

APLIKASI BERBAGAI JENIS ADSORBEN PADA PENGOLAHAN AIR ASAM TAMBANG SINTETIK SKALA MINI PLANT

¹Subriyer Nasir, ²Dwi Sunu Permatahati, ³Oktarina Musdalipah, ⁴Eddy Ibrahim, dan ⁵A. Taufik Arief

^{1,2,3}Laboratorium Teknik Pemisahan Jurusan Teknik Kimia – Universitas Sriwijaya

^{4,5}Jurusan Teknik Pertambangan - Universitas Sriwijaya

Jl. Palembang Prabumulih Indralaya 30662

Email: subriyer@unsri.ac.id

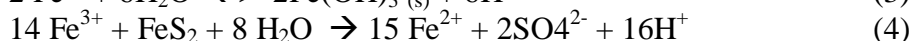
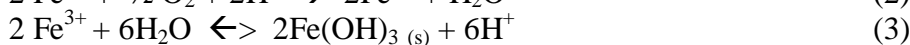
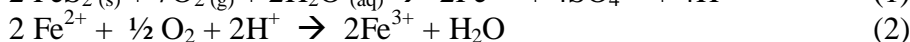
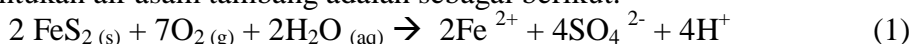
Abstrak. Pengolahan air asam tambang sintesis dengan memanfaatkan abu terbang batubara, tanah diatom dan abu sekam padi sebagai adsorben yang diikuti dengan pengolahan menggunakan metode sand filtrasi, ultrafiltrasi dan reverse osmosis. air asam tambang sintetik dibuat dengan variasi pH 3; 5; dan 4. Persentase kenaikan pH karena pemakaian masing-masing adsorben dan penurunan kadar ion besi, mangan dan sulfat juga diteliti. Hasil yang diperoleh coal fly ash merupakan adsorben yang paling efektif dalam menaikkan pH dan menurunkan EC serta ion logam dari air asam tambang sintetik. Persentase kenaikan pH sebesar 97,40%, persentase penurunan EC 96,71%, dan persentase penurunan ion logam mangan, besi, sulfat tertinggi berturut-turut adalah 99,1%, 98,4%, dan 99,7% serta prosentase perolehan air (WRP) sebesar 75%.

Kata kunci: Air Asam Tambang, Abu Terbang, Abu Sekam Padi, Diatomit, Ultrafiltrasi, dan Reverse Osmosis

1. Pendahuluan

Dampak negatif dari industri pertambangan terhadap lingkungan salah satunya adalah adanya air asam tambang. Metode pengolahan air asam tambang yang banyak dilakukan di Indonesia adalah dengan penambahan kapur, yang salah satu kekurangannya adalah biaya yang cukup tinggi dan perlu adanya pengolahan lanjutan terhadap sedimentasi persenyawaan kapur didasar kolam pengolahan. Penelitian ini mencoba memanfaatkan berbagai adsorben yang murah (low-cost) dan kebanyakan merupakan limbah padat seperti abu terbang batubara, tanah diatom (diatomit), dan abu sekam padi yang dirangkai seri dengan unit pengolahan sand filtrasi, ultrafiltrasi, dan reverse osmosis.

Air asam tambang atau *acid mine drainage* (AMD) terbentuk karena kegiatan pertambangan disebabkan oleh mineral-mineral sulfida terutama *Pyrite* (FeS_2) yang terkandung dalam batubara (Skousen, 1998). Mineral sulfida akan bereaksi dengan oksigen dan air menghasilkan senyawa sulfat yang dapat menurunkan pH dan dapat meningkatkan konsentrasi logam terlarut seperti Al, Fe dan Mn dalam air. Tingkat keasaman yang terbentuk pada air asam tambang mencapai 2 sampai 4. Reaksi umum pembentukan air asam tambang adalah sebagai berikut.



Diatomit merupakan material yang berasal dari proses sedimen batu-batuan yang terdiri dari fosil-fosil plankton dalam samudra dan laut. Diatomit mempunyai porositas dan kandungan silika yang tinggi serta densitas dan koefisien konduktivitas yang rendah. Diatomit banyak diaplikasikan sebagai adsorben, filter, support katalis, dan material insulasi. Pemakaian diatomit dan mangan oksida dapat menurunkan logam berat dari limbah cair (Khraisheh, 2004). Filter keramik monolith yang dibuat dari diatomit mempunyai sikat mekanis yang baik (Šaponjić, 2015). Komposit karbon yang disalut dengan diatomit mampu digunakan untuk menghilangkan ion Pb^{2+} dan Ni^{2+} dari larutan (Dobor, et al. 2015). Diatomit juga memperlihatkan sejumlah pori yang besar dengan diameter sekitar $1 \mu m$ dan distribusi pori yang baik (Alyosef, et al. 2014). Studi oleh Xua, et al. (2015) menunjukkan bahwa diatomit alam merupakan adsorben yang cukup efektif untuk pretreatment sistem NF untuk defluorinasi fluoride. Selain itu diatomite juga dapat digunakan sebagai katalis heterogen untuk menghasilkan biodiesel dari limbah minyak sayur (Modiba et al. 2015).

Coal fly-ash merupakan limbah dari pembakaran batubara yang berasal dari *top product*. Abu terbang batubara ini tersusun oleh unsur silika, besi, aluminium, dan sebagian kecil unsur-unsur kalsium, kalium, natrium, dan titanium. Unsur-unsur ini menjadi penyusun mineral abu terbang batubara seperti *quartz* (SiO_2), *mullite* ($Al_6Si_2O_{13}$), *hematite* (Fe_2O_3), dan *magnetite* (Fe_3O_4). Coal fly-ash dapat digunakan sebagai adsorben untuk gas dan limbah cair (Blissett & Rowson 2012), adsorben yang murah untuk menghilangkan ion logam dari limbah lindi padat rumah tangga (Mohan & Gandhimathi, 2009), kation Pb^{2+} , Zn^{2+} dan Cr^{3+} (Papandreou, et al 2011), kation Pb^{2+} dan Zn^{2+} dari limbah cair (Visa, et al. 2012).

Abu sekam padi merupakan hasil pembakaran sekam padi pada suhu $500^{\circ}C$ dalam keadaan amorf. Sekam padi mengandung silika sekitar 18-22% (Luh, 1991). Namun setelah dijadikan abu, kandungan silika akan meningkat menjadi $> 90\%$, silika banyak digunakan sebagai adsorben. Disamping komponen utama silika, dalam abu sekam padi juga terdapat senyawa lain seperti CaO , MgO , Al_2O_3 , NaO , SiO_2 , K_2O , Na_2O , and Fe_2O_3 yang dapat diaplikasikan sebagai adsorben (Hwang & Huynh 2015), semen (Shan Bie, et al. 2016), dan untuk penghilangan ion Cr^{6+} dari larutannya. (Georgieva, et al, 2015)

Membran ultrafiltrasi dan reverse osmosis merupakan jenis membran dengan *driving force* perbedaan tekanan. Prinsip dasarnya adalah *feed* akan mengalir menuju membran dengan tekanan menghasilkan dua aliran yaitu permeat dan retentat, apabila ukuran molekul lebih kecil dari ukuran pori membran maka molekul akan terdorong oleh tekanan masuk ke aliran permeat sedangkan ukuran molekul yang lebih besar dari pori akan tertahan menjadi aliran retentat. Keuntungan dari penggunaan membran sebagai metode pemisahan antara lain biaya yang rendah, hemat energi, menghasilkan produk yang berkualitas, teknologinya bersih, ramah lingkungan, mudah dioperasikan dan membran dapat dirancang sesuai kebutuhan.

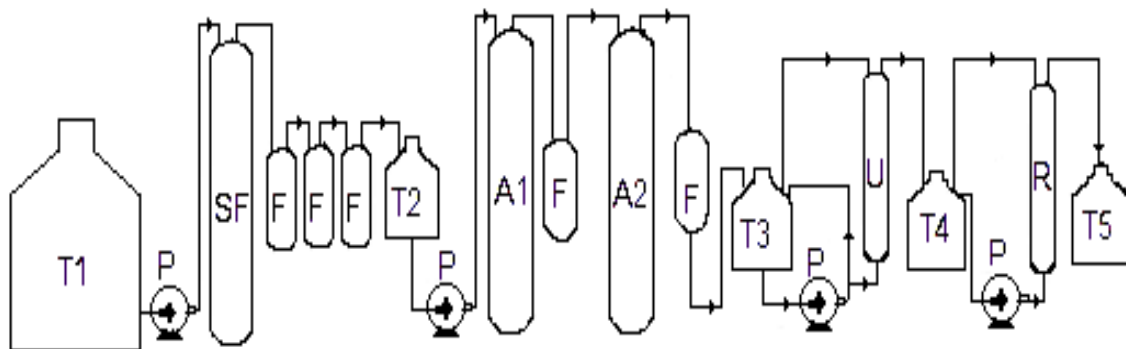
Ultrafiltrasi (UF) merupakan pemisahan dengan membran berpori yang dapat memisahkan air dari padatan mikro yang berasal dari molekul besar dan koloid dengan ukuran pori rata-rata $10-1000 \text{ \AA}$. Modul UF dapat dijumpai dalam bentuk tubular, plate and frame dan spiral wound. Aplikasi UF banyak dijumpai pada electrocoat paint, produksi keju, klarifikasi jus buah, pemisahan emulsi minyak dan air, pemurnian air, produksi enzim dan lain-lain.

Berbagai penelitian mengenai UF dijumpai dalam literatur (Vela et al 2007; Shao et al 2009). Shao et-al telah menggabungkan UF dan Reverse Osmosis (RO)

untuk mengolah air asam dari tambang tembaga dan menyimpulkan bahwa kombinasi UF dengan RO cukup efektif untuk menghilangkan suspended solid, bakteri dan koloid sehingga UF dapat digunakan untuk menyiapkan air umpan RO dengan SDI dan turbidity rendah (Nasir, S dkk 2014).

2. Metodologi

Alat yang digunakan adalah membran Reverse Osmosis, Ultrafiltrasi, kolom FRP untuk sand filter dan adsorben, Filter Housing Clear, pompa, pressure gauge, flowmeter, pipa PVC, Selang, Cincin Selang, Tanki 550 L dan 220 L, Neraca Analitis, pH Meter, TDS Meter, EC meter, dan Spektrofotometri UV-200RS. Bahan yang digunakan adalah air asam tambang sintetik yang dibuat dengan melarutkan H_2SO_4 , $FeSO_4 \cdot 7H_2O$, $MnSO_4 \cdot H_2O$ dan $Al_2(SO_4)_3 \cdot 18H_2O$ dalam komposisi tertentu sehingga menyerupai air asam tambang asli yang berasal dari lokasi penambangan batu bara PTBA Tanjung Enim (Nasir, et al. 2013), abu sekam padi, abu terbang batubara dan diatomite sebagai adsorben dikeringkan menggunakan sinar matahari dan dihaluskan dengan ukuran partikel $18 \mu m$. Skema rangkaian peralatan ditampilkan pada Gambar 1 (Nasir, et al. 2014)



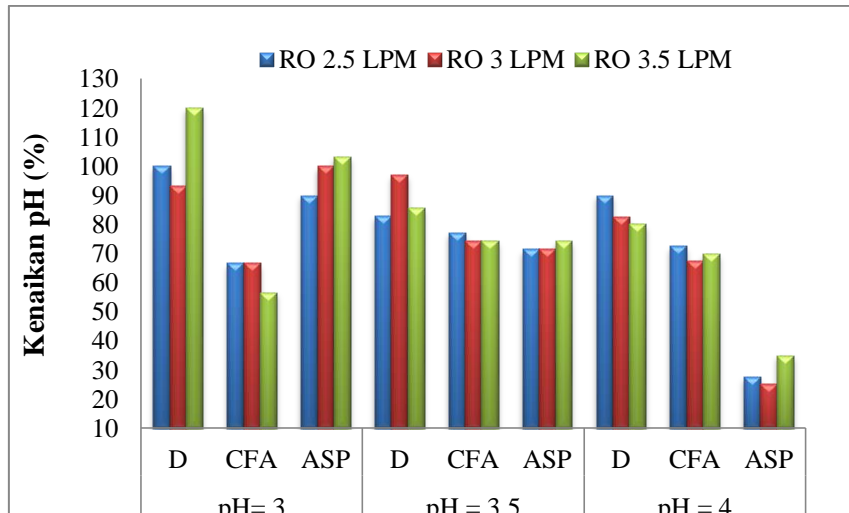
Keterangan : T1 = Tanki Umpan, T2 = Tanki produk Sand Filter, T3 = Tanki Umpan UF, T4 = Tanki UF, T5 = Tanki Produk RO, SF = Kolom sand filter, A = Kolom Adsorben, U = Membran UF, R = Membran RO, F = Filter Spons, P = Pompa

Gambar 1. Rangkaian Alat Penelitian

3. Hasil dan Pembahasan

3.1 Keasaman (pH)

Keasaman merupakan salah satu indikator bahwa pengolahan air buangan air bersih akan memenuhi syarat untuk dibuang ke lingkungan atau dimanfaatkan kembali. Pengolahan tahap pertama pada unit sand filter telah mampu menaikkan pH dari 3-4 menjadi 5.5-6.0. Gambar 2 menampilkan hubungan persentase kenaikan pH terhadap flowrate ultrafiltrasi. Pada flowrate umpan UF sebesar $3 L \cdot m^{-1}$ persentase kenaikan pH berturut turut 88.5% untuk abu sekam padi, 85.7% untuk abu terbang batubara, dan 102.8% untuk tanah diatom.

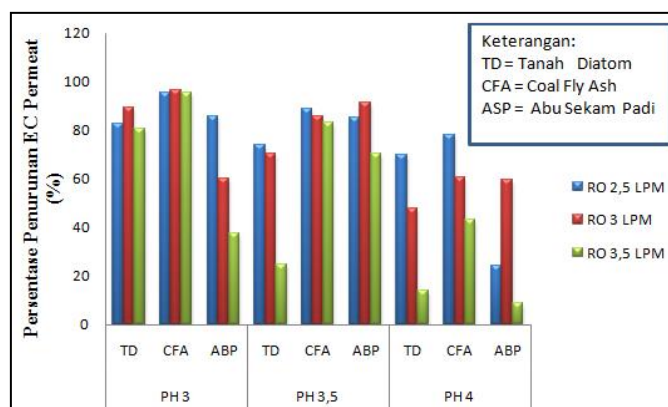


Gambar 2. Persentase kenaikan pH permeat RO

Hal ini dikarenakan adanya silika dan karbon aktif yang berada dalam tabung FRP yang selain dapat mengadsorpsi ion-ion sulfat yang ada dalam sampel juga mampu menurunkan TDS sampel. Pengolahan lanjutan pada kolom adsorben berisi coal fly-ash menyebabkan kenaikan pH hingga 97% pada pH= 3. Coal fly-ash mengandung senyawa kalsium, magnesium, silikat yang dalam bentuk oksidanya akan bereaksi dengan ion OH⁻ membentuk senyawa hidroksida yang akan menetralkan pH sampel. Abu sekam padi mampu menaikkan pH karena mengandung logam alkali dan alkali tanah dalam bentuk senyawa Na₂O dan K₂O serta yang paling dominan adalah senyawa silikat. Diatomit dapat digunakan sebagai adsorben karena mempunyai porositas tinggi dan senyawa penyusunnya Al₂O₃Si (Silimanite) sebesar 85,72% dan SiO₂ (Cristobalite) sebesar 14,28%. Kristal silimanite yang terkandung pada diatomit berbentuk orthorombic dan kristal cristobalite dalam bentuk tetragonal (Nasir, 2015). Salah satu kelemahan diatomit bila digunakan sebagai adsorben liquid adalah cenderung menjadi kompak

3.2 Electrical Conductivity (EC)

Kemampuan air untuk menghantarkan arus listrik yang dinyatakan dalam $\mu\text{mhos/cm}$ atau $\mu\text{ simens/cm}$ ($\mu\text{S/cm}$) disebut Electrical conductivity. Berdasarkan gambar dapat diketahui bahwa adsorben yang paling optimum untuk mengendalikan nilai EC pada seluruh sampel pH adalah coal fly-ash dengan persentase penurunan hingga 96.7%. Jika dibandingkan dengan tanah diatom yang hanya sebesar 91.5% dan abu sekam padi yang sebesar 85%. Hal ini menunjukkan bahwa daya adsorpsi coal fly-ash jauh lebih baik dibandingkan kedua adsorben lainnya.



Gambar 3. Perbandingan Kinerja Adsorben Terhadap Persentase Penurunan EC Pada permeat RO

3.3 Penurunan Kandungan ion Besi, Mangan dan Sulfat

Tabel 1 mengilustrasikan prosentase penurunan kadar ion besi, mangan dan sulfat dalam air asam tambang sintetik. Semakin naik pH air asam sintetik berakibat semakin baik kinerja adsorben dalam menyerap ion besi, mangan dan sulfat. Coal fly ash merupakan adsorben paling optimal untuk menghilangkan ion besi, mangan dan sulfat diikuti oleh diatomit dan abu sekam padi.

Tabel 1. Perbandingan Prosentase Penurunan Ion Besi, Mangan dan Sulfat

Mangan									
Permeat RO (L.Menit. ⁻¹)	pH= 3			pH = 3.5			pH = 4		
	D	CFA	ASP	D	CFA	ASP	D	CFA	ASP
2.5	98.0	98.6	98.0	86.5	99.5	98.0	97.3	99.4	99.4
3.5	95.1	96.9	91.4	99.5	98.6	98.9	99.9	94.9	95.3
Rata-rata	96.5	97.8	94.7	93.0	99.1	98.5	98.6	97.2	97.4
Besi									
Permeat RO (L.Menit. ⁻¹)	pH = 3			pH = 3.5			pH = 4		
	D	CFA	ASP	D	CFA	ASP	D	CFA	ASP
2.5	99.7	98.2	99.4	98.9	98.5	98.1	97.1	99.1	99.2
3.5	99.7	98.7	98.3	99.8	98.4	99.8	98.8	98.5	99.8
Rata-rata	99.7	98.3	98.9	99.4	98.4	98.9	97.9	96.5	99.5
Sulfat									
Permeat RO (L.Menit. ⁻¹)	pH = 3			pH = 3.5			pH = 4		
	D	CFA	ASP	D	CFA	ASP	D	CFA	ASP
2.5	99.8	96.5	99.0	89.4	99.6	97.3	98.9	99.9	96.8
3.5	99.0	95.9	96.8	99.9	99.8	98.9	97.2	96.6	97.2
Rata-rata	99.4	96.2	97.9	94.7	99.7	98.1	98.05	98.3	97.0

Keterangan : D= Diatomit, CFA = Coal Fly-Ash, ASP = Abu Sekam Padi

3.4 Prosentase Perolehan Air (Water Recovery Percentage)

Pada Tabel 2 terlihat bahwa WRP dari ketiga adsorben konstan terhadap perubahan waktu. Dari gambar terlihat bahwa semakin tinggi flowrate maka semakin besar nilai WRP. Rendahnya persentase perolehan air lebih disebabkan oleh kemungkinan terjadinya fouling pada permukaan membran (Nasir,2007). Selain itu tekanan operasi RO yang relatif rendah yaitu sekitar 10 kg/m^2 juga berpengaruh terhadap laju alir permeat sehingga water recovery juga rendah. Dalam operasi RO semakin tinggi tekanan operasi pompa semakin meningkat laju alir permeat tetapi hal ini akan berakibat naiknya nilai EC permeat. Umumnya persentase perolehan air bersih pada sistem RO berkisar antara 75 sampai 95% tergantung pada jenis air umpan. Secara umum peningkatan transmembrane pressure akan meningkatkan fluks permeat. Tetapi fluks akan turun dengan meningkatnya waktu operasi. Tabel 1 memperlihatkan bahwa coal fly- ash sebagai adsorben akan menghasilkan prosentase perolehan air yang lebih tinggi dibanding abu sekam padi dan diatomit.

Tabel 2. Prosentase Perolehan Air Bersih berbagai adsorben dan kombinasinya pada berbagai laju alir selama waktu operasi 60 menit

No	Jenis Adsorben	Laju Alir permeat (L.menit ⁻¹)	Water Recovery (%)
1	Coal Fly Ash	2.5	45
		3.0	60
		3.5	75
2	Abu Sekam Padi	2.5	44
		3.0	55
		3.5	70
3	Diatomit	2.5	48
		3.0	57
		3.5	74
3	Diatomit/Abu Sekam Padi	2.5	42
		3.0	48
		3.5	74
4	Coal Fly-Ash/ Abu Sekam Padi	2.5	56
		3.5	71

4. Kesimpulan dan Saran

Jenis adsorben yang paling efektif untuk pengolahan air asam tambang sintetik adalah abu terbang batubara (*coal fly-ash*) diikuti oleh abu sekam padi dan diatomit. Persentase perolehan air bersih yang didapatkan untuk penggunaan adsorben *coal fl-ash* adalah 75% yang konstan selama satu jam operasi. Coal fly ash juga mampu menurunkan 99,9% ion sulfat. Perlu dilakukan penelitian lanjutan dengan pH air asam tambang yang lebih rendah dan waktu pengolahan yang lebih lama serta pengaruh kombinasi berbagai adsorben dalam plant pengolahan air asam tambang. Selain itu, pengaruh unsur-unsur lain yang terdapat pada air asam tambang seperti Cu, Zn dan Pb.

5. Ucapan Terima Kasih

Penulis mengucapkan terima kasih kepada Direktorat Penelitian dan Pengabdian Masyarakat, Dirjen Dikti melalui skema Penelitian Unggulan Perguruan Tinggi Negeri Universitas Sriwijaya tahun 2014/2015 yang telah mendanai penelitian ini.

Daftar Pustaka

- Blissett, R.S, N.A. Rowson (2012), A review of the multi-component utilisation of coal fly ash, *Fuel*, 97, pp 1–23.,
- Chao-Lung Hwang, Trong-Phuoc Huynh (2015) Investigation into the use of unground rice husk ash to produce eco-friendly construction bricks, *Construction and Building Materials*, 93, pp 335-341
- Dobor, J., K.Perényi, I.Varga, M.Varga (2015), A new carbon–diatomite earth composite adsorbent for removal of heavy metals from aqueous solutions and a novel application idea, *Microporous and Mesoporous Materials*, 217, pp 63-70
- Georgieva, V.G., Mariana P. Tavlieva, Svetlana D. Genieva, Lyubomir T. Vlaev (2015) ,Adsorption kinetics of Cr(VI) ions from aqueous solutions onto black rice husk ash *Journal of Molecular Liquids*, 208, pp 219-226
- H. Hadjar, B. Hamdi, C.O. Ania (2011), Adsorption of p-cresol on novel diatomite/carbon composites, *Journal of Hazardous Materials*, 188, 1–3, pp 304-310
- Skousen, J.G., P.F. Ziemkeewicz (1996). Acid mine drainage control and treatment. 2nd edition. National Research Center for Coal and Energy, West Virginia University, Morgantown, West Virginia.
- Šaponjić, A., M. Stanković, J.Majstorović, B.Matović, S.Ilić, A.Egelja, M.Kokunešoski (2015), Porous ceramic monoliths based on diatomite, *Ceramics International*, 41, 8, pp 9745-9752
- Majeda A.M. Khraisheh, Y. S. Al-degs, W. A.M McMinn (2004), Remediation of wastewater containing heavy metals using raw and modified diatomite, *Chemical Engineering Journal* 99, 2, pp 177–184
- Modiba, E., C. Enweremadu, H. Rutto (2015), Production of biodiesel from waste vegetable oil using impregnated diatomite as heterogeneous catalyst, *Chinese Journal of Chemical Engineering*, 23, 1, pp 281–289,
- Mohan, S., R. Gandhimathi, (2009), Removal of heavy metal ions from municipal solid waste leachate using coal fly ash as an adsorbent, *Journal of Hazardous Materials*, 169, 1–3, pp351–359
- Nasir, S (2010), An Empirical Model For Build-Up Of Sodium And Calcium Ions In Small Scale Reverse Osmosis, *Makara, Teknologi*, Vol 14, No. 2, 65-72, Universitas Indonesia
- Nasir, S., E. Ibrahim, A.T. Arief (2014), Perancangan Plant Pengolahan Air Asam Tambang dengan Metoda Sand Filter, Ultrafiltrasi dan Reverse Osmosis, *Prosiding SNAPP 2014*, Unisba, Bandung
- Papandreou, A.D., C.J. Stournaras, D. Panias, I. Paspaliaris, (2011), Adsorption of Pb(II), Zn(II) and Cr(III) on coal fly ash porous pellets, *Minerals Engineering*, 24, pp 1495–1501
- Visa, M., L.Isac, A. Duta (2012), Fly ash adsorbents for multi-cation wastewater treatment, *Applied Surface Science* , 258, 17, pp 6345–6352

Xua, L., X.Gao, Z. Li, C.Gao (2015), Removal of fluoride by nature diatomite from high-fluorine water: An appropriate pretreatment for nanofiltration process, *Desalination*, 369, pp 97–104