

**PENGARUH LAJU ALIR TERHADAP EFISIENSI KOLOM RESIN PENUKAR
KATION KOMERSIL DAN ADSORPSI ION LOGAM
BERBEDA MUATAN**

***THE INFLUENCE OF FEED FLOW RATE TOWARD CAPACITY OF COMMERCIAL
CATION EXCHANGER RESIN AND ADSORPTION OF METAL ION WITH
DIFFERENT VALENCE***

Sri Widarti

(Staf Pengajar UP MKU Politeknik Negeri Bandung)

ABSTRAK

Fungsi air pada industri adalah sebagai sumber energi, sumber perpindahan panas, pengangkut bahan dasar, aksi mekanik/penghilang *scaling* pada alat dan sebagai produk seperti pada industri desalinasi. Umumnya, air mengandung kontaminan kimia seperti ion logam di samping kontaminan biologi dan fisik. Air yang mengandung ion logam dapat menimbulkan *scaling*, *slagging*, dan *fouling* yang dapat menyebabkan pengurangan daya hantar panas, pengurangan kecepatan alir fluida, korosi, dan memperpendek umur pemakaian alat. Agar air yang digunakan dapat memenuhi standar industri, digunakan teknologi kromatografi penukar kation untuk menghilangkan atau mengurangi ion logam. Efisiensi pemisahan ditentukan oleh beberapa parameter, di antaranya adalah kecepatan alir umpan/air ke dalam kolom. Penelitian yang telah dilakukan menunjukkan kecepatan alir memengaruhi kapasitas adsorpsi resin terhadap campuran ion Zn^{2+} , Mg^{2+} , dan Na^+ . Pengaruh kecepatan alir terhadap kapasitas ditunjukkan oleh persamaan kapasitas resin = $0,0957 \times (\text{laju alir})^{0,116}$ dengan tingkat kepercayaan 93.85%. Dua model lain yang memiliki korelasi kapasitas resin dengan kecepatan alir lebih besar dari 90% adalah logaritmik (91,87%) dan kuadrat (90,06%). Jumlah ion Na^+ teradsorpsi oleh resin penukar kation meningkat dengan bertambahnya kecepatan alir, sedangkan jumlah ion Zn^{2+} dan Mg^{2+} yang teradsorpsi berkurang dengan bertambahnya laju alir. Hal ini diperlihatkan oleh meningkatnya rasio mol $Na^+ / (Zn^{2+} + Mg^{2+})$ dengan bertambahnya kecepatan alir.

Kata Kunci: penukar kation, kromatografi, air pada industri

ABSTRACT

Industrial water is used as energy source, heat transfer medium, transport material, scaling remover, and as well as product in desalination industry. Water contains chemical contaminant such as metal ions, biological contaminants such as bacteria, fungus and physical contaminants. Water which contains metal ions can cause scaling, slagging dan fouling. These can reduce heat transfer capacity, fluid velocity, corrosion, and shorten life age of equipment. Chromatography method such as ion exchange is used to minimize metal

ions in industrial water. The adsorption capacity of cation exchanger is influenced by feed flow rate. The influence of feed flow rate towards adsorption capacity of Zn^{2+} , Mg^{2+} , dan Na^+ ions is indicated by three equations. The equations are: resin capacity = $0.0957 \times (\text{flow rate})^{0.116}$ with confidence level 93.85%, logarithmic with confidence level 91.87% and polinomial orde 2 with confidence level 90.06%. The amount of Na^+ ion adsorption increases due to increasing of flow rate. In the contrary amount adsorption of Zn^{2+} and Mg^{2+} ion decreases due to increasing of flow rate. It is indicated by increasing of mol ratio adsorption of $Na^+ / (Zn^{2+} + Mg^{2+})$ due to increasing flow rate.

Keywords: cation exchanger, chromatography, industrial water

PENDAHULUAN

Penggunaan air di industri terutama adalah untuk pembersihan, pemanasan, pendinginan, dan pembuatan uap/steam. Sumber air berasal dari air permukaan termasuk di dalamnya air sungai, air tanah, dan air laut. Kualitas air ditentukan oleh kualitas dan kuantitas kontaminan biologi, fisika, dan kimia. Untuk peralatan boiler yang menghasilkan uap, pemanasan dapat menghilangkan kontaminan biologi terutama mikroba yang umumnya tidak tahan terhadap panas. Sebaliknya, kontaminan kimia tidak dapat dihilangkan dengan pemanasan. Kontaminan kimia, terutama yang berupa ion logam, dapat menyebabkan korosi, penumpukan pada permukaan alat (*scaling*), *slagging*, dan *fouling*.

Scaling adalah peristiwa presipitasi garam-garam yang larut dalam air pada kondisi kimia dan temperatur tertentu. Presipitasi ini akan membentuk deposit pada permukaan logam, di antaranya pada boiler. *Slagging* adalah deposit yang dapat berbentuk cairan pada temperatur tinggi dan menempel pada dinding permukaan. *Fouling* adalah pembentukan deposit pada permukaan perpindahan konveksi panas. Ketiga hal tersebut memiliki konduktivitas panas yang rendah dan daya ikat pada permukaan tinggi,

sehingga dapat mengurangi kecepatan hantaran panas, mengurangi kecepatan alir air. Korosi pada logam terjadi karena pembentukan sel elektrokimia antara logam karena adanya elektrolit berupa garam yang larut dalam air. Adanya *slagging* dapat menyebabkan korosi. Adanya ketiga hal tersebut pada akhirnya dapat mengurangi laju alir fluida, pengurangan daya hantar panas yang mengurangi efisiensi setiap unit proses, dan mengurangi waktu hidup alat (Venkatesan, dkk., 2012 dan Garcia, dkk., 2013).

Dalam sistem pendingin, boiler, utilitas air pada recoveri sekunder minyak bumi (Vainikka dkk, 1990) dan pada pabrik desalinitas yang menggunakan proses penguapan, mengatasi *scaling* merupakan persoalan yang besar dan membutuhkan biaya yang mahal (Kassman, dkk., 2011 dan Luo, dkk., 2012). Beberapa ion logam yang menyebabkan terbentuknya *scaling* adalah ion kalsium dalam bentuk karbonat, sulfat seperti kalsium sulfat, gipsum dihidrat ($CaSO_4 \cdot 2H_2O$), kalsium sulfat pentahidrat ($CaSO_4 \cdot 5H_2O$) dan anhidrat ($CaSO_4$) (Trilili, dkk., 2008).

Di samping logam kalsium, ion logam lain yang juga dapat menyebabkan *scaling* dan korosi pada logam dan terdapat pada air di antaranya adalah ion Ba^{2+} , Mg^{2+} ,

Cu^{2+} , Cr^{6+} , dan Ni^{2+} (Venkatesan, dkk., 2012 dan Garcia, dkk., 2013). Kedua penulis ini juga melaporkan penggunaan mikrofiltrasi dan nanofiltrasi-*reverse osmoses* menggunakan membran polimer dan kromatografi penukar ion untuk mengurangi kadar ion logam dalam air.

Beberapa fasa diam resin penukar ion yang tersedia secara komersil adalah polietilenimin sebagai padatan pendukung dengan amina kuartar, dietilaminoetil (DEAE) sebagai gugus fungsi penukar anion dan sulfonat dan karboksil sebagai penukar kation. Parameter yang menentukan efisiensi di antaranya adalah pH yang digunakan, kecepatan alir umpan, dan adanya ion yang saling mengganggu.

Penelitian ini dilakukan untuk melihat pengaruh laju alir pada efisiensi resin penukar ion komersil yang tersedia.

PERCOBAAN

Bahan dan alat

Bahan yang digunakan dalam percobaan ini adalah resin penukar kation komersil, $\text{MgCl}_2 \cdot 6 \text{H}_2\text{O}$, ZnCl_2 , NaOH , EDTA, dan EBT. Semua zat yang digunakan adalah kualitas teknis. Alat yang digunakan adalah kolom kaca berdiameter dalam (id) 1 cm dan pompa peristaltik (Masterflex, USA).

Metode

Penentuan kapasitas resin dilakukan menggunakan tahap-tahap percobaan sebagai berikut:

1. Tahap *loading*

Campuran NaCl , $\text{MgCl}_2 \cdot 6 \text{H}_2\text{O}$ dan ZnCl_2 masing-masing 1 g dilarutkan dalam aquades 250 mL. 20 mL larutan ini dialirkan ke dalam kolom dengan kecepatan alir

tertentu. Larutan yang keluar dari kolom ditampung dalam erlemeyer.

2. Tahap *pencucian*

Tahap ini dimaksudkan untuk menghilangkan ion logam yang tidak teradsorpsi pada permukaan resin. Kolom dibilas dengan aquades sebanyak 100 mL dengan kecepatan alir tertentu. Eluat atau cairan yang keluar dari kolom ditampung di erlemeyer yang sama dengan tahap *loading*. Banyaknya ion H^+ yang keluar dari kolom menunjukkan jumlah ion Na^+ , Mg^{+2} , dan Zn^{+2} yang tidak teradsorpsi dan ditentukan menggunakan cara titrasi asam-basa (x mol). Jumlah ion Mg^{+2} dan Zn^{+2} yang tidak teradsorpsi ditentukan dengan cara titrasi menggunakan EDTA dengan indikator EBT (y mol).

HASIL DAN PEMBAHASAN

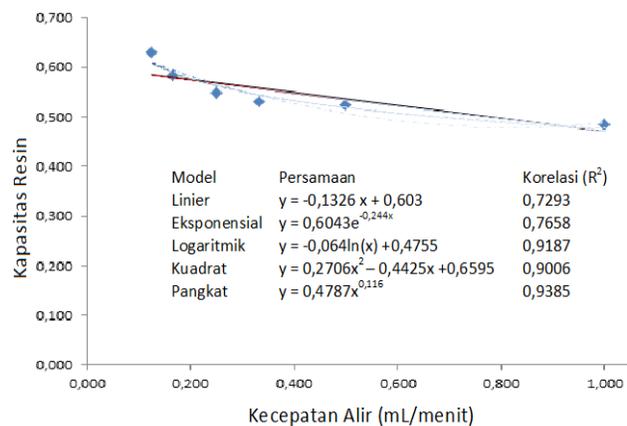
Hasil penentuan kapasitas resin dalam berbagai kecepatan alir diperlihatkan oleh Tabel 3.1. Dari tabel, terlihat bahwa meningkatnya kecepatan alir tahap *loading* menyebabkan kapasitas resin menurun. Hal ini disebabkan oleh kecepatan alir tinggi atau waktu tinggal dalam kolom yang rendah mengurangi kesempatan ion logam bereaksi dengan gugus fungsi negatif pada permukaan resin menggantikan ion H^+ , yang pada akhirnya mengurangi kapasitas resin.

Tabel 3.1 Pengaruh kecepatan alir terhadap kapasitas resin

Kecepatan alir (mL/menit)	Kapasitas Resin = $\frac{\text{mol ion yang teradsorpsi}}{\text{Mol ion mula-mula}}$
0,125	0,630
0,167	0,583
0,250	0,549
0,333	0,532

0,500	0,524
1,000	0,485

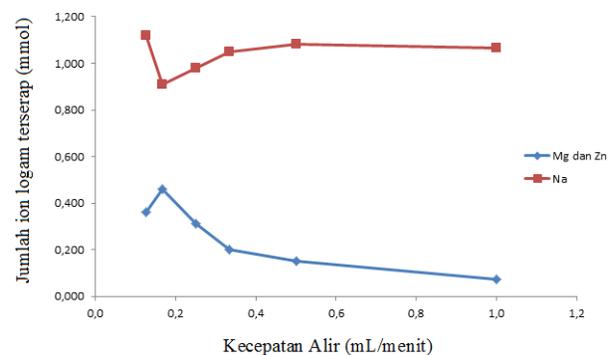
Gambar 3.1 memperlihatkan hubungan antara kapasitas resin dengan kecepatan alir yang dibuat dalam berbagai model matematika. Dari hasil permodelan, terlihat bahwa korelasi (R^2) antara kecepatan alir dengan kapasitas resin pada fungsi pangkat (kapasitas resin = $0,0957 \times (\text{laju alir})^{0,116}$) mempunyai korelasi (R^2) terbesar, 93,85%. Ini menunjukkan bahwa model ini mempunyai peluang terbesar sebagai model matematika hubungan antara kapasitas resin dengan laju alir pada rentang laju alir 0,1 sampai dengan 1 mL/menit. Dua model yang lain yang memiliki korelasi lebih besar dari 90% adalah, logaritmik (91,87%), dan kuadrat (90,06%).



Gambar 3.1 Kapasitas resin dalam berbagai kecepatan alir

Secara umum, jumlah ion logam Mg^{2+} dan Zn^{2+} yang terserap berkurang dengan bertambahnya kecepatan alir atau berkurangnya waktu tinggal dalam kolom penukar ion, sedangkan ion Na^+ mengalami hal yang sebaliknya (Gambar 3.2). Hal ini

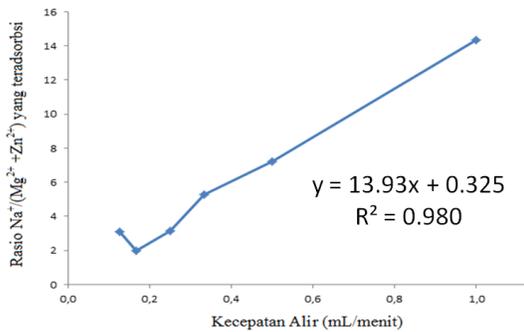
bisa disebabkan karena ion logam bermuatan +2 seperti ion logam Mg^{2+} dan Zn^{2+} memerlukan dua gugus fungsi negatif pada resin untuk menetralisasi muatannya (berada pada keadaan yang paling stabil). Posisi gugus fungsi negatif pada resin belum tentu teratur dan berdekatan atau pada jarak yang masih memungkinkan untuk berinteraksi elektrostatik dengan muatan positif dari ion logam sehingga dibutuhkan waktu yang lebih lama untuk ion Mg^{2+} dan Zn^{2+} bertemu dengan kedua gugus fungsi. Oleh karena itu, makin lambat kecepatan alir, makin banyak ion Mg^{2+} dan Zn^{2+} yang teradsorpsi. Sebaliknya, ion Na^+ memerlukan satu gugus fungsi negatif untuk menetralisasi muatannya sehingga waktu yang dibutuhkan untuk berikatan dengan gugus fungsi negatif dapat berlangsung lebih cepat. Karena proses netralisasi ion Na^+ dapat berlangsung lebih cepat, pada kecepatan alir yang lebih tinggi ion ini lebih banyak teradsorpsi.



Gambar 3.2 Jumlah ion logam yang teradsorpsi (mmol) pada permukaan resin dalam berbagai kecepatan alir

Lebih lambatnya ion logam Mg^{2+} dan Zn^{2+} teradsorpsi dibandingkan dengan ion logam Na^+ diperlihatkan pula oleh Gambar

3.3. Pada gambar tersebut, terlihat rasio ion Na^+ terhadap jumlah ion Mg^{2+} dan Zn^{2+} yang teradsorpsi pada permukaan resin meningkat dengan meningkatnya kecepatan alir. Hal ini memperkuat argumen bahwa ion logam Mg^{2+} dan Zn^{2+} membutuhkan waktu yang lebih lama untuk dapat berikatan dengan gugus fungsi negatif pada resin.



Gambar 3.3 Rasio $\text{Na}^+ / (\text{Mg}^{2+} + \text{Zn}^{2+})$ yang teradsorpsi pada resin pada berbagai kecepatan alir

SIMPULAN

Banyaknya ion logam yang teradsorpsi pada permukaan resin atau kapasitas resin dipengaruhi oleh kecepatan alir tahap *loading*. Meningkatnya kecepatan alir menyebabkan kesempatan ion logam untuk berikatan atau berpasangan dengan gugus fungsi negatif pada permukaan resin untuk menggantikan ion H^+ berkurang sehingga kapasitas resin menurun dengan bertambahnya kecepatan alir. Untuk menggambarkan hubungan antara laju kecepatan alir, diperoleh tiga model matematika dengan korelasi lebih besar dari 90%. Karena ditemukan tiga model matematika, perlu dilakukan kajian yang mendalam mengenai model yang paling tepat

untuk menggambarkan hubungan antara kecepatan alir dan kapasitas resin.

Kecepatan alir yang rendah (waktu tinggal dalam kolom yang tinggi) memberi kesempatan kepada ion Mg^{2+} dan Zn^{2+} untuk berikatan dengan dua gugus fungsi negatif pada resin sehingga makin lambat kecepatan alir, makin banyak kedua ion logam ini yang teradsorpsi. Dengan bertambahnya kecepatan alir, ion Na^+ lebih banyak yang teradsorpsi karena ion ini dapat berikatan lebih cepat dengan satu gugus fungsi negatif dibandingkan dengan ion Mg^{2+} dan Zn^{2+} yang harus berikatan dengan dua gugus fungsi negatif pada resin. Hal ini juga menjelaskan mengapa rasio ion $\text{Na}^+ / (\text{Mg}^{2+} + \text{Zn}^{2+})$ lebih besar dari dua dan meningkat dengan meningkatnya kecepatan alir.

DAFTAR PUSTAKA

- Garcia, N., Moreno, J., Cartmell, E., Rodriguez-Roda, I., Judd, S. 2013. "The Cost and Performance of an MF-RO/NF-RO Plant for Metal Removal, Desalination", 309, 181–186.
- Kassman, Hakan, Brostrom, Markus, Berg, Magnus, Amand, Lars-Erik. 2011. "Measures to reduce Chlorine in Deposits: Application in a Large-Scale Circulating Fluidised Bed Boiler Firing Biomass, Fuel", 90, 1325–1334.
- Luo, Fan, Xie Jiakai, Dong, Bin, Jiang, Shengjian (2012), Scaling tendency of boiler feedwater without desiliconization treatment, Desalination, 302, 50–54.
- Tlili, M.M., Rousseaub, P., Ben Amora, M., Gabriellib, C. 2008. "An

- Electrochemical Method to Study Scaling by Calcium Sulphate of a Heat Transfer Surface, Chem. Eng.” Sci, 63, 559-566.
- Vainikka, Pasi, Enestam, Sonja, Silvennoinen, Jaani, Taipale, Raili, Yrjas, Yrjas, Patrik, Frantsi , Ari, Hannula, Janne, Hupa Mikko. 2011. “Bromine as an Ash Forming Element in a Fluidised Bed Boiler Combusting Solid Recovered Fuel”, Fuel, 90, 1101–1112.
- Venkatesan, Anand, Wankat, Phillip C. 2012. “Desalination of The Colorado River Water: a Hybrid Approach, Desalination”, 286, 176–186.