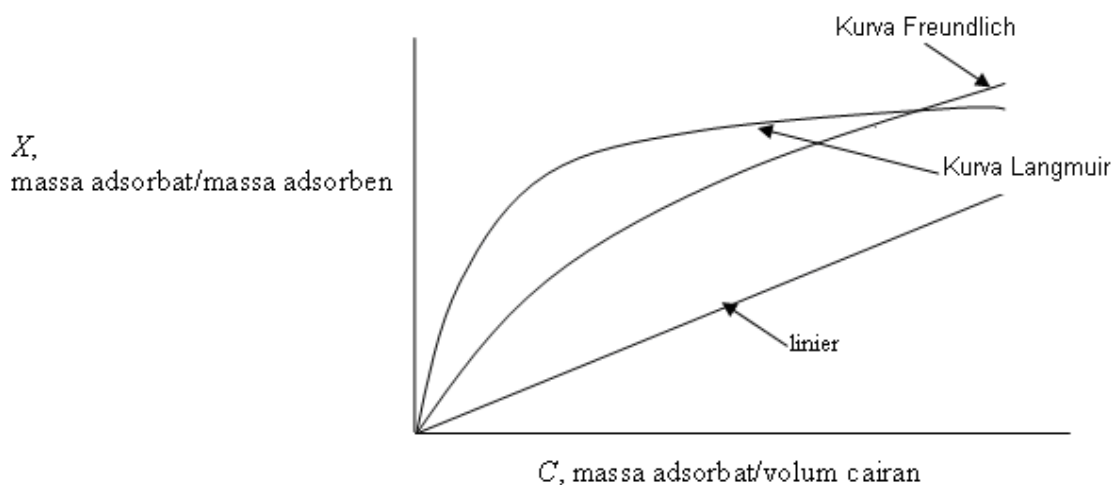
Kesetimbangan antara konsentrasi solut (adsorbat) dalam fase fluida dan konsentrasi solut(adsorbat) dalam adsorben menyerupai kesetimbangan pada peristiwa kelarutan solut dari gas dalam cairan. Data dilukis sebagai isoterm adsorpsi dalam Gambar 1 (Geankoplis, 2003). Konsentrasi dalam fase padatan diekspresikan sebagai X , massa adsorbat /massa adsorben dan di dalam fase cair sebagai C , massa solut adsorbat / m^3 fluida.

Data yang mengikuti persamaan linier dapat diekspresikan dengan persamaan yang serupa dengan hukum Henry sebagai berikut:

$$C^* = HX \tag{1}$$

dengan:

- H = konstanta yang ditentukan secara eksperimental, volume cairan/massa adsorben
- C = konsentrasi adsorbat dalam cairan, massa adsorbat/volum cairan
- X = konsentrasi adsorbat dalam adsorben, massa adsorbat/massa adsorben



Gambar 1. Beberapa tipe kurva ketimbangan (isoterm) adsorpsi

Isoterm linier ini tidak biasa dijumpai, tetapi dalam daerah encer persamaan tersebut dapat digunakan sebagai data pendekatan untuk banyak sistem. Persamaan isoterm Freundlich, yang adalah empiris, sering dipakai sebagai data pendekatan untuk sistem adsorpsi fisis dan persamaan tersebut terutama berguna untuk cairan. Persamaan tersebut secara umum diungkapkan dalam persamaan berikut:

$$C^* = HX^b \tag{2}$$

dengan:

- H = konstanta dan harus ditentukan secara eksperimental
- dan b = konstanta

Pada adsorpsi dengan unggun terfluidisasi, makin besar kecepatan cairan, maka makin besar penurunan tekanan yang terjadi. Jika gaya akibat penurunan tekanan cairan sama dengan berat unggun partikel, maka partikel adsorben akan mulai bergerak. Keadaan ini disebut kecepatan fluidisasi minimum, dan berlaku persamaan:

$$-\frac{\Delta P}{z_{mf}} = (1 - \epsilon_{mf})(\rho_p - \rho_L)g \tag{3}$$

dengan:

- ΔP = penurunan tekanan cairan setebal unggun terfluidisasi, gf/cm^2
- z_{mf} = ketebalan unggun pada fluidisasi minimum, cm
- ϵ_{mf} = fraksi kosong pada fluidisasi minimum, tidak bersatuan

Hubungan antara kecepatan linier cairan pada kondisi fluidisasi minimum dengan variabel-variabel lainnya dinyatakan dengan persamaan berikut:

$$\frac{1,75D_p^2(v'_{mf})^2 \rho_L^2}{\phi_p \varepsilon_{mf}^3 \mu_L^2} + \frac{150(1-\varepsilon_{mf})D_p v'_{mf} \rho_L}{\phi_p^2 \varepsilon_{mf}^3 \mu_L} - \frac{D_p^3 \rho_L (\rho_p - \rho_L) g}{\mu_L^2} = 0 \quad (4)$$

dengan:

v'_{mf} = kecepatan linier cairan pada fluidisasi minimum, cm/s

ϕ_p = sferisitas partikel, tidak bersatuan

Bilangan Reynolds pada kondisi fluidisasi minimum (Re_{mf}) didefinisikan sebagai:

$$Re_{mf} = \frac{\rho_L v_{mf} D_p}{\mu_L} \quad (5)$$

Substitusi persamaan (5) ke persamaan (4) didapatkan:

$$\frac{1,75 Re_{mf}^2}{\phi_p \varepsilon_{mf}^3} + \frac{150(1-\varepsilon_{mf}) Re_{mf}}{\phi_p^2 \varepsilon_{mf}^3} - \frac{D_p^3 \rho_L (\rho_p - \rho_L) g}{\mu_L^2} = 0 \quad (6)$$

Jika nilai $Re_{mf} < 20$ untuk partikel kecil, suku pertama persamaan (6) dapat diabaikan dan jika $Re_{mf} > 1000$ untuk partikel besar, suku kedua dapat diabaikan (Geankoplis, 2003). Untuk partikel kecil di mana $Re_{mf} < 20$ dapat diperkirakan variasi porositas atau ketebalan unggun, diasumsikan bahwa persamaan (6) dipakai untuk kisaran kecepatan cairan tertentu, sehingga $Re_{mf} < 20$ di mana suku pertama dapat diabaikan, maka penyelesaian untuk kecepatan linier adalah:

$$v' = \frac{D_p^3 (\rho_p - \rho_L) g \phi_p^2 \varepsilon^3}{150 \mu_L (1-\varepsilon)} \quad (7)$$

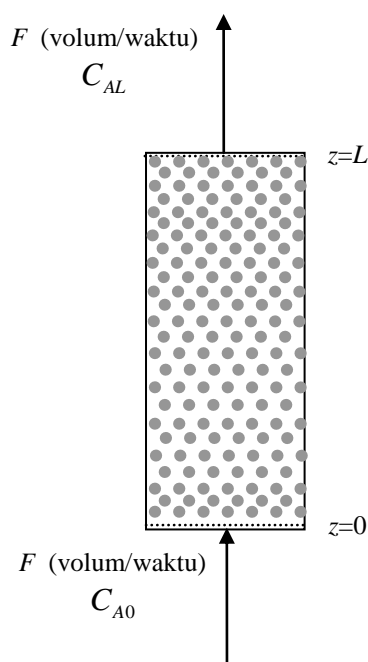
Kecepatan aliran cairan dalam unggun terfluidisasi dibatasi oleh kecepatan linier minimum, v_{mf} dan kecepatan linier maksimum, v'_t . Untuk partikel halus dan $Re_{mf} < 0,4$ didefinisikan rasio:

$$\frac{v'_t}{v_{mf}} \cong \frac{90}{1} \quad (8)$$

Untuk partikel besar dan $Re_{mf} > 1000$ didefinisikan rasio:

$$\frac{v'_t}{v_{mf}} \cong \frac{9}{1} \quad (9)$$

Adsorpsi pada unggun terfluidisasi ini cairan bioetanol yang hendak dimurnikan dimasukkan dari bawah dengan kecepatan sedemikian sehingga semua partikel padatan adsorben terfluidisasi atau teraduk sempurna. Luas penampang melintang unggun terfluidisasi: S. Dengan demikian konsentrasi cairan di luar permukaan adsorben akan seragam dan tidak dipengaruhi oleh ketinggian unggun, begitu juga konsentrasi konsentrasi solut dalam adsorben. Pada saat permulaan adsorpsi berlangsung konsentrasi cairan mula-mula kecil sekali dan mendekati nol, tetapi pada saat adsorben mengalami kejenuhan, maka adsorben tidak mampu lagi mengSORPSI solut dalam cairan akibatnya konsentrasi solut dalam cairan ke luar akan sama dengan konsentrasi solut pada saat masuk kolom. Gambar skematis adsorben dalam kondisi terfluidisasi ditunjukkan pada gambar 2:



Gambar 2. Unggun terfluidisasi adsorben yang dialiri oleh cairan

Neraca massa untuk adsorbat dalam aliran cairan:

Neraca massa solut A dalam fase cair dalam elemen volum setelah Δz

Kecepatan A masuk – Kecepatan A keluar = Kecepatan akumulasi

$$(FC_{A\text{masuk}} - FC_A - k_c a(C_A - C_A^*))SL = SL\varepsilon \frac{dC_A}{dt}$$

atau

$$\frac{F}{SL}(C_{A\text{masuk}} - C_A) + k_c a(C_A - C_A^*) = \varepsilon \frac{dC_A}{dt} \tag{10}$$

Neraca massa A teradsorpsi dalam adsorben:

Kecepatan A masuk – Kecepatan A keluar = Kecepatan akumulasi

$$k_c a(C_A - C_A^*)SL - 0 = SL\rho_b \frac{dX_A}{dt}$$

atau

$$k_c a(C_A - C_A^*) = \rho_b \frac{dX_A}{dt} \tag{11}$$

Hubungan antara X_A terhadap C_A dinyatakan dengan persamaan berikut:

$$C_A^* = HX_A^b \tag{12}$$

Keadaan awal dan keadaan batas dari persamaan (10) dan (11) adalah:

$$t=0, C=0, X=0$$

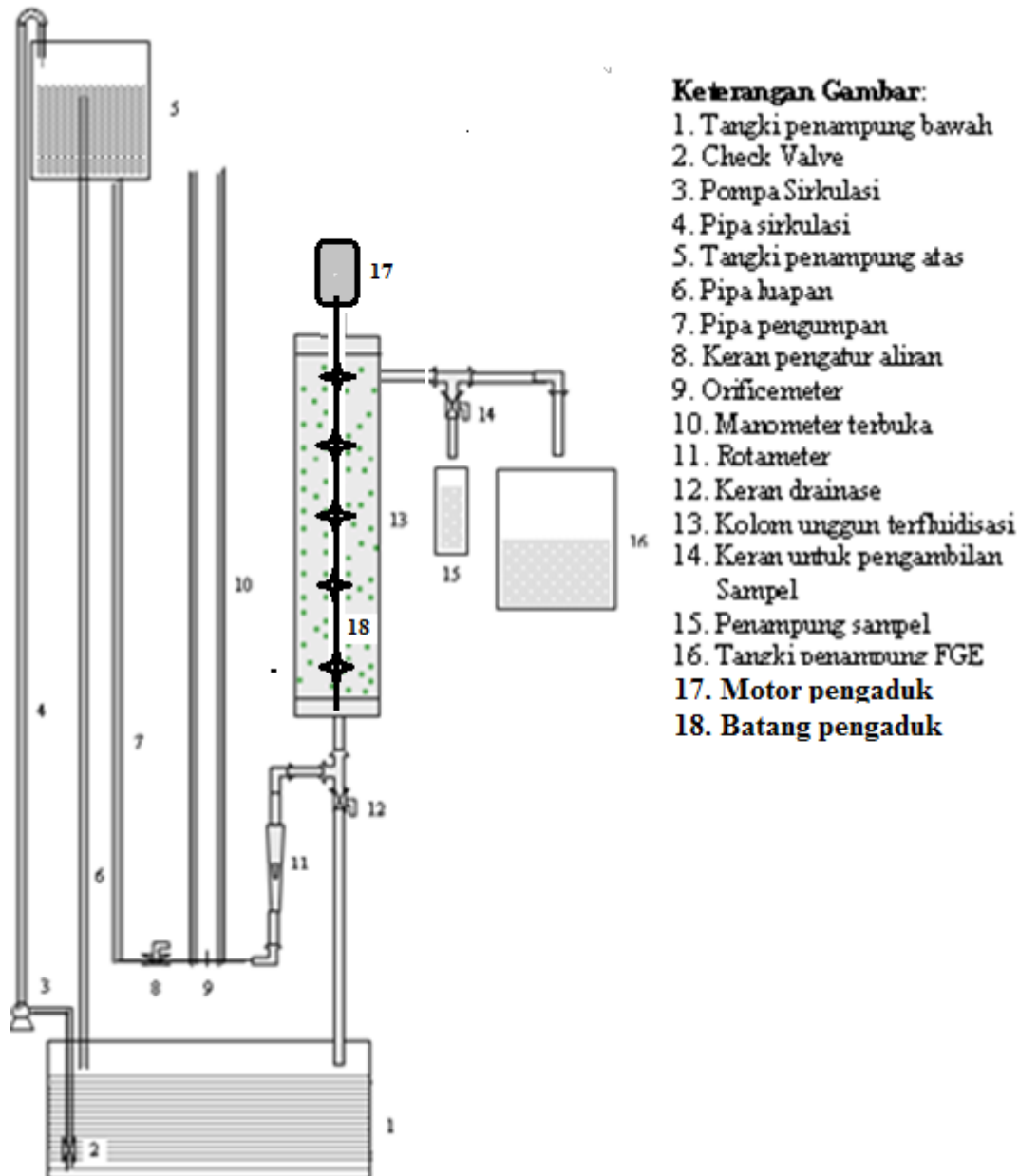
$$t=t, C=C, X=X$$

Untuk nilai koefisien transfer massa, $k_c a$ tertentu persamaan (10) dan (11) dapat diselesaikan dengan persamaan pelengkap (12). Penentuan nilai $k_c a$ dilakukan secara numeris dengan optimasi nilai $k_c a$ yang memberikan nilai jumlah ralat kuadrat atau *sum square of error (SSE)* yang minimum, di mana $SSE = \sum (C_{\text{simulasi}} - C_{\text{data}})^2$. Optimasi tersebut merupakan optimasi 1 variabel yaitu $k_c a$ dengan metode Golden Section (Sediawan dan Prasetyo, 1997). *Software* yang digunakan untuk pengolahan data secara numeris adalah *software Basic QB64*.

Bahan dan Metode Penelitian

Bahan yang digunakan: bioetanol 95% produksi Malindo Raya Industrial (MRI), Lawang Jawa Timur; Zeolit alam produksi CV. Halimun Jaya, Jl. Halimun No. 4, Malang yang sudah dimodifikasi dengan ukuran -80+100 mesh; Etanol absolut dan asam sulfat GR produksi Merck.

Alat yang digunakan: tabung reaksi; Neraca analitis; corong Buchner dan pompa vakum; pignometer; GC dan seperangkat rangkaian alat adsorpsi dengan unggun terfludisasi/teraduk sebagaimana disajikan pada Gambar 3.



Gambar 3. Rangkaian alat pemurnian bioetanol menggunakan adsorben zeolit alam Malang dalam unggun terfludisasi

Prosedur penelitian:

- a. Peralatan penelitian dirangkai sebagaimana disajikan pada Gambar 3 sebagai berikut:
- b. Tangki 1 diisi dengan etanol 95% sampai hampir penuh dan selanjutnya pompa peristaltik sirkulasi 3 dihidupkan;
- c. Setelah bioetanol dalam tangki 4 mengalami luapan, maka tangki 1 diisi lagi dengan bioetanol sampai 90% terisi;
- d. Bioetanol dialirkan ke dalam kolom adsorpsi unggun terfludisasi 13 yang sudah diisi dengan zeolit alam yang sudah dipreparasi melalui pipa 7 dengan kecepatan tertentu, kecepatan diatur dengan keran 8 dan kecepatannya dibaca dengan manometer terbuka 10 atau rotameter 11. Kondisi fluidisasi juga dibantu dengan adanya pengadukan dengan kecepatan 465 rpm.

- e. Setelah bioetanol mengalir seluruh unggun terfluidisasi/teraduk, maka pada selang waktu tertentu untuk suatu ketinggian unggun awal diambil sampel bioetanol yang keluar kolom. Pengambilan sampel dilakukan dengan syringe melalui keran 14. Setiap sampel dianalisis konsentrasi etanolnya dengan pignometer dan atau GC sebagai cek;
- f. Langkah d diulangi untuk setiap selang waktu tertentu, sampai dicapai kondisi jenuh yang ditandai dengan konsentrasi bioetanol masuk = konsentrasi bioetanol keluar. Artinya sampai dicapai adsorben dalam kondisi jenuh. Setiap sampel dianalisis konsentrasi etanolnya dengan pignometer atau GC sebagai cek;

Hasil Penelitian dan Pembahasan

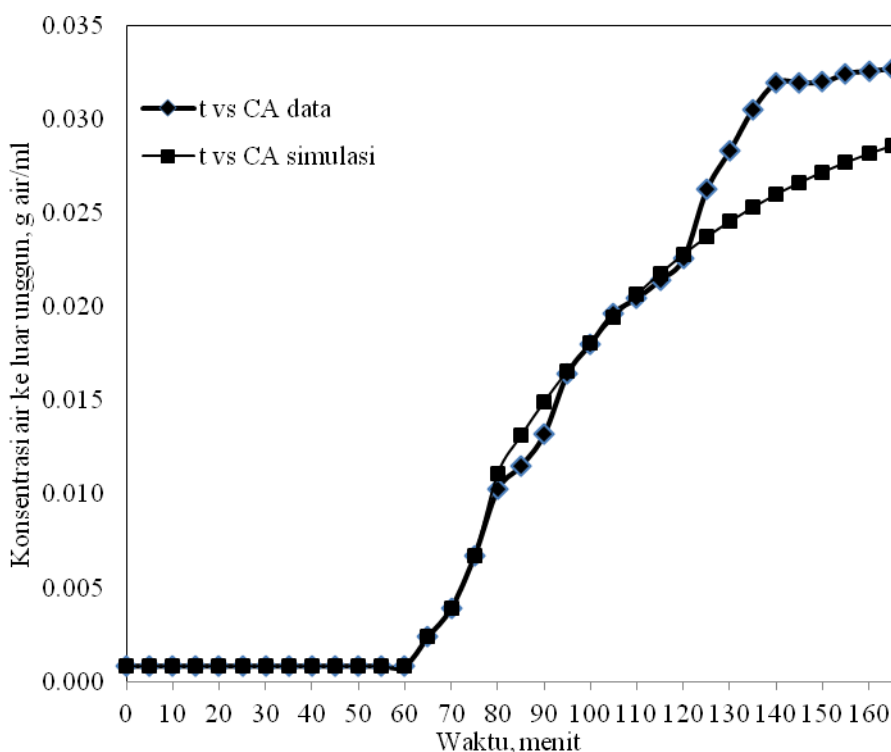
Dari percobaan pendahuluan dengan maksud untuk mengetahui hubungan kesetimbangan antara konsentrasi air di dalam adsorben (X_A) terhadap konsentrasi air bioetanol di permukaan adsorben () didapat hubungan empiris yang mengikuti tipe Freunlich:

$$(13)$$

Data hubungan penelitian dengan kondisi: diameter kolom = 5 cm, tinggi kolom = 50 cm, tinggi unggun sebelum terfluidisasi = 16,82 cm, kecepatan volumetris umpan = 10 ml/menit, kadar bioetanol masuk = 95,8846 g/ml, konsentrasi air masuk = 0,032727 g air/ml, kecepatan pengadukan 465 rpm didapatkan data hubungan antara waktu terhadap konsentrasi air ke luar (C_A)kolom sebagaimana disajikan pada Tabel 1 dan Gambar 4.

Tabel 1. Hubungan antara waktu terhadap konsentrasi air (data penelitian) dan konsentrasi air (simulasi)

t, menit	Densitas, g/ml	Kadar bioetanol,%	C_A data, g air/ml	C_A simulasi, g air/ml
0	0,78575	99,8843	0,000817	0,000817
5	0,78575	99,8843	0,000817	0,000817
10	0,78575	99,8843	0,000817	0,000817
15	0,78575	99,8843	0,000817	0,000817
20	0,78575	99,8843	0,000817	0,000817
25	0,78575	99,8843	0,000817	0,000817
30	0,78575	99,8843	0,000817	0,000817
35	0,78575	99,8843	0,000817	0,000817
40	0,78575	99,8843	0,000817	0,000817
45	0,78575	99,8843	0,000817	0,000817
50	0,78575	99,8843	0,000817	0,000817
55	0,78575	99,8843	0,000817	0,000817
60	0,78575	99,8843	0,000817	0,000817
65	0,78632	99,6880	0,002383	0,002380
70	0,78688	99,4951	0,003922	0,003920
75	0,78790	99,1455	0,006711	0,006710
80	0,78919	98,7013	0,010255	0,011110
85	0,78965	98,5452	0,011500	0,013120
90	0,79027	98,3321	0,013200	0,014940
95	0,79144	97,9285	0,016420	0,016590
100	0,79203	97,7260	0,018036	0,018090
105	0,79263	97,5207	0,019674	0,019440
110	0,79292	97,4210	0,020469	0,020680
115	0,79327	97,3002	0,021433	0,021790
120	0,79369	97,1578	0,022569	0,022810
125	0,79503	96,6955	0,026257	0,023730
130	0,79580	96,4330	0,028352	0,024560
135	0,79660	96,1566	0,030557	0,025320
140	0,79712	95,9783	0,031979	0,026010
145	0,79712	95,9771	0,031989	0,026630
150	0,79713	95,9757	0,032000	0,027200
155	0,79730	95,9173	0,032466	0,027710
160	0,79734	95,9009	0,032597	0,028180
165	0,79739	95,8846	0,032727	0,028600



Gambar 4. Hubungan antara waktu terhadap konsentrasi air ke luar unggun terfluidisasi data dan simulasi dengan kecepatan umpan 15 ml/menit dan tinggi unggun awal 16,82 cm

Dari Tabel 1 dan Gambar 4 terlihat bahwa pada segmen waktu 0 sampai 65 menit kadar air ke luar kolom 0,000817 g air/ml atau kadar bioetanol 99,5% yang bisa dikategorikan sebagai fuel grade ethanol (FGE). Pada segmen waktu tersebut adsorben masih mampu untuk mengadsorpsi air yang ada di sekitarnya, akibatnya adalah sebagai berikut. Pertama selama segmen waktu tersebut akan terjadi akumulasi air yang teradsorpsi di dalam adsorben dan berdasar prinsip kesetimbangan adsorpsi konsentrasi air yang terdapat di permukaan adsorben juga akan meningkat. Kedua kecepatan transfer massa air seiring dengan bertambahnya waktu akan menurun meskipun demikian masih lebih besar daripada kecepatan aliran komponen air dalam bioetanol masuk. Dengan demikian, konsentrasi air ke luar kolom tetap stabil pada 0,000817 g air/ml. Selanjutnya, pada segmen waktu berikutnya dari 65 sampai 165 menit atau segmen darisien, kecepatan transfer massa air akan terus menurun dengan bertambahnya waktu dan nilainya lebih kecil daripada kecepatan aliran komponen air dalam bioetanol akibatnya konsentrasi air ke luar kolom lama makin lama akan makin meningkat dan akan mencapai suatu konsentrasi yang sama dengan konsentrasi air masuk yaitu 0,032727 g air/ml pada waktu 165 menit. Pada saat itu kapasitas adsorpsi air di dalam adsorben mencapai maksimumnya yaitu 0,420 g air/g adsorben dan selanjutnya adsorben menjadi tidak mampu lagi mengadsorpsi air dengan kata lain adsorben sudah mengalami kejenuhan. Dan juga konsentrasi air di permukaan adsorben juga mencapai maksimumnya. Pada operasi adsorber yang dikehendaki adalah pada segmen pertama di mana konsentrasi air ke luar kolom masih rendah yaitu 0,000817 g air/ml atau kadar bioetanol masih tinggi 99,5%, dan setelah itu operasi adsorber akan dihentikan guna membongkar adsorber dan mengambil adsorben untuk diaktivasi. Data hubungan waktu terhadap konsentrasi air ke luar disebut kurva breakthrough (terobosan). Kurva terobosan umumnya berbentuk huruf S. Yang dikehendaki adalah lama waktu transien itu singkat dengan kata lain huruf S-nya tegak, yaitu waktu dari garis mendatar bawah, kemudian naik dan akhirnya dicapai kondisi mendatar atas, karena perubahan konsentrasi air sifatnya drastis sehingga bisa diketahui dengan cepat oleh operator. Kurva terobosan sebagaimana terlihat dalam Gambar 4 condong/miring ke kanan, ini mengindikasikan nilai koefisien transfer massa yang rendah. Perubahan waktu terhadap konsentrasi air yang drastis tersebut erat kaitannya dengan perilaku adsorpsi dan nilai koefisien transfer massa adsorpsi. Nilai koefisien transfer massa adsorpsi tersebut diperlukan untuk merencanakan dimensi adsorber: diameter kolom, tinggi kolom dan ukuran adsorben. Dari model matematis yang diajukan dengan data hubungan antara waktu terhadap konsentrasi air bisa ditentukan koefisien transfer massa adsorpsi (k_{ca}). Dari nilai k_{ca} yang ditentukan dapat dicari konsentrasi air simulasi. Terlihat bahwa C_A data cocok dengan C_A simulasi untuk sebagian besar waktu yaitu dari 0 sampai dengan 125 menit, untuk waktu selanjutnya dari 125 sampai 165 menit terjadi penyimpangan namun masih bisa diterima untuk bidang teknik. Penyimpangan itu disebabkan oleh pengaruh difusi molekuler air di dalam adsorben lebih berpengaruh daripada

difusi air dalam badan larutan bioetanol yang tidak dipertimbangkan dalam menyusun model matematis. Nilai koefisien transfer massa yang dihitung dengan *software* Basic QB64 didapatkan $9,27E-08$ 1/menit.

Kesimpulan

Dari hasil penelitian dan pembahasan dapat ditarik kesimpulan bahwa:

1. Zeolit alam memiliki kinerja yang baik khususnya dalam segmen waktu 0 sampai 60 menit dengan kadar bioetanol ke luar 99,5% dan bisa dikategorikan sebagai FGE;
2. Model persamaan matematis yang diajukan cukup sesuai untuk sebagian besar waktu adsorpsi dari 0 sampai 125 menit, sedangkan untuk segmen waktu yang tersisa muncul pengaruh difusi molekuler;
3. Kurva breakthrough (terobosan) untuk adsorpsi air dengan adsorben zeolit alam condong ke kanan mengindikasikan nilai koefisien transfer yang rendah yaitu $9,27E-08$ 1/menit.

Ucapan Terima Kasih

Terimakasih yang sebesar-besarnya penulissampaikan kepada Kopertis Wilayah VII yang telah mendanai penelitian ini melalui DIPA Kopertis Wilayah VII Surabaya No. SP-DIPA-023.04.2.415015/2014, tanggal 05 Desember 2013.

Daftar Pustaka

- BSN. 2006. Bioetanol Terdenaturasi untuk Gasohol. SNI DT 27-0001, <http://www.sisni.bsn.go.id>, Diakses 20 Januari 2012.
- Geankoplis, C.J., 2003, "*Transport Processes and Separation Process Principles*", 4 ed., pp.125-135, 760-770, Prentice Hall International, New Jersey
- Kementerian ESDM, 2011, *Konsumsi Bahan Bakar di Indonesia Sampai Maret 2011*, Kementerian ESDM RI, Jakarta
- Kiswara, B.Y., 2010, Zeolit, "*Harta Karun Terependam di Malang Selatan*" <http://beritajatim.com>, diakses 14 April 2010
- Prihandono, R., Noerwijan, K., Adinurani, P.G., Setyaningsih, D., Setiadi, S. dan Hendroko, R., 2007, "*Bioetanol Ubi Kayu: Bahan Bakar Masa Depan*" hlm.25-66, Agro Media, Jakarta
- Sediawan, W.B. dan Prasetyo, A., 1997, "*Pemodelan dan Penyelesaian Numeris dalam Teknik Kimia*", Penerbit Andi Offset, Yogyakarta