

## Penyingkiran Ammonia dan Logam Berat daripada Air Sisa Industri Automotif Menggunakan Pasir Terubah Suai Secara Kimia (Heavy Metals Removal from Automotive Wastewater using Chemically Modified Sand)

ABDUL FATTAH ABU BAKAR, SITI NATHASA MD BARKAWI, MARLIA MOHD. HANAFIAH,  
LEE KHAI ERN & AZHAR ABDUL HALIM\*

### ABSTRAK

*Keberkesanan rawatan air sisa industri automotif ditentukan dengan menggunakan kaedah penjerapan turus. Peratusan penyingkiran ammonia dan logam berat terpilih telah dikaji menggunakan pasir biasa dan pasir terubah suai secara kimia sebagai bahan penjerap. Dua model matematik iaitu Model Thomas serta Model Yoon-Nelson telah digunakan untuk menentukan kapasiti penjerapan maksimum ammonia. Peratusan penyingkiran ammonia menunjukkan pasir terubah suai secara kimia mencatatkan julat peratusan penyingkiran yang lebih tinggi iaitu 43.68% hingga 96.55% berbanding pasir biasa yang mencatatkan julat 0% hingga 89.66%. Logam berat zink, mangan, kromium, kuprum, arsenik, nikel, kobalt dan ferum mencatatkan peratusan penyingkiran antara 93% hingga 100% apabila menggunakan pasir terubah suai secara kimia manakala pasir biasa mencatatkan julat peratusan penyingkiran daripada 0.8% hingga 100%. Keputusan analisis menggunakan Model Thomas menunjukkan kapasiti penjerapan maksimum,  $q_0$  ammonia menggunakan pasir terubah suai secara kimia (8.80 mg/g) adalah empat kali lebih tinggi daripada pasir biasa (2.57 mg/g) manakala masa bolos,  $t_{0.5}$  bahan penjerap yang ditentukan menggunakan Model Yoon dan Nelson mencatatkan masa tertinggi bagi pasir terubah suai secara kimia iaitu 30.18 min berbanding 9.57 min bagi pasir biasa. Kajian ini menunjukkan peratusan penyingkiran dan kapasiti penjerapan ammonia dan logam berat terpilih iaitu zink, mangan, kuprum, arsenik, nikel, kobalt dan ferum lebih tinggi bagi turus pasir terubah suai secara kimia berbanding pasir biasa.*

*Kata kunci: Ammonia; logam berat; pasir; penjerapan*

### ABSTRACT

*The effectiveness of the automotive industry wastewater treatment has been determined by fixed-bed adsorption study. Two mathematical models which are Thomas model and Yoon and Nelson model were used to determine the maximum adsorption capacity of ammonia. Percentage of removal of ammonia using chemically modified sand indicate the removal percentage range of 43.68% to 96.55% compared to raw sand, which indicate the range of 0% to 89.66%. Zinc, manganese, chromium, copper, arsenic, nickel, cobalt and iron have been recorded to give removal percentage of 93% to 100% by using chemically modified sand compared to the raw sand which recorded the range of removal percentage of 0.8% to 100%. The analysis using Thomas model shows the maximum adsorption capacity;  $q_0$  of ammonia using chemically modified sand (8.80 mg/g) was four times higher than normal sand (2.57 mg/g). Meanwhile, the time for 50% adsorbent to breakthrough,  $t_{0.5}$  determined by Yoon and Nelson model showing that the chemically modified sand obtained the time of 30.18 min compared to raw sand which is 9.57 min. This study indicated that the removal percentage and the adsorption capacity of ammonia and the selected heavy metals such as zinc, manganese, copper, arsenic, nickel, cobalt and iron were higher in chemically modified sand compared to pristine sand fix-bed column.*

*Keywords: Adsorption; ammonia; heavy metal; sand*

### PENDAHULUAN

Air sisa industri merupakan salah satu punca pencemaran sumber air apabila ia tidak diolah dengan sempurna dan dilepaskan pada kadar yang berlebihan secara terus ke persekitaran. Oleh itu, ia perlu melalui rawatan tertentu bagi memastikan efluen yang terhasil memenuhi piawaian yang dibenarkan. Tujuan utama air sisa industri dirawat adalah bagi membolehkan efluen yang terhasil daripada proses perindustrian dibuang tanpa membahayakan

kesihatan manusia atau memberi kesan negatif dan memudaratkan persekitaran semula jadi (Aziz et al. 2008; Halim et al. 2015; O'Reilly 2000).

Secara umumnya, kaedah rawatan air sisa industri yang sering digunakan adalah menggunakan gabungan kaedah rawatan secara fizikal, kimia dan juga biologi. Kaedah rawatan ini dapat menjamin keseluruhan bahan pencemar yang berlainan jenis seperti pencemar organik dan bukan organik disingkirkan semaksimalnya melalui

proses rawatan yang digunakan. Walau bagaimanapun, terdapat kaedah rawatan yang memerlukan kos yang tinggi dan ini tidak sesuai diaplikasikan dalam bidang perindustrian. Banyak kaedah rawatan telah dibangunkan untuk menyingkirkan logam-logam berat daripada air sisa (Abdul Fattah et al 2015; Gupta & Suhas 2009). Kaedah penjerapan menggunakan bahan penjerap digunakan dengan meluas dalam menyingkirkan bahan pencemar dalam merawat air sisa industri kerana keupayaan menjerap yang tinggi, mudah dikendalikan, kepelbagaian bahan penjerap dan kos yang lebih rendah. Penjerapan juga merupakan salah satu kaedah yang berkesan dalam menyingkirkan warna, bau dan bahan-bahan pencemar organik daripada air sisa (Han et al. 2011; Zhang et al. 2006).

Antara jenis bahan penjerap yang selalu digunakan dalam merawat air sisa adalah seperti karbon teraktif, zeolit dan bahan penjerap yang berkos rendah seperti batu kapur dan sekam padi (Halim et al. 2010). Pasir adalah salah satu bahan penjerap berkos rendah yang telah digunakan dalam proses penjerapan bagi rawatan air dan air sisa bagi menyingkirkan mikroorganisma dan merawat air sisa yang mengandungi logam berat (Benjamin et al. 1996; Han et al. 2006; He et al. 2010; Hsu et al. 2008). Pasir terubah suai secara kimia juga pernah dilaporkan mampu menyingkirkan ammonia daripada larutan akuas sehingga 97% (Azhar & Aimi Shaza 2012).

Penjerapan turus isian tetap boleh digunakan untuk merawat air sisa secara berterusan dengan kadar aliran yang tertentu bergantung kepada saiz turus dan kepekatan bahan pencemar dalam air sisa. Kaedah ini telah digunakan dengan meluas dalam banyak proses kawalan pencemaran seperti penyingkiran bahan pencemar ionik oleh bahan penjerap penukar ion atau penyingkiran bahan pencemar organik dengan menggunakan penjerap karbon teraktif sebagai isian turusnya (Karunarathne & Amarasinghe 2013). Dua model matematik iaitu model Thomas dan Yoon-Nelson selalu digunakan untuk menganalisis prestasi turus dalam penyingkiran bahan pencemar seperti ammonia dan logam berat dari larutan akuas. Model Thomas diterbitkan daripada model masa servis kedalaman dasar (BDST) (Kavak & Öztürk 2004) manakala model Yoon-Nelson berasaskan kepada andaian bahawa kadar pengurangan dalam kebarangkalian penjerapan bagi setiap molekul bahan dijerap adalah berkadar dengan kebarangkalian penjerapan bahan dijerap dan kebarangkalian bahan dijerap yang membolosi menerusi permukaan bahan penjerap (Kavak & Öztürk 2004). Penggunaan model penjerapan turus ini memberi data yang berguna bagi reka bentuk peralatan rawatan air dan air sisa. Oleh yang demikian, kajian ini dijalankan untuk menghasilkan satu bahan penjerap baru yang berkos rendah daripada pasir yang terubah suai secara kimia dan mengkaji keberkesannya dalam rawatan air sisa industri automotif secara penjerapan turus isian tetap.

## BAHAN DAN KAEDAH

### SAMPEL AIR SISA INDUSTRI AUTOMOTIF

Persampelan air sisa industri automotif telah dijalankan di Oriental Summit Industries Sdn Bhd yang terletak di Shah Alam, Selangor, Malaysia. Syarikat ini adalah pengeluar produk automotif seperti komponen kenderaan, aksesori kenderaan dan juga alat ganti kenderaan. Ia juga menjalankan khidmat seperti ujian kenderaan, penyelenggaraan dan juga kerja pembaikan ke atas kenderaan automotif.

Sampel air sisa industri automotif yang telah dikumpul di dalam bekas plastik ini dibawa ke makmal lalu diawet menggunakan asid sulfurik pekat untuk memperoleh pH 1-2, kemudian ia disimpan dalam bilik sejuk yang suhunya kurang daripada 4°C.

### PENYEDIAAN BAHAN PENJERAP PASIR

Bahan penjerap pasir disediakan dengan mengeringkan pasir biasa selama beberapa hari di bawah pancaran matahari. Pasir diayak menggunakan pengayak yang bersaiz 10 mm bagi memperoleh saiz pasir yang berdiameter 1000  $\mu\text{m}$  dan ke bawah. Bagi menyediakan pasir yang terubah suai secara kimia, 120 g serbuk natrium alumina dan 120 g butiran natrium hidroksida digunakan. Kemudian, kedua-dua bahan ini dilarutkan dengan 500 mL air suling dan dikacau sehingga larut.

Setelah kesemua bahan kimia larut, ia dituang ke dalam bikar yang telah diisi dengan 500 g pasir. Seterusnya, bikar yang mengandungi pasir berserta campuran larutan kimia tersebut dipanaskan sehingga mendidih pada suhu 100°C selama 1 jam menggunakan ketuhar. Selepas itu, ia dibiarkan semalaman sebelum dibilas dengan air suling dan dibiarkan sehingga kering.

### PENCIRIAN BAHAN PENJERAP PASIR

Pencirian bahan penjerap pasir telah ditentukan dengan menggunakan ujian pembelauan sinar-X dan ujian kapasiti pertukaran kation. Ujian pembelauan sinar-X dilakukan dengan menggunakan alat spektrometer belauan sinar-X dari model D-5000 Siemens. Ujian ini dijalankan untuk menentukan kandungan mineral yang hadir di dalam bahan penjerap baru iaitu pasir terubah suai secara kimia. Manakala, ujian kapasiti pertukaran kation (CEC) ditentukan dengan menggunakan kaedah penukargantian ammonium (Chapman 1965; Rhoades 1982; Thomas 1982) dengan sedikit pengubahsuaian.

### KAJIAN PENJERAPAN TURUS

Kajian penjerapan turus dijalankan dengan menggunakan turus berketinggian 30 cm dan berdiameter 2.5 cm. Larutan sampel air sisa industri automotif dialirkan memasuki turus penjerapan menggunakan pam peristaltik Masterflex untuk mewujudkan tekanan dan memudahkan pengaliran

sampel daripada bawah ke atas dengan kadar aliran sebanyak 10 mL/min selama 1 jam. Hasil penjerapan dikumpul berdasarkan masa yang telah ditentukan iaitu pada minit ke-2, 5, 8, 11, 14, 17, 40, 25, 30, 40, 50 dan 60 masa rawatan. Analisis kandungan ammonia dijalankan menggunakan kaedah Nessler (APHA 1992) dan logam berat terpilih iaitu zink (Zn), mangan (Mn), kromium (Cr), kuprum (Cu), arsenik (As), nikel (Ni), kobalt (Co) dan ferum (Fe) dianalisis dengan data duplikasi menggunakan ICP-MS dengan had pengesanan masing-masing adalah seperti berikut: Zn, 0.2 ppb; Mn, 0.05 ppb; Cr, 0.05 ppb; Cu, 0.1 ppb; As, 0.05 ppb; Ni, 0.05 ppb; Co, 0.05 ppb dan Fe, 1 ppb. Sebagai kawalan kualiti, alat ICP-MS dikalibrasi menggunakan piawai kalibrasi ICP-MS pelbagai unsur sebelum digunakan.

## HASIL DAN PERBINCANGAN

### PENCIRIAN AIR SISA INDUSTRI AUTOMOTIF

Berdasarkan persampelan yang telah dijalankan, pencirian air sisa industri automotif dijalankan menggunakan data yang diambil secara terus semasa persampelan dan juga melalui analisis kimia awal. Analisis kimia awal telah dijalankan bagi menentukan kepekatan awal ammonia dan logam berat yang ada di dalam air sisa industri terbabit. Jadual 1 menunjukkan kandungan ammonia dan logam berat air sisa industri automotif terbabit.

### PENCIRIAN BAHAN PENJERAP PASIR

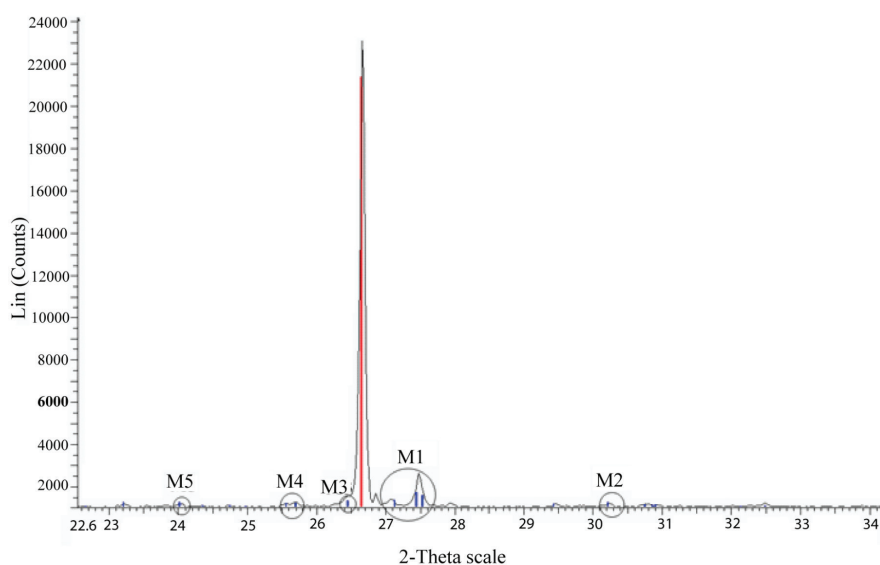
Keputusan ujian pembelauan sinar-X menunjukkan mineral yang hadir pada bahan penjerap baru iaitu pasir terubah suai secara kimia adalah mikrolin dengan formula molekul mineral tersebut adalah  $\text{Na}^+[\text{AlSi}_3\text{O}_8]$  (Rajah 1).

JADUAL 1. Kandungan ammonia dan logam berat dalam air sisa mentah

Parameter	Kepekatan/Bacaan (mg/L)
Ammonia	6.000
Logam Berat	
Zn	2.077
Mn	1.361
Cr	0.018
Cu	0.115
As	0.024
Ni	4.246
Co	0.003
Fe	2.111

Kehadiran  $\text{Na}^+$  yang bertambah terhasil daripada campuran sebatian NaOH yang digunakan. Manakala aluminium (Al) bertambah hasil daripada campuran larutan natrium aluminat semasa penyediaan bahan penjerap ini.

Kehadiran mineral mikrolin ini dapat menambahkan bilangan tapak pertukaran kation dan seterusnya meningkatkan lagi kapasiti pertukaran kation semasa rawatan air sisa industri automotif dijalankan. Sementara itu, ujian CEC yang dijalankan telah menunjukkan nilai CEC bagi bahan penjerap pasir terubah suai secara kimia adalah lebih tinggi berbanding pasir biasa dengan purata bagi nilai CEC pasir terubah suai secara kimia adalah sebanyak 0.05 meq/g berbanding nilai purata bagi CEC pasir biasa iaitu 0.0069 meq/g. Kapasiti pertukaran kation adalah jumlah cas negatif pada tanah yang dapat mengikat ion bercas positif. Permukaan bahan penjerap yang bercas negatif ini akan menjalani proses pertukaran kation atau proses penjerapan kimia dengan ion yang bercas positif dengan semakin tinggi CEC, semakin banyak tapak pertukaran kation terhasil (Camberato 2001; Tschapek et al. 2007).

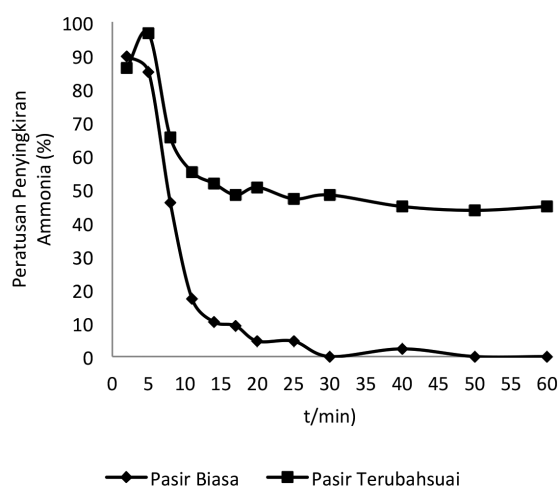


RAJAH 1. Spektrum pembelauan sinar-X Pasir terubah suai secara kimia menunjukkan puncak bagi mineral mikrolin (M1-M5)

Kehadiran mineral baru iaitu mikroline yang membawa ion  $\text{Na}^+$  telah menambahkan tapak pertukaran kation dengan ion bercas positif seperti ion ammonia dan ion logam berat cenderung untuk menjalankan proses pertukaran ion dengan ion  $\text{Na}^+$  tersebut. CEC juga telah meningkat dengan pertambahan keelektronegatifan yang dibawa oleh ion  $\text{Al}^{3+}$  pada pasir terubah suai secara kimia berbanding ion  $\text{Si}^{4+}$  pada pasir biasa. Analisis statistik ujian-t menunjukkan nilai CEC pasir terubah suai secara kimia dan pasir biasa mempunyai perbezaan yang bererti dengan nilai  $p = 0.000$  ( $p < 0.05$ ).

#### KAJIAN PENJERAPAN TURUS

Penjerapan ammonia menggunakan pasir biasa telah menunjukkan julat peratusan penyingkirannya antara 0% hingga 89.66% manakala penjerapan ammonia menggunakan pasir terubah suai telah menunjukkan julat peratusan penyingkiran ammonia yang lebih tinggi iaitu 43% hingga 96.55% selama 60 minit masa rawatan (Rajah 2). Ini menunjukkan pasir terubah suai secara kimia adalah lebih berkesan menyingkirkan ammonia berbanding pasir biasa.



RAJAH 2. Penyingkiran ammonia semasa penjerapan turus menggunakan pasir biasa dan pasir terubah suai secara kimia

Permukaan pasir terubah suai secara kimia yang telah diubah menggunakan natrium aluminat dan natrium hidroksida didapati lebih berupaya penyingkirkan ammonia kerana struktur permukaannya yang mempunyai lebih banyak tapak pertukaran kation yang hadir daripada mineral mikroline. Penyingkiran ion ammonia ( $\text{NH}_4^+$ ) di dalam larutan akues dapat mencapai kapasiti tertinggi apabila tapak pertukaran ion ditukar kepada ion natrium ( $\text{Na}^+$ ) (Wang et al. 2007). Tindak balas pertukaran ion yang berlaku adalah seperti berikut:



dengan P merujuk kepada bahan penjerap; p adalah fasa pepejal; dan aq merujuk kepada fasa akues atau cecair.

Model Thomas yang diformulasikan oleh Thomas (1944) telah digunakan untuk menentukan kapasiti penjerapan maksimum ammonia,  $q_0$ . Model ini ditunjukkan menerusi formula berikut:

$$\ln\left(\frac{C_0}{C_t} - 1\right) = \frac{k_T q_0 m_c}{Q} - k_T C_0 t,$$

dengan  $C_0$  adalah kepekatan awal ammonia (mg/L);  $C_t$  adalah kepekatan pada sela masa tertentu (mg/L);  $k_T$  adalah nilai pemalar Thomas (mL/mg/min);  $Q$  adalah kadar aliran sepanjang rawatan dijalankan (mL/min);  $m_c$  adalah berat bahan penjerap pasir yang digunakan (g). Plot linear  $\ln[(C_0/C_t) - 1]$  melawan masa rawatan ( $t$ ) diguna untuk menentukan nilai  $K_T$  dan  $q_0$  berdasarkan pintasan dan kecerunan plot (Jadual 2). Nilai  $q_0$  pasir biasa dan pasir terubah suai masing-masing adalah 2.57 dan 8.80 mg/g. Ini menunjukkan pasir terubah suai secara kimia mempunyai nilai  $q_0$  yang lebih tinggi dan berkesan menyingkirkan ammonia berbanding pasir biasa.

Model Yoon dan Nelson adalah berdasarkan andaian bahawa kadar pengurangan dalam proses penjerapan adalah berkadar langsung dengan kebarangkalian penjerapan bahan yang dijerap dan kebarangkalian bahan dijerap yang membolosi di atas permukaan bahan penjerap yang digunakan (Yoon & Nelson 1984). Ia ditunjukkan menerusi formula berikut:

JADUAL 2. Parameter yang diperolehi daripada kajian penjerapan turus berdasarkan model Thomas dan Yoon-Nelson

Model penjerapan turus	Pasir biasa	Pasir terubah suai secara kimia
Thomas		
$R^2$	0.8524	0.9442
$K_T$ (mL/mg/min)	0.0434	0.2773
$q_0$ (mg/g)	2.57	9.54
Yoon-Nelson		
$R^2$	0.8797	0.9444
$K_{YN}$	0.0018	0.0107
$t_{0.5}$	8.80	30.18

$$\ln\left(\frac{C}{C_0 - C}\right) = k_{YN}t - t_{0.5}k_{YN},$$

dengan  $C_0$  adalah kepekatan awal ammonia (mg/L);  $C_t$  adalah kepekatan pada sela masa tertentu (mg/L);  $K_{YN}$  adalah nilai pemalar Model Yoon dan Nelson (mL/mg/min); dan  $t_{0.5}$  adalah masa bolos 50% bahan penjerap (minit). Berdasarkan model ini,  $t_{0.5}$  bagi penjerapan ammonia menggunakan pasir biasa dan pasir terubah suai adalah 9.57 min dan 30.18 min. Plot linear dari  $\ln[C_t/(C_0 - C_t)]$  melawan masa rawatan ( $t$ ) digunakan untuk menentukan nilai  $k_{YN}$  dan dari pintasan dan kecerunan plot (Jadual 2).

Kajian penjerapan terhadap logam berat terpilih iaitu zink, mangan, kuprum, kromium arsenik, nikel, kobalt dan ferum mempunyai peratusan penyingkiran antara 93% hingga 100% apabila dirawat menggunakan pasir terubah suai secara kimia (Rajah 3). Manakala peratusan penyingkiran bagi pasir biasa adalah 0.80% hingga 99% bagi pasir biasa (Rajah 3). Peratusan penyingkiran pasir terubah suai secara kimia adalah lebih tinggi berbanding pasir biasa kecuali kromium.

Ion kromium berpotensi untuk membentuk kompleks yang stabil dengan bahan lain menyebabkan ia kurang terjerap pada permukaan pasir. Oleh itu, ia telah menjadi penyumbang kepada peratusan penyingkiran logam berat kromium yang lebih rendah apabila menggunakan pasir terubah suai secara kimia berbanding pasir biasa (Lancashire 2002).

Namun begitu, ion logam lain terjerap melalui proses rawatan ini dengan sangat baik. Ion-ion logam mempunyai potensi ionik yang sangat baik, oleh itu ia amat kuat tertarik kepada bahan penjerap. Ini menjadikan ion logam mudah menjalani proses penjerapan menggunakan bahan penjerap (Ali Awan et al. 2003). Selain itu, peningkatan kapasiti pertukaran kation pada pasir terubah suai secara kimia telah meningkatkan peratusan penyingkiran logam berat di dalam rawatan air sisa industri automotif ini.

Secara keseluruhannya, pasir terubah suai secara kimia adalah berkesan menyingkirkan logam berat. Kaedah penjerapan merupakan salah satu kaedah yang serba boleh dalam menyingkirkan pencemar logam di dalam larutan akues serta mempunyai keupayaan penyingkiran yang tinggi terhadap ion logam walaupun pada kepekatan yang sangat rendah (Elongovan et al. 2008; Sharma et al. 2009).

Berdasarkan perbandingan purata kepekatan selepas rawatan menggunakan pasir terubah suai secara kimia dan pasir biasa dengan Piawai A dan Piawai B Peraturan-Peraturan Kualiti Alam Sekeliling (Effluen Perindustrian) 1979 Pindaan 2009 (EQA 2010) seperti dalam Jadual 3, menunjukkan ammonia dan semua logam berat yang telah menjalani rawatan dalam kajian ini dapat disingkirkan mengikut had pelepasan yang dibenarkan. Manakala, bagi penjerapan pasir biasa, hanya logam berat mangan yang tidak berupaya disingkirkan mengikut piawai yang telah ditetapkan ini.

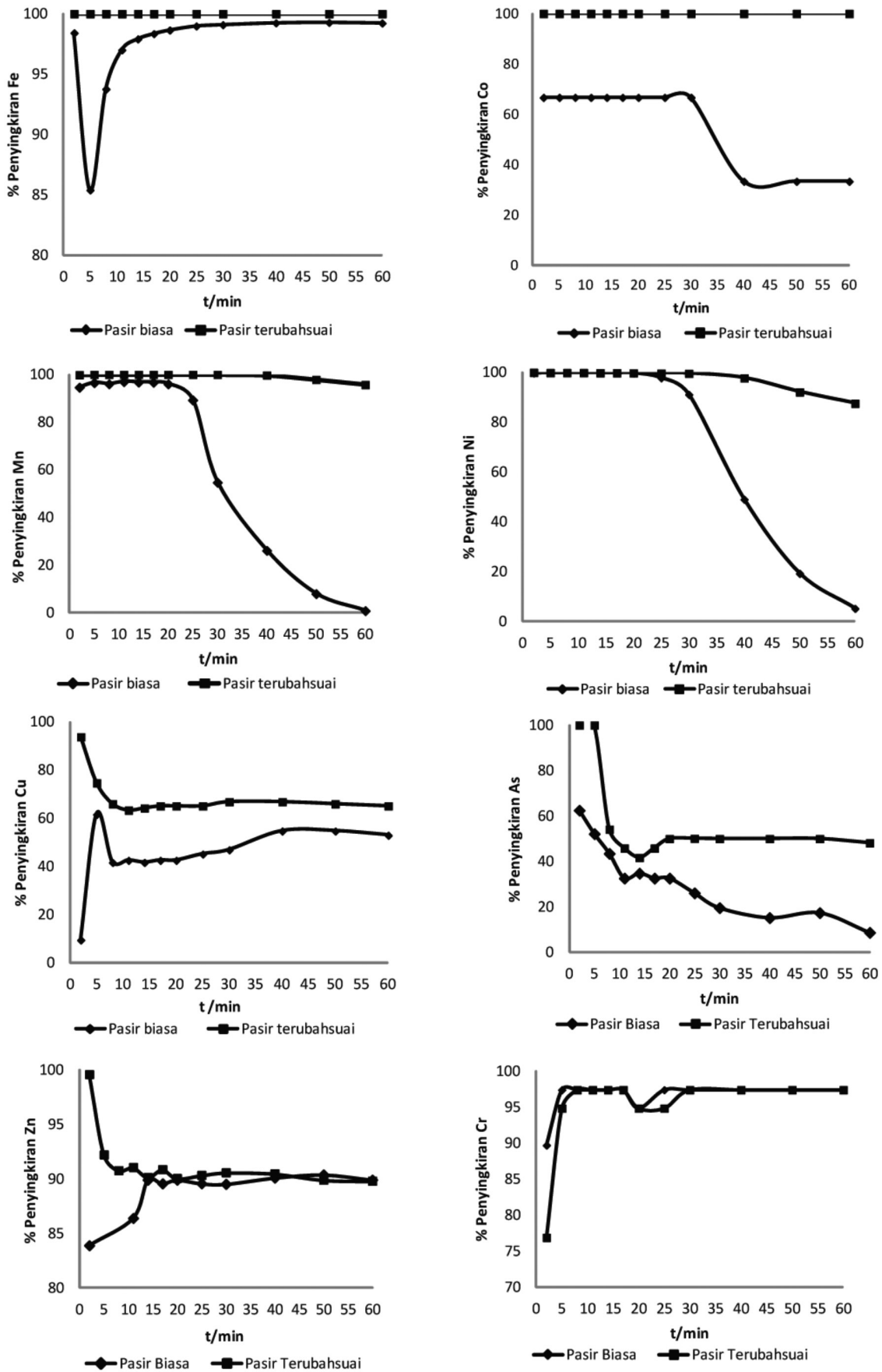
#### KESIMPULAN

Hasil daripada ujian CEC ini telah menunjukkan bahawa bahan penjerap pasir terubah suai secara kimia mencatatkan nilai CEC yang lebih tinggi (0.05 meq/g) berbanding bahan penjerap pasir biasa (0.0069 meq/g). Oleh itu dapat dinyatakan bahawa kapasiti pertukaran kation pasir terubah suai secara kimia adalah lebih tinggi daripada kapasiti pertukaran kation pasir biasa. Selain itu, kajian penjerapan terus menunjukkan julat peratusan penyingkiran ammonia dan logam berat terpilih iaitu zink, mangan, kuprum, arsenik, nikel, kobalt dan ferum adalah lebih tinggi apabila dirawat menggunakan pasir terubah suai secara kimia berbanding pasir biasa. Di samping itu, dengan menggunakan pasir terubah suai secara kimia, keseluruhan logam berat terpilih dan ammonia berjaya disingkirkan mengikut garis panduan yang ditetapkan di bawah Peraturan-Peraturan Kualiti Alam Sekeliling (Effluen Perindustrian) 1979 pindaan 2009 yang terdapat dalam Akta Kualiti Alam Sekeliling 1974.

JADUAL 3. Perbandingan purata kepekatan ammonia dan logam berat dalam effluen yang dirawat menggunakan pasir biasa dan pasir terubah suai terhadap Piawai A dan Piawai B Peraturan-Peraturan Kualiti Alam Sekeliling (Effluen Perindustrian) 1979 Pindaan 2009 (EQA 2012)

Parameter	Purata Kepekatan effluen (mg/L)		Piaiwei (mg/L)	
	Pasir Biasa	Pasir Terubah suai	A	B
Ammonia	4.5	2.5	10	20
Zink	0.224*	0.181	2.0	2.0
Nikel	0.158	0.007	0.2	1.0
Mangan	0.395*	0.009	0.2	1.0
Kromium (VI)	0.002	0.005	0.05	0.05
Ferum	0.364	0.017	1.0	5.0
Kuprum	0.064	0.036	0.2	1.0

\*Melebihi piawai A



RAJAH 3. Penyingkiran Fe, Co, Mn, Ni, Cu, As, Zn dan Cr secara penjerapan turus menggunakan pasir biasa dan pasir terubahsui

## PENGHARGAAN

Penghargaan kepada Universiti Kebangsaan Malaysia kerana menyediakan geran penyelidikan (Industri-2011-021) sehingga kajian ini berjaya dijalankan.

## RUJUKAN

- Ali Awan, M., Qazi, I.A. & Khalid, I. 2003. Removal of heavy metal through adsorption using sand. *Journal of Environmental Science* 15: 413-416.
- APHA, AWWA, WPCF. 1992. *Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater*. 19th ed. Washington: American Public Health Association.
- Azhar, A.H. & Aimi Shaza, C.A. 2012. Ammonia removal from an aqueous solution using chemical surface - modified sand. *Health and the Environment Journal* 3(2): 17-24.
- Aziz, H.A., Adlan, M.N. & Ariffin, K.S. 2008. Heavy metals (Cd, Pb, Zn, Ni, Cu, and Cr(III)) removal from water in Malaysia: Post treatment by high quality limestone. *Bioresource Technology* 99(6): 1578-1583.
- Benjamin, M.M., Ronald, S.S., Robert, P.B. & Thomas, B. 1996. Sorption and filtration of metals using iron-oxide-coated sand. *Water Research* 30: 2609-2620.
- Camberato, J.J. 2001. Cation Exchange Capacity - Everything you want to know and much more. *South Carolina Turfgrass Foundation News*: October-December.
- Chapman, M.S. 1965. Cation exchange capacity in method of soil analysis. *Series Agronomy Part 2*. pp. 891-900.
- Elongavan, R., Philips, L. & Chandraraj, K. 2008. Biosorption of chromium species by aquatic weeds. *Journal of Hazardous Material* 152: 100-112.
- Environmental Quality Act (EQA). 2012. *Lembaga Penyelidikan Undang-Undang*. Akta Kualiti Alam Sekeliling 1974 (Akta 127). International Law Book Services.
- Abdul Fattah Abu Bakar, Azhar Abdul Halim & Marlia Mohd Hanafiah. 2015. Optimization of coagulation-flocculation process for automotive wastewater treatment using response surface methodology. *Nature Environment and Pollution Technology* 14(3): 567-572.
- Gupta, V.K. & Suhas. 2009. Application of low-cost adsorbents for dye removal - A review. *Journal of Environmental Management* 90(8): 2313-2342.
- Halim, A.A., Han, K.K. & Hanafiah, M.M. 2015. Removal of methylene blue from dye wastewater using river sand by adsorption. *Nature Environment and Pollution Technology* 14(1): 89-94.
- Halim, A.A., Hamidi Abdul Aziz, Megat Azmi Megat Johari & Kamar Shah Ariffin. 2010. Comparison study of ammonia and COD adsorption on zeolite, activated carbon and composite materials in landfill leachate treatment. *Desalination* 262: 31-35.
- Han, X., Wang, W. & Ma, X. 2011. Adsorption characteristics of methylene blue onto low cost biomass material lotus leaf. *Chemical Engineering Journal* 171(1): 1-8.
- Han, R.P., Lu, Z., Zuo, W.H., Wang, D.T., Jie, S. & Yang, J.J. 2006. Removal of copper(II) and lead(II) from aqueous solution by manganese oxide coated sand. *Journal of Hazardous Material* B137: 480-488.
- He, X.W., Yang, H.M. & He, Y. 2010. Treatment of mine water high in ferum and manganese by modified manganese sand. *Mining Sciences and Technology* 20: 571-575.
- Hsu, J.C., Lin, C.J., Liao, C.H. & Chen, S.T. 2008. Removal of As(V) and As(III) by reclaimed iron-oxide coated sands. *Journal of Hazardous Materials* 153: 817-826.
- Karunaratne, H.D.S.S. & Amarasinghe, B.M.W.P.K. 2013. Fixed bed adsorption column studies for the removal of aqueous phenol from activated carbon prepared from sugarcane bagasse. *Energy Procedia* 34: 83-90.
- Kavak, D. & Öztürk, N. 2004. Adsorption of boron from aqueous solution by sepiolite: II. Column studies. II. *Illuslrararasi. Bor. Sempozyumu* 23-25: 495-500.
- Lancashire, R.J. 2002. *Chromium Chemistry*. <http://wwwchem.uwimona.edu.jm/courses/chromium.html>. Accessed on 11 May 2012.
- O'Reilly, A.J. 2000. Waste water treatment process selection: An industrial approach. *Trans IChemE* 78: 454-464.
- Rhoades, J.D. 1982. *Cation Exchange Capacity: Method of Soil Analysis Part 2*. Edisi Ke-2. Madision, Wisconsin. Agronomy Monographs 9.
- Sharma, Y.C., Srivastava, V., Weng, C.H. & Upadhyay, S.N. 2009. Removal of Cr(VI) from wastewater by adsorption on iron nanoparticles. *The Canadian Journal of Chemical Engineering* 87: 921-929.
- Thomas, G.W. 1982. Exchangeable cations. In *Methods of Soil Analysis*. Part II, 2nd ed. edited by Page, A.L., Miller, R.H. & Keeney, D.R. Madison: America Society of Agronomy and Soil Science of America. pp. 159-165.
- Thomas, H.C. 1944. Heterogeneous ion exchange in a flowing system. *J. Am. Chem. Soc.* 66(10): 1664-1666.
- Tschapek, M., Wasowksi, C. & Falasca, S. 2007. Character and change in the hydrophilic properties of quartz sand. *Journal of Plant Nutrition & Soil Sc.* 146: 295-301.
- Wang, Y.F., Lina, F. & Pang, W.Q. 2007. Ammonium exchange in aqueous solution using Chinese natural clinoptilolite and modified zeolite. *J. Hazard. Mater.* 142: 160-164.
- Yoon, Y.H. & Nelson, J.H. 1984. Application of gas adsorption kinetics-II: A theoretical model for respirator cartridge service life and its practical application. *American Industrial Hygiene Association Journal* 45: 509-516.
- Zhang, C., Wang, Y. & Yan, X. 2006. Liquid-phase adsorption: Characterization and use of activated carbon prepared from diosgenin production residue. *Colloids and Surfaces A: Physicochemical and Engineering Aspect* 280: 9-16.

Abdul Fattah Abu Bakar, Marlia Mohd. Hanafiah & Azhar Abdul Halim\*  
Pusat Pengajian Sains Sekitaran dan Sumber Alam  
Fakulti Sains dan Teknologi  
Universiti Kebangsaan Malaysia  
43600 Bangi, Selangor Darul Ehsan  
Malaysia

Siti Nathasa Md Barkawi  
Program Kesihatan Persekitaran  
Fakulti Sains Kesihatan  
Universiti Kebangsaan Malaysia  
Jalan Raja Muda Abdul Aziz  
50300 Kuala Lumpur  
Malaysia

Lee Khai Ern  
Institute for Environment and Development (LESTARI)  
Universiti Kebangsaan Malaysia  
43600 Bangi, Selangor Darul Ehsan  
Malaysia

\*Pengarang untuk surat-menyurat; email: azharhalim@ukm.edu.my

Diserahkan: 22 September 2015

Diterima: 4 Mac 2016