

DEHIDRASI ETANOL PADA KOLOM FIXED BED MENGGUNAKAN ADSORBEN PELET DARI LIMBAH ABU DASAR PEMBAKARAN BATUBARA

Simparmin Br. Ginting^{1)*}, dan Neo Kurniawan¹⁾

¹⁾Jurusan Teknik Kimia, Fakultas Teknik, Universitas Lampung, Bandar Lampung, 35145

*) Email korepondensi: simparmin.ginting@eng.unila.ac.id

Abstrak

Coal Bottom Ash (CBA) merupakan limbah dasar hasil pembakaran batubara pada Pembangkit Listrik Tenaga Uap. CBA mengandung silika dan alumina yang dapat digunakan sebagai adsorben untuk dehidrasi etanol. CBA terlebih dahulu dihaluskan hingga ukuran 200 mesh. Kemudian ditambahkan perekat berupa tepung terigu dan dibentuk menjadi pelet. CBA kemudian dikalsinasi dengan suhu 500° C selama 2 jam. Adsorben pelet yang terbentuk dikarakterisasi menggunakan XRF, XRD, FTIR, BET dan SEM. Hasil analisis XRF menunjukkan adsorben pelet didominasi alumina (28,156%) dan silika (53,978%), hasil analisis XRD menunjukkan bahwa adsorben pelet didominasi oleh kristal quartz dan albite, hasil analisis BET menunjukkan adsorben mempunyai luas permukaan sebesar 2,8419 m²/g. Proses adsorpsi dilakukan secara kontinyu dalam kolom adsorpsi berdiameter 3 cm yang berisi adsorben pelet dengan tinggi 10 cm dan dilakukan variasi laju alir umpan sebesar 6, 10 dan 14 ml/menit dengan konsentrasi umpan larutan etanol sebesar 91,805%. Kapasitas dan kinetika adsorpsi dihitung menggunakan tiga persamaan model kinetika adsorpsi yaitu model kinetika adsorpsi Adam-Bohart, Yoon-Nelson dan Thomas. Didapatkan nilai R² tertinggi pada model persamaan Adam Bohart pada laju alir 10 ml/menit yakni dengan nilai R² sebesar 0,981 dengan konsentrasi tertinggi dicapai pada konsentrasi 98,813%.

Kata Kunci: Coal bottom ash; etanol-air; kinetika adsorpsi; dehidrasi etanol.

PENDAHULUAN

Seiring meningkatnya kepedulian lingkungan dan semakin menipisnya cadangan minyak bumi, telah memotivasi para peneliti untuk mengembangkan energi alternatif, seperti energi angin, air, sel surya, *biofuel* dan panas bumi (Frolkova dan Raeva, 2010). Dalam beberapa waktu terakhir, bioethanol, biodiesel dan biogas merupakan *biofuel* yang paling menjanjikan untuk dieksplorasi dan diteliti lebih lanjut (Ranjbar Z, 2012). Dari berbagai macam biofuel yang ada, etanol paling banyak menarik perhatian. Sebagai energi alternatif, etanol umumnya langsung digunakan sebagai bahan bakar atau sebagai bahan aditif yang dapat membantu meningkatkan nilai oktan pada bahan bakar konvensional (Diaz JC, 2010). Salah satu keuntungan penggunaan bioethanol sebagai bahan bakar adalah berkurangnya emisi karbon yang berperan penting dalam pemanasan global.

Teknik pemisahan larutan etanol-air yang sering digunakan adalah proses adsorpsi dan destilasi. Jika dibandingkan dengan proses destilasi yang membutuhkan energi sebesar 2,8

x 10⁶ J/L untuk memecah titik *azeotrope*, proses adsorpsi hanya membutuhkan energi sebesar 5,6 x 10⁵ J/L dengan konsentrasi produk sampai dengan 99,6 % etanol dari kadar etanol yang awalnya sebesar 95% (Ladisich MR, 1984). Biaya pengoprasian yang rendah, efisiensi yang tinggi dan tersedianya berbagai macam adsorben menjadi alasan banyaknya industri yang menggunakan proses adsorpsi dalam memisahkan larutan etanol-air. Selain itu, adsorpsi dapat dilakukan dalam keadaan *batch* maupun kontinyu (Okewale AO, 2015).

Pada proses adsorpsi secara kontinyu, penting bagi kita untuk mengetahui profil kurva *breakthrough*. Kurva ini digunakan untuk mendapatkan nilai kapasitas adsorpsi dari adsorben, mengetahui panjang zona transfer massa dan juga waktu jenuh (*breakthrough time*). Sementara adsorpsi kontinyu secara *fixed bed* memungkinkan kita untuk mengetahui kapasitas adsorpsi isoterm (*isoterm capacity*) dan kinetika adsorpsi dari material yang digunakan (Inglezakis VJ, 2006). Pada industri besar, adsorben yang sering digunakan adalah zeolit sintesis karena

mempunyai kristalinitas tinggi. Namun zeolit sintesis yang komponen utamanya adalah silika sebagian besar diperoleh dengan cara impor sehingga harganya relatif mahal. Sedangkan sumber silika banyak terdapat di Indonesia dalam bentuk limbah salah satunya adalah *coal bottom ash* yang merupakan sisa pembakaran batubara. Karena bahan baku ini berasal dari limbah, hal ini tentunya dapat menjadi langkah dalam menangani pencemaran lingkungan dengan cara menjadikannya material yang memiliki manfaat dalam bidang tertentu, yang dalam hal ini adalah pemurnian bioetanol. Secara fisik, *coal bottom ash* dari PLTU merupakan partikel sangat halus, berwarna putih kecoklatan dengan komposisi terbesar adalah silika (77,76%) dan alumina (16,53%) (Simpamin dkk, 2018).

Dalam penggunaannya sebagai adsorben, kerap kali ditemukan masalah, salah satunya adalah bentuk adsorben itu sendiri. Adsorben dengan bentuk serbuk tentu akan menjadi masalah apabila prosesnya dilakukan dengan cara kontinyu dalam kolom packing, karena dapat terbawa aliran. Sehingga perlu adanya modifikasi bentuk adsorben agar mudah dalam penggunaannya. Salah satu caranya adalah dengan membentuk adsorben menjadi pelet dengan bantuan binder/perekat. Perekat yang digunakan dapat berasal dari bahan anorganik seperti alumina silikat maupun bahan organik seperti tepung tapioka, tepung jagung dan tepung terigu.

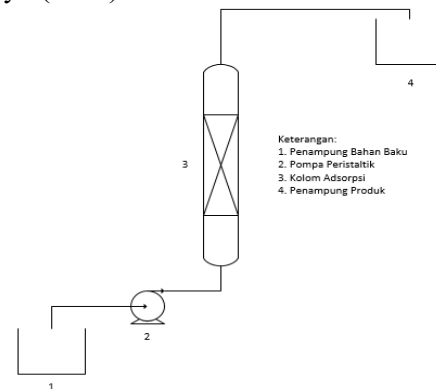
Proses adsorpsi secara kontinyu menggunakan kolom *fix bed* dengan berbagai macam adsorben juga telah dilakukan. Seperti yang dilakukan oleh Okewale AO dkk (2015) tentang adsorpsi air dari campuran etanol-air menggunakan kolom *fix bed* dengan bahan baku adsorben dari *corn starch* termodifikasi telah dilakukan. Dalam penelitian tersebut terdapat variasi laju alir sebesar 6, 10 dan 14 ml/menit pada ketinggian kolom 90 mm dan variasi ketinggian *bed* sebesar 40, 80 dan 120 mm pada laju alir 6 ml/menit. Dari hasil penelitian yang telah dilakukan, didapat kesimpulan bahwa semakin tinggi laju alir, maka kapasitas adsorpsi akan semakin tinggi.

Pada penelitian ini, dilakukan proses dehidrasi larutan etanol-air dengan menggunakan

adsorben dari *coal bottom ash* secara kontinyu dalam kolom *fixed bed*. Data dianalisis untuk mendapatkan kurva *breakthrough* dan nilai kinetiknya. Tiga model persamaan adsorpsi (persamaan Thomas, Adam-Bohart dan Yoon-Nelson) digunakan untuk menganalisis kinerja kolom (Okewale AO, 2015).

METODOLOGI

Pada penelitian ini dilakukan pembuatan adsorben pelet dari *coal bottom ash* dengan binder dari tepung terigu dan diaktivasi menggunakan proses kalsinasi dengan suhu 500 °C. Proses ini mengacu pada penelitian Okik Mulyo (2016).



Gambar 1. Skema Alat Penelitian

1) *Pretreatment coal bottom ash*

Sebanyak 125 gram *coal bottom ash* dihaluskan dengan menggunakan mortar dan di *sreening* menggunakan pengayak ukuran 200 mesh.

2) Pembuatan binder/perekat

Sebanyak 15 gram tepung terigu dilarutkan dalam 100 ml aquades dan dipanaskan hingga terbentuk gelatin seperti perekat.

3) Pembuatan adsorben pelet

Perekat dan *coal bottom ash* dicampurkan hingga kalis/merata kemudian dicetak menjadi pelet. Adsorben pelet yang terbentuk dipanaskan menggunakan oven dengan suhu 100 °C selama 4 jam

4) Proses aktivasi

Adsorben pelet yang sudah terbentuk dan dikeringkan kemudian diaktivasi secara fisik dengan proses kalsinasi menggunakan *furnace* dengan suhu 500° C selama 5 jam.

HASIL DAN PEMBAHASAN

Analisis XRF (*X-Ray Fluorescence*)

Coal Bottom Ash dianalisis dengan menggunakan XRF (*X-ray Fluorescence*) di

Laboratorium Instrumen Kimia, Universitas Padang untuk mengetahui komposisi kimia dalam sampel. Hasil analisis XRF (*X-ray Fluorescence*) *Coal Bottom Ash* yang telah dikalsinasi pada suhu 500°C terdapat pada Tabel 1.

Kandungan utama pada adsorben pelet dari *Coal Bottom Ash* yang digunakan sebagai bahan pembentuk struktur adsorben adalah SiO₂ dan Al₂O₃. Dengan demikian sampel *coal bottom ash* memiliki kemiripan dengan komponen penyusun zeolit. Setelah dilakukan kalsinasi, rasio SiO₂/Al₂O₃ mengalami penurunan bila dibandingkan dengan *Coal Bottom Ash* yang tidak dikalsinasi. Sesuai dengan sifat dari zeolit, hal ini akan berdampak baik bagi performa adsorben dalam menyerap air pada larutan campuran etanol-air, karena semakin rendah rasio SiO₂/Al₂O₃, maka sifat dari zeolit tersebut akan semakin hidrofilik.

Pada penelitian ini kandungan anorganik di dalam *Coal Bottom Ash* mengalami kenaikan setelah dilakukan proses kalsinasi. Kandungan Fe₂O₃ dan CaO dalam *Coal Bottom Ash* dapat mengganggu proses pembentukan kristal zeolit. Senyawa anorganik ini akan menghambat proses kristalisasi dan menurunkan kristalinitas material yang dihasilkan (Voughan, 1999).

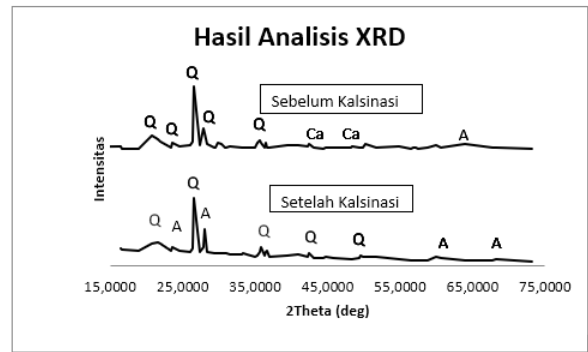
Tabel 1. Perbandingan Komposisi CBA

| | Al ₂ O ₃ | SiO ₂ | CaO | Fe ₂ O ₃ | SiO ₂ /Al ₂ O ₃ |
|---|--------------------------------|------------------|-------|--------------------------------|--|
| A | 16,538 | 77,768 | 1,854 | 1,004 | 8 |
| B | 28,156 | 53,978 | 8,182 | 4,932 | 3,25 |

A. Tanpa Kalsinasi (%), B. Kalsinasi (%)

X-Ray Diffraction (XRD)

Coal Bottom Ash dianalisis dengan menggunakan XRD (*X-ray Diffraction*) untuk mengetahui struktur kristal baik dalam fasa amorf maupun kristalin dan komposisi mineral-mineral penyusun dari *Coal Bottom Ash*. Analisis dilakukan di Laboratorium Fisika Instrumen Fakultas MIPA, Universitas Negeri Padang dengan dengan alat difraksi sinar-X *Pan Analytical X'Pert Powder* yang memiliki radiasi gelombang Cu Kλ 30 Ma, 40 kV. Hasil analisis XRD yang merupakan pola difraktogram pada setiap adsorben pelet dengan kalsinasi dan tanpa kalsinasi disajikan pada Gambar 2.



Gambar 2. Hasil analisis XRD Adsorben Pelet

Keterangan Gambar:

Q = Quatrz (SiO₂)

A = Albite (Na (AlSi₃O₈))

Ca = Calsium Oxide (CaO)

Na = Sodium Alumunium Hydrate (NaAlH₄)

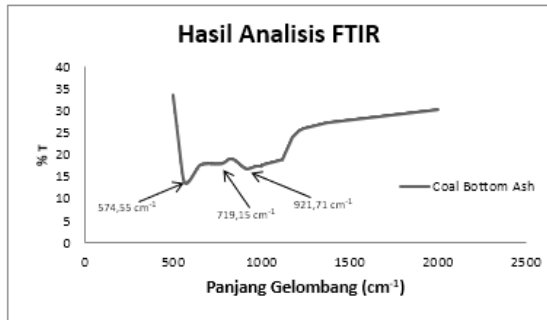
Sampel CBA yang belum dikalsinasi mengandung kristal quartz, calcium oxide, sodium alumunium hydrate dan albite. Namun setelah CBA dikalsinasi pada suhu 500° C, calcium oxide dan sodium alumunium hydrate berubah menjadi fasa amof, sedangkan kristal quartz dan albite masih terkandung di dalam adsorben.

Dari hasil analisis XRD pada Gambar 2, secara umum dapat terlihat bahwa puncak tertinggi berada pada sudut 2θ = 26,62° yang menunjukkan adanya kristal *quartz* pada *coal bottom ash*. Hasil analisis XRD menunjukkan sampel didominasi oleh kristal *quartz* dan kristal *albite*. Selain mengandung fasa kristalin, *coal bottom ash* juga mengandung fasa amorf yang ditunjukkan oleh puncak landai pada difraktogram antar 2θ = 5-70°. Fasa amorf ini kemungkinan besar adalah berupa senyawa karbon sisa pembakaran yang masih terkandung dalam sampel *coal bottom ash*. Hasil analisis XRD ini juga sesuai dengan yang pernah dilakukan oleh Simparmin dkk (2018) dimana pada sampel *coal bottom ash* hasil kalsinasi juga terbentuk puncak-puncak kristal yang didominasi oleh kristal *quartz* dan kristal *albite*.

Analisis FTIR (*Fourier Transform Infrared*)

Analisis FTIR dilakukan untuk menentukan ikatan antar atom dan mengetahui gugus fungsi pada sampel sehingga dapat membantu memberikan informasi dalam memperkirakan struktur molekul. Analisis ini dilakukan di

Laboratorium Kimia Instrumen Fakultas MIPA, Universitas Negeri Padang dengan dengan FTIR (*Fourier Transform InfraRed*) Perkin Almer. Hasil analisis FTIR pada sampel dapat dilihat pada Gambar 3.



Gambar 3. Hasil analisis FTIR Adsorben Pelet

Dari Gambar 3 dapat diketahui bahwa pada adsorben yang terbentuk memiliki vibrasi ulur asimetri O-Si-O atau O-Al-O, hal ini terlihat pada puncak serapan yang berada di rentang 1250-900 cm^{-1} , dimana pada sampel adsorben menunjukkan puncak serapan di 921,71 cm^{-1} . Hal ini menunjukkan bahwa adsorben yang dibentuk memiliki kerangka aluminasilikat (Simparkin dkk, 2017).

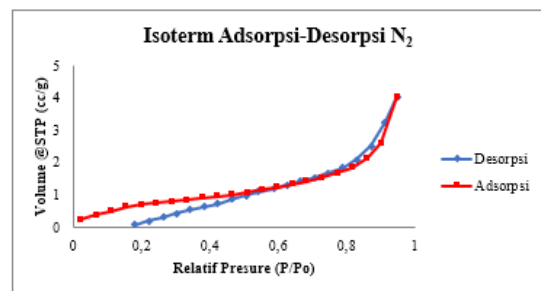
Selain itu, terdapat puncak serapan pada rentang 720-650 cm^{-1} , tepatnya terdapat pada serapan 719,15 cm^{-1} . Hal ini mengindikasikan adanya vibrasi ulur simetri O-Si-O atau O-Al-O yang menunjukkan adanya interaksi antara alumina tetrahedral dari struktur adsorben dengan Al^+ . Kemudian dapat diketahui juga adanya vibrasi eksternal D4R dan D6R atau sering dikenal dengan istilah *double ring*. Hal ini terlihat dengan adanya puncak serapan pada intensitas 574,55 cm^{-1} yang menunjukkan bahwa adsorben *coal bottom ash* ini memiliki kemiripan dengan Zeolit LTA yang mempunyai ciri yaitu terdapat pita gelombang cincin ganda (*double ring*).

Analisis BET (*Bzeolitaur, Emmet and Teller*)

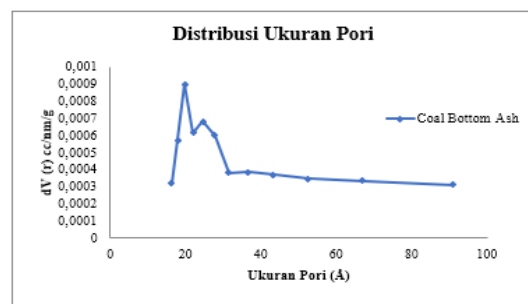
Analisis BET dilakukan di Laboratorium Elektrokimia, Jurusan Teknik Kimia Institut Teknologi Bandung. Analisis ini dilakukan untuk mengetahui luas permukaan spesifik, volume pori, dan diameter pori dari adsorben pelet yang dihasilkan. Metode analisis BET adalah dengan melakukan adsorpsi-desorpsi N_2 untuk tipe *loop histerisis* pada meterial. Gambar 4 menunjukkan bahwa isotherm adsorpsi – desorpsi ini menunjukkan adanya kenaikan

dengan cepat pada tekanan P/P_o sekitar 0,7 sampai 0,9. Kenaikan pertama disebabkan oleh molekul gas yang teradsorp berkontak dengan daerah berenergi pada permukaan adsorben. Proses ini membentuk lapisan tunggal pada permukaan padatan, dimana penambahan molekul gas terjadi saat permukaan diisi oleh molekul gas dan membentuk lapisan tunggal pada daerah P/P_o yang lebih tinggi. Penambahan ini berdampak terbentuknya lapisan *multilayer*, dan pada akhir pengisian, terjadi kondensasi molekul gas yang teradsorp. Selain itu juga terlihat adanya *loop histerisis* pada daerah pertengahan (Hartono, 2011).

Percabangan antara garis desorpsi dan adsorpsi disebut sebagai *histerisis*. Percabangan ini dapat terjadi dikarenakan adanya kondensasi yang tertunda sehingga mengakibatkan fasa adsorpsi menjadi metastabil. Umumnya peristiwa ini dikaitkan dengan kondensasi kapiler. Kondensasi kapiler tertunda mengakibatkan adsorpsi yang bercabang dan membuat *loop histerisis*. Hal ini terjadi karena tidak adanya kesetimbangan termodinamika yang tercapai selama proses adsorpsi berlangsung (Thommes et.al., 2015).



Gambar 4. Grafik adsorpsi-desorpsi N_2



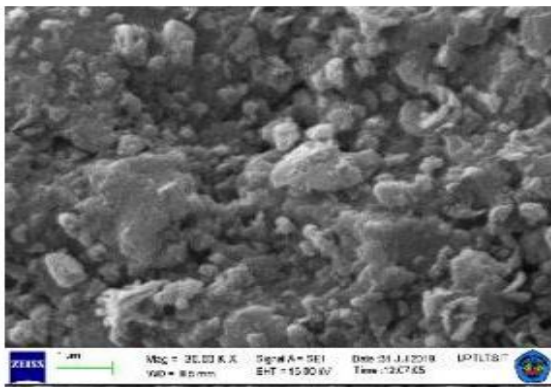
Gambar 5. Grafik distribusi ukuran pori adsorben pelet

Data distribusi pori pada Gambar 5 menunjukkan bahwa zeolit pelet memiliki ukuran pori yang tidak seragam namun masih berada pada rentan mikropori dan mesopori

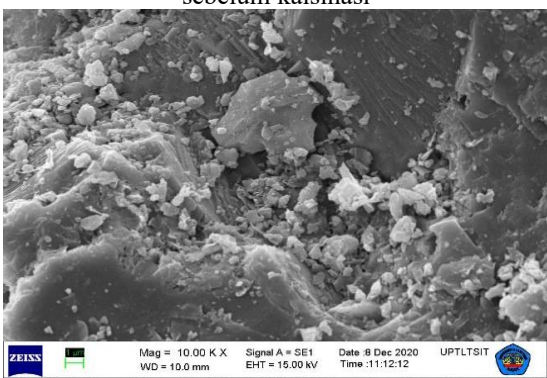
yaitu 10-40 Å. Pada rentan 30 - 90 Å, ukuran pori yang terbentuk besar sedangkan volume pori yang terbentuk kecil. Jika volume pori semakin kecil, maka daya tampung senyawa yang terserap dalam pori-pori zeolit akan semakin kecil juga. Ukuran pori juga akan mempengaruhi selektifitas zeolit terhadap senyawa yang akan masuk ke dalam rongga zeolit. Semakin kecil pori zeolit, maka proses adsorpsi akan semakin selektif. Zeolit pelet memiliki volume sebesar 0,0062763 cc/g dengan ukuran pori rata-rata sebesar 44,169 Å dan luas permukaannya sebesar 2,8419 m²/g.

Analisis SEM

Analisis SEM dilakukan di Laboratorium Kimia Terpadu FMIPA Universitas Lampung. Analisis SEM dilakukan pada sampel CBA yang belum dikalsinasi dan sampel yang telah dikalsinasi. Analisis SEM ini dilakukan untuk mengetahui morfologi dari adsorben yang terbentuk. Berikut ini adalah hasil analisis SEM yang ditunjukkan pada Gambar 6 dan 7.



Gambar 6. Hasil analisis SEM *Coal Bottom Ash* sebelum kalsinasi



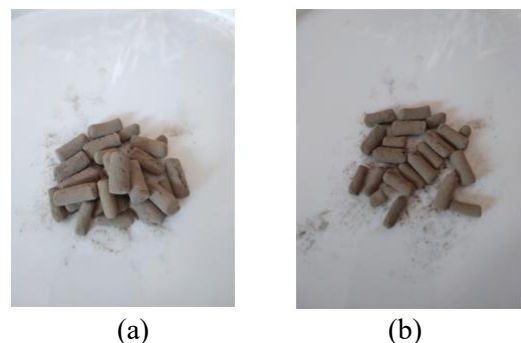
Gambar 7. SEM *Coal Bottom Ash* hasil kalsinasi

Dari hasil analisis SEM, terlihat pada perbesaran 5.000, 10.000, 30.000 dan 50.000 kali pada sampel adsorben pelet menunjukkan morfologi permukaan yang tidak seragam.

Bentuk yang tidak seragam ini menunjukkan masih banyaknya fasa amorf pada adsorben pelet yang dibentuk. Ketidakteraturan ini juga diakibatkan masih adanya kandungan anorganik pada sampel seperti yang ditunjukkan pada hasil analisis XRD di Tabel 1.

Durabilitas Adsorben

Durabilitas atau ketahanan adsorben pelet menjadi penting untuk ditinjau karena semakin baik durabilitas adsorben pelet, maka akan semakin panjang pula umur pemakaian adsorben itu sendiri. Sholihah (2011) menyatakan bahwa pelet yang baik adalah pelet yang kompak, kokoh dan tidak mudah rapuh. Dari hasil penelitian ini, adsorben yang dibentuk dan digunakan dalam proses adsorpsi tidak mengalami perubahan bentuk fisik yang signifikan. Jika diperhatikan secara seksama, adsorben hanya mengalami sedikit pengikisan dibagian permukaan akibat kontak langsung dengan larutan etanol. Namun kikisan dari adsorben ini tidak ikut terbawa arus dan jatuh di bagian bawah kolom adsorpsi sehingga tidak mempengaruhi kualitas keluaran produk.



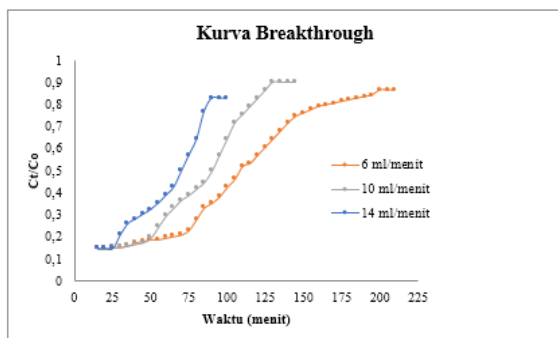
Gambar 8. (a) sebelum digunakan (b) setelah digunakan

Durabilitas yang baik ini terjadi karena perekat alami yang terkandung dalam adsorben pelet telah mampu mengikat *coal bottom ash* dengan baik sehingga menghasilkan pelet yang kompak dan kokoh yang membuat adsorben pelet dapat mempertahankan bentuknya (Krisnan, 2009). Sementara itu dari segi warna, adsorben dari mulai bentuk serbuk hingga dibentuk menjadi adsorben pelet tidak mengalami perubahan meskipun dalam tahap pembuatannya melewati proses kalsinasi dengan suhu 500° C selama 4 jam. *Coal bottom ash* juga merupakan zat sisa hasil pembakaran dari batubara yang tentunya mengalami proses pemanasan, sehingga ketika dilakukan proses kalsinasi, adsorben tidak mengalami perubahan warna.

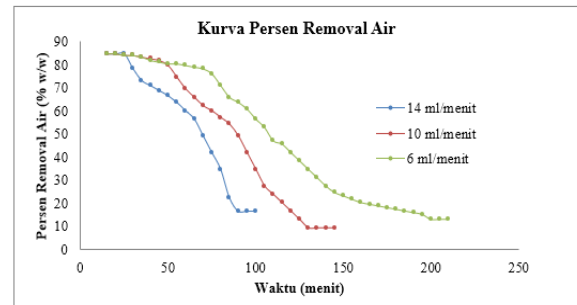
Kurva Breakthrough dan Persen Removal Air

Untuk mengetahui performa dari suatu adsorben dapat ditinjau menggunakan kurva *breakthrough*. Kurva *breakthrough* sendiri merupakan perbandingan antara konsentrasi awal larutan (C_0) dengan konsentrasi akhir (C_t) terhadap waktu (t), sehingga nantinya akan diketahui waktu jenuh adsorben yang digunakan. Kurva *breakthrough* sendiri dibagi menjadi empat bagian, yakni zona adsorpsi, *breakpoint*, *exhaust point* dan *saturation point* (Treybal, 1981). Zona adsorpsi adalah zona dimana proses adsorpsi terjadi secara maksimal. *Breakpoint* adalah bagian dimana adsorbat yang diserap jumlahnya mulai naik secara drastis. *Exhaust point* adalah bagian dimana adsorben sudah mencapai kondisi yang optimum dalam mengadsorb adsorbatnya. Sedangkan *saturation point* merupakan bagian dimana adsorben sudah mencapai titik jenuhnya dan pada kondisi ini adsorben sudah tidak dapat lagi mengadsorb adsorbatnya.

Dalam penelitian ini, adsorben yang digunakan adalah adsorben dari limbah abu dasar hasil pembakaran batubara yang dibentuk menjadi pelet (granul). Proses adsorpsi sendiri dilakukan dengan cara kontinyu di dalam kolom adsorpsi berdiameter 3 cm dengan ketinggian adsorben sebesar 10 cm. Sedangkan variasi yang dilakukan pada penelitian adalah variasi laju alir umpan larutan etanol, yakni laju alir 6 ml/menit, 10 ml/menit dan 14 ml/ menit dengan konsentrasi umpan larutan etanol sebesar 91,805 % v/v . Kurva *breakthrough* hasil dari proses adsorpsi larutan etanol dengan variasi laju alir tersebut dapat dilihat pada Gambar 9.



Gambar 9. Kurva breakthrough hasil penelitian



Gambar 10. Kurva persen removal air hasil penelitian

Dari hasil kurva *breakthrough* yang didapatkan, sesuai dengan penelitian yang dilakukan oleh Okewale ddk. (2015) yang menyatakan bahwa semakin tinggi laju alir pada proses adsorpsi dalam kolom adsorben, maka akan semakin cepat pula adsorben tersebut jenuh. Hal ini dapat dilihat pada laju alir 14 ml/menit, adsorben telah jenuh pada menit ke 90, sementara pada laju alir 10 ml/menit dan 6 ml/menit masing-masing adsorben jenuh pada menit ke 130 dan 195 menit. Hal tersebut dapat terjadi karena semakin tinggi laju alir larutan etanol, maka akan semakin banyak kandungan air yang dibawa, sehingga semakin cepat pula adsorben menjadi jenuh oleh kandungan air yang diserapnya. Kondisi jenuh ini diakibatkan oleh transfer massa molekul air dari larutan etanol ke adsorben yang sudah tidak dapat terjadi lagi karena pengaruh dari *driving force* di permukaan adsorben yang tidak lagi tinggi, *driving force* yang tidak lagi tinggi ini terjadi karena permukaan dan pori adsorben telah terisi penuh oleh molekul air, sehingga konsentrasi air di permukaan adsorben dengan konsentrasi air pada larutan etanol – air sama jumlahnya, hal inilah yang menyebabkan transfer massa air yang terkandung di dalam larutan etanol ke adsorben tidak lagi terjadi. Sementara itu, untuk kadar etanol tertinggi hasil adsorpsi terhadap variasi laju alir tidak mempunyai perbedaan, hal ini ditunjukkan dengan hasil adsorpsi larutan etanol pada semua variasi laju alir mempunyai kemurnian tertinggi yaitu 98,813 %v/v. Hal ini terjadi karena ketinggian adsorben pada setiap variasi laju alir adalah sama. Sehingga dapat dikatakan bahwa penelitian dengan variasi laju alir hanya berpengaruh pada perbedaan waktu jenuh masing-masing variasinya. Sedangkan tingkat kemurnian etanol tertinggi, nilainya sama untuk masing-masing variasi.

Pada variasi laju alir umpan 6 ml/menit, 30 menit awal proses adsorpsi, nilai persen removal air adalah sebesar 84,843 %w/w. Kemudian mulai mengalami penurunan nilai persen removal pada menit ke 35. Nilai ini terus menerus turun hingga akhirnya konstan pada menit ke 200 dengan nilai persen removal air sebesar 13,06 %w/w. Sementara itu pada variasi laju alir 10 ml/menit persen removal air mencapai 84,843 % pada 25 menit awal dan mulai mengalami penurunan pada menit ke 30, dan konstan pada menit ke 130 dengan nilai persen removal sebesar 9,432 %w/w. Sedangkan pada variasi laju alir 14 ml/menit, persen removal air mulai mengalami penurunan nilai pada menit ke 20 dari 84,843 %w/w ke 78,317 %w/w dan konstan pada menit ke 90 dengan persen removal sebesar 16,683 % w/w.

Dari Gambar 8 dapat dilihat bahwa pengaruh variasi laju alir umpan larutan etanol terhadap persen removal identik dengan pengaruh variasi laju alir terhadap kurva *breakthrough*. Semakin tinggi nilai laju alir umpan, maka adsorben akan lebih cepat jenuh. Hal ini disebabkan karena semakin tinggi laju alir umpan, maka akan semakin banyak air yang diadsorb oleh adsorben, sehingga dalam rentang waktu yang sama, adsorben yang dialiri dengan laju alir umpan lebih besar akan lebih cepat jenuh oleh air sehingga transfer massa tidak dapat terjadi lagi karena permukaan dan pori-pori adsorben sudah penuh dengan molekul air.

Kinetika dan Kapasitas Adsorpsi

Tiga model persamaan (model adam-bohart, model thomas dan model yoon-nelson) digunakan untuk mengetahui performa kolom.

Model Yoon-Nelson

Bentuk linier dari model persamaan ini mengikuti literasi dari (Kavak dan Ozturk, 2004).

$$\ln\left(\frac{C_t}{C_0 - C_t}\right) = k_{YN}t - \tau k_{YN} \quad (1)$$

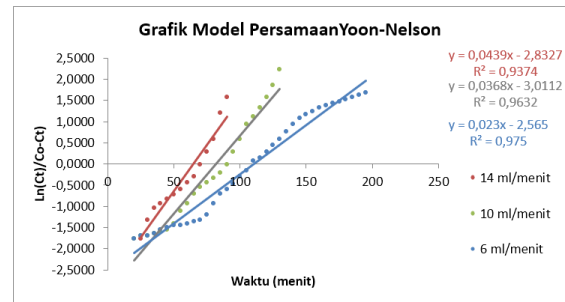
Dimana C_0 adalah jumlah air masuk kolom dan C_t adalah jumlah air keluar kolom, k_{YN} adalah nilai kinetika adsorpsi dan τ adalah waktu yang dibutuhkan untuk mencapai 50% *breakthrough*. Dalam model ini, jumlah air yang masuk adalah setengah dari jumlah air yang masuk ke kolom adsorpsi dalam periode 2τ (Aksu and Ttezer,

2000). Untuk mendapatkan nilai kapasitas adsorpsi, digunakan persamaan 2.

$$q_{YN} = \frac{q_{total}}{m} = \frac{C_0 v \tau}{1000m} \quad (2)$$

Dimana v adalah laju alir masuk kolom, q_{YN} adalah kapasitas adsorpsi dan m adalah jumlah massa adsorben pada kolom *fixed bed*. Dari hasil penelitian, dapat dilihat pada Tabel 2, nilai kinetika adsorpsi (k_{YN}) meningkat seiring meningkatnya laju alir, dan nilai T menurun seiring meningkatnya nilai laju alir.

Dengan menggunakan persamaan model ini, didapatkan nilai R^2 terbaik yaitu sebesar 0,975 pada laju alir 6 ml/menit dengan nilai kinetika adsorpsi sebesar 0,0230 menit⁻¹ dan nilai kapasitas adsorpsi sebesar 0,000571 g/g.



Gambar 11. Grafik hasil plot model yoon nelson

Tabel 2. Performa adsorben model yoon nelson

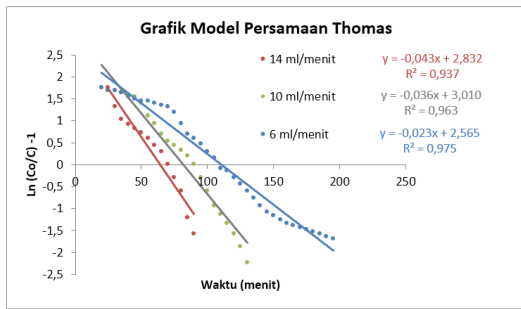
| Laju Alir Umpan | K_{YN} (menit ⁻¹) | T (menit) | q_{YN} (g/g) | R^2 |
|-----------------|---------------------------------|-----------|----------------|-------|
| 6 ml/menit | 0,023 | 111,522 | 0,000571 | 0,975 |
| 10 ml/menit | 0,036 | 83,639 | 0,000714 | 0,963 |
| 14 ml/menit | 0,043 | 65,86 | 0,000787 | 0,937 |

Model Thomas

Pada model Thomas, persamaan kinetika adsorpsi mengikuti persamaan 4.

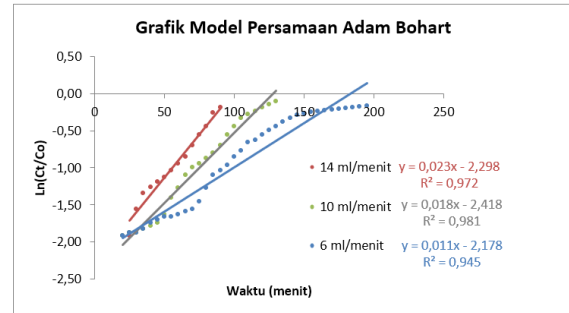
$$\ln\left(\frac{C_0}{C_t} - 1\right) = \frac{k_{Th}q_{Th}m}{v} - \frac{k_{Th}C_0}{v}V_{eff} \quad (3)$$

Dimana C_0 adalah jumlah air masuk kolom dan C_t adalah jumlah air keluar kolom, k_{Th} adalah nilai kinetika adsorpsi, m merupakan massa adsorben, q_{Th} merupakan nilai kapasitas adsorpsi, v merupakan laju alir umpan dan V_{eff} merupakan laju alir keluar kolom. Nilai k_{Th} dan kapasitas adsorpsi kolom dapat dievaluasi dari plot $\ln\left(\frac{C_0}{C_t} - 1\right)$ dan V .



Gambar 12. Grafik plot model thomas

adsorpsi sebesar 4,485 ml/gram.menit dan nilai kapasitas adsorpsi sebesar 0,0372 g/cm³.



Gambar 13. Grafik plot model adam bohart

Tabel 3. Performa adsorben model thomas

| Laju Alir Umpan | K _{TH} (ml/g.menit) | q _{TH} (g/g) | R ² |
|-----------------|------------------------------|-----------------------|----------------|
| 6 ml/menit | 5,85838 | 0,0571 | 0,975 |
| 10 ml/menit | 9,169638 | 0,0714 | 0,963 |
| 14 ml/menit | 10,95541 | 0,0788 | 0,937 |

Nilai k_{Th} dan q_{Th} tergantung pada laju alir. Dari data pada Tabel 2 nilai kinetika adsorpsi dan kapasitas adsorpsi meningkat seiring meningkatnya laju alir umpan. Hal ini sesuai dengan penelitian Okewale et al. (2015).

Dengan menggunakan persamaan model ini, didapatkan nilai R² terbaik yaitu sebesar 0,975 pada laju alir 6 ml/menit dengan nilai kinetika adsorpsi sebesar 5,858 ml/gram.menit dan nilai kapasitas adsorpsi sebesar 0,0571 g/g.

Model Adam-Bohart

Bentuk linier dari model persamaan ini mengikuti literasi dari (Kavak dan Ozturk, 2004).

$$\ln\left(\frac{C_0}{C_t} - 1\right) = k_{AB} N_0 \frac{z}{F} - k_{AB} C_0 t \quad (4)$$

Dimana C_0 adalah jumlah air masuk kolom dan C_t adalah jumlah air keluar kolom, z merupakan ketinggian bed, F merupakan laju alir umpan masuk kolom, k_{AB} adalah nilai kinetika adsorpsi dan N_0 adalah kapasitas adsorben (g/g). Nilai k_{AB} dan N_0 dapat dievaluasi dari plot $\ln(C_t/C_0)$ terhadap t (waktu) pada ketinggian unggun tertentu (z) dan laju alir umpan (F). dapat dilihat pada Tabel 2, nilai kapasitas adsorpsi meningkat seiring meningkatnya laju alir. Hal ini dapat terjadi karena dengan meningkatnya laju alir, maka laju molekul air lebih cepat berkontak dengan adsorben (Okewale et al., 2015).

Dengan menggunakan persamaan model ini, didapatkan nilai R² terbaik yaitu sebesar 0,981 pada laju alir 10 ml/menit dengan nilai kinetika

Tabel 4. Performa adsorben model adam bohart

| Laju Alir Umpan | K _{AB} (ml/g.menit) | N ₀ (g/cm ³) | R ² |
|-----------------|------------------------------|-------------------------------------|----------------|
| 6 ml/menit | 2,802 | 0,0329 | 0,945 |
| 10 ml/menit | 4,585 | 0,0372 | 0,981 |
| 14 ml/menit | 5,859 | 0,0388 | 0,972 |

Dari tiga model persamaan yang digunakan, didapat nilai R² tertinggi pada model persamaan adam bohart yaitu sebesar 0,981. Dengan demikian persamaan yang paling cocok pada penelitian ini adalah persamaan menggunakan model persamaan adam bohart

KESIMPULAN

Telah berhasil dibuat adsorben berbentuk pelet dari *coal bottom ash* dengan binder yang terbuat dari tepung terigu. Berdasarkan karakteristik XRF, adsorben pelet mempunyai perbandingan Si/Al yang cukup rendah yakni sebesar 3,257. Berdasarkan analisis FTIR atas dapat diketahui bahwa pada adsorben yang terbentuk memiliki vibrasi eksternal D4R dan D6R atau sering dikenal dengan istilah *double ring*. Berdasarkan analisis BET, diketahui produk adsorben pelet mempunyai ukuran pori rata-rata sebesar 44,169 Å, luas permukaan sebesar 2,8419 m²/g dan volume pori sebesar 0,0062763 cc/g. Berdasarkan uji adsorpsi etanol-air secara kontinu menggunakan kolom adsorpsi dengan berbagai variasi laju alir, semakin tinggi laju alir umpan etanol, maka adsorben akan lebih cepat jenuh. Berdasarkan hasil analisis, kemurnian etanol tertinggi yang didapat adalah sebesar 98,813% v/v. Persamaan model kinetika adsorpsi yang paling sesuai dengan penelitian ini adalah persamaan Adam-Bohart dengan nilai R² sebesar 0,981 dan dengan kapasitas adsorpsi sebesar 0,0372 g/cm³.

Daftar Pustaka

- [1]. Aksu Z, Tezer S (2000) Equilibrium and kinetic modeling of bio-sorption of remazol black B by *Rhizopus arrhizus* in a batch system: effect of temperature. *Process Biochemistry* 36: 431 - 439.
- [2]. Diaz JC, Chavez ID, Liliana G, Juan Carlos MP (2010) Separation of ethanol - water mixture using type -A Zeolite Molecular Sieves. *E - Journal of Chemistry* 7: 483-495.
- [3]. Flanigen EM. 1991. *Zeolit and Molecular Sieves an Historical Perspective*. Elsevier Science : New York.
- [4]. Handrian. 2017. *Adsorpsi Air dari Campuran Uap Etanol-Air dengan Zeolit Sintetis 4A pada Packed Bed Dalam Rangka Produksi FuelGrade Ethanol*. *Jurnal Rekayasa Proses* Volume 11 No.2, 2017, hal. 68-77. Universitas Gadjah Mada : Yogyakarta.
- [5]. Inglezakis VJ, Pouloupoulos SG (2006) Adsorption, ion exchange and Catalysis: Design of operation and Environmental Applications, 1st ed. Elsevier Publishers Amsterdam. 16 - 17.
- [6]. Kavak D, Ozturk (2004) Adsorption of boron from aqueous solution by sepirolite: II Column studies, *II IJSS* 23 - 25: 495 - 500.
- [7]. Kugimiya BM, Donovan JW, Wong RY (1980) Phase transitions of amylose - lipid complexes in starches: A calorimetric study. *Stärke* 32: 265-270.
- [8]. Kurniawan, R. 2019. *Kajian Proses Pemurnian Etanol-Air dengan Metode Dehidrasi Cair dan Uap Menggunakan Zeolit Alam Modifikasi*. Prosiding Seminar Nasional Teknik Kimia "Kejuangan". ITENAS: Bandung.
- [9]. Ladisch MR, Voloch M, Hong J, Bienkowski P, Tsao GT (1984) Corn meal adsorber for dehydrating ethanol vapours. *Industrial Engineering Chemical Process Design Development* 23: 437-443.
- [10]. Okewale AO. 2015. *Kinetics Modeling of The Column Adsorption for The Dehydration of Ethanol-Water Mixtures using Biomass Adsorbents*. *J Chem Eng Process Technol* 6: 217.
- [11]. Ranjbar Z (2012) Ethanol dehydration with protein extracted canola meal in a pressure swing adsorption process. A Thesis submitted to the Department of Chemical and Biological Engineering university of Saskatchewan Saskatoon Canada.
- [12]. Simparmin, Br G. 2018. *Sintesis Zeolit A Dari Coal Bottom Ash Dengan Metode Step Change Of Synthesis Temperature Dengan Variasi Suhu Kalsinasi Diaplikasikan Untuk Dehidrasi Etanol*. *Jurnal Mechanical*, Volume 9. Universitas Lampung : Bandar Lampung.
- [13]. Suratno, L. 2012. *Analisis Kesetimbangan Adsorpsi DAN Kurva Breakthrough Pada Proses Dehidrasi Bioetanol Menjadi Fuel Grade Ethanol (FGE) Menggunakan Adsorben Zeolit Alam Malang*. Seminar Nasional Teknik Kimia Soebardjo Brotohardjono 1. UPN Veteran : Jawa Timur.



This is an open-access article distributed under the terms of the Creative Commons Attribution 4.0 International License (CC-BY).