



Kinetika Adsorpsi Gas Benzena Pada Karbon Aktif Tempurung Kelapa

Rizky B. Holle^{a*}, Audy D. Wuntu^a, Meiske S. Sangia^a

^aJurusan Kimia, FMIPA, Unsrat, Manado

KATA KUNCI

Kinetika adsorpsi
Benzena
Karbon aktif
Tempurung kelapa

ABSTRAK

Telah diteliti kinetika adsorpsi gas benzena pada karbon aktif tempurung kelapa yang diaktivasi dengan NaCl dengan tujuan menentukan model kinetika yang dapat diaplikasikan untuk adsorpsi gas benzena pada karbon aktif tempurung kelapa. Data adsorpsi dianalisis dengan menggunakan empat model persamaan laju adsorpsi yaitu (1) persamaan laju order pertama pseudo Lagergren, (2) persamaan laju order kedua pseudo Ho, (3) persamaan Elovich, dan (4) persamaan Ritchie. Hasil kajian menunjukkan bahwa model kinetika dengan persamaan laju order ke-2 pseudo Ho adalah yang paling sesuai diaplikasikan untuk adsorpsi gas benzena pada karbon aktif tempurung kelapa. Dari model kinetika order ke-2 pseudo Ho diperoleh konstanta adsorpsi benzena sebesar $1,63 \times 10^{-4} \text{ g mg}^{-1} \text{ min}^{-1}$. Nilai energi adsorpsi menunjukkan bahwa benzena teradsorpsi secara fisik pada adsorben.

KEYWORDS

Adsorption kinetics
Benzene
Activated carbon
Coconut shell

ABSTRACT

Kinetics of gaseous benzene adsorption on coconut shell NaCl-activated carbon had been studied. The research was aimed to determine the appropriate kinetic model applied to gaseous benzene adsorption on the adsorbent. Adsorption data was analyzed using four kinetic models of adsorption rate equation, which were (1) Lagergren's pseudo first order rate equation, (2) Ho's pseudo second order rate equation, (3) Elovich's equation, and (4) Ritchie's equation. The results showed that the Ho's pseudo second order rate equation was best applied to gaseous benzene adsorption on coconut shell activated carbon. The second order rate constant for benzene adsorption was $1.63 \times 10^{-4} \text{ g mg}^{-1} \text{ min}^{-1}$. The value of adsorption energy showed that benzene was physically adsorbed on the adsorbent.

AVAILABLE ONLINE

20 Oktober 2013

1. Pendahuluan

Perkembangan industri dan teknologi manusia dalam beberapa dekade terakhir memberikan banyak manfaat dan kemudahan bagi manusia itu sendiri. Seiring dengan berbagai perkembangan tersebut, timbul masalah baru yakni terjadinya penurunan kualitas udara akibat adanya peningkatan pencemaran udara. Pencemaran udara dapat diakibatkan oleh asap yang dihasilkan dari sumber-sumber industri atau pabrik, kendaraan bermotor dan pembakaran.

Menurut berbagai studi kasus yang telah dilakukan asap yang dikeluarkan oleh kendaraan

bermotor sebagian besar terdiri dari oksida nitrogen, sulfur dioksida, karbon monoksida, dan karbon dioksida (Astra, 2010). Selain zat-zat di atas benzene merupakan hidrokarbon minyak bumi yang paling banyak menyebabkan pencemaran udara (Nourmoradi et al., 2013). Benzene diketahui teremis pada pembakaran batu bara, minyak bumi, gas alam, gas pada pembangkit tenaga listrik, mesin kendaraan, tungku pembakaran bahkan perapian (Astra, 2010).

Adsorpsi adalah salah satu alternatif untuk mengatasi pencemaran udara. Langkah awal untuk mendapatkan proses adsorpsi yang efektif adalah dengan cara memilih adsorben yang memiliki

*Corresponding author: Jurusan Kimia FMIPA UNSRAT, Jl. Kampus Unsrat, Manado, Indonesia 95115; Email address: dribas@rocketmail.com

selektivitas dan kapasitas tinggi serta dapat digunakan berulang ulang. Salah satu adsorben yang sering digunakan adalah karbon aktif.

Di Indonesia kelapa merupakan salah satu tumbuhan yang sudah lama dikenal dan terdapat di seluruh wilayah Indonesia. Bagian kelapa yang sering digunakan sebagai bahan dasar karbon aktif adalah tempurung kelapa. Karbon aktif adalah karbon yang konfigurasi atom karbonnya dibebaskan dari ikatan dengan unsur lain, serta pori dibersihkan dari senyawa lain sehingga permukaan dan pusat aktif menjadi luas dan daya adsorpsi terhadap cairan atau gas akan meningkat. Karbon aktif merupakan adsorben yang baik untuk pemurnian, menghilangkan warna dan bau, deklorinasi, detoksifikasi, penyaringan, pemisahan, dan dapat digunakan sebagai katalis (Bansal *et al.*, 1988).

Studi adsorpsi gas pada karbon aktif telah banyak dilakukan, tetapi penelitian tersebut sebagian besar hanya mengkaji energi adsorpsi, aspek termodinamika serta aspek kesetimbangan. Aspek kinetika belum banyak diteliti, padahal dengan mengetahui aspek kinetika maka akan diketahui seberapa cepat proses adsorpsi tersebut berlangsung.

Kinetika adsorpsi merupakan salah satu aspek yang sering diteliti untuk mengevaluasi karakteristik dari adsorben yang dipakai terutama dalam rehabilitasi lingkungan. Ada banyak model kinetika adsorpsi yang telah dikembangkan untuk dapat digunakan sebagai sarana memprediksi laju adsorpsi suatu adsorbat pada adsorben tertentu. Beberapa model yang telah dikaji oleh Qiu *et al.*, (2009) dan Ho (2004) yaitu (1) persamaan laju order pertama pseudo Lagergren, (2) persamaan laju order kedua pseudo Ho, (3) persamaan Elovich, dan (4) Persamaan Ritchie.

2. Metode

Penelitian ini dilakukan dalam dua tahap yaitu, (1) Pembuatan karbon aktif tempurung kelapa, dan (2) penentuan waktu adsorpsi.

2.1. Pembuatan Karbon Aktif Tempurung Kelapa

Pembuatan karbon aktif tempurung kelapa dikerjakan mengikuti prosedur yang diuraikan oleh Bukasa *et al.* (2012) dengan modifikasi bahan mentah pembuatan arang dan bahan pengaktivasi. Tempurung kelapa dihaluskan hingga berbentuk granular dengan diameter ± 2 mm, kemudian dimasukkan ke dalam krus porselen dan dipanaskan dalam tanur dengan pemanasan 500 °C selama 1,5 jam. Karbon yang dihasilkan kemudian direndam dengan larutan NaCl 10% selama 24 jam. Setelah direndam, karbon diaktivasi dengan pemanasan pada suhu 700 °C selama 2 jam dan dihasilkan karbon aktif. Karbon aktif yang diperoleh selanjutnya dicuci dengan akuades hingga mencapai pH netral. Selanjutnya karbon aktif

dikeringkan dalam oven selama 3 jam pada suhu 110 °C.

2.2. Penentuan Waktu Adsorpsi Pada Karbon Aktif Tempurung Kelapa

Untuk menentukan waktu yang dibutuhkan dalam mencapai kesetimbangan adsorpsi benzena pada karbon aktif tempurung kelapa, disiapkan 8 buah alat eksperimen, masing-masing diisi dengan 10 g sampel arang aktif tempurung kelapa yang telah diketahui beratnya, kemudian dalam tiap alat dimasukkan benzena sebanyak 0,5 mL. setelah wadah ditutup, alat dijalankan selama 1, 2, 3, 4, 5, 10, 18, 24 jam. Waktu setimbang dapat diketahui dengan membuat grafik antara banyak toluena yang teradsorpsi dibagi massa adsorben dengan variasi waktu tersebut. Data yang diperoleh kemudian dianalisis menggunakan persamaan laju order pertama pseudo Lagergren, persamaan laju order kedua pseudo Ho, persamaan Elovich dan persamaan Ritchie.

(a) Persamaan Laju Order Pertama Pseudo Lagergren.

Bentuk persamaan laju order pertama pseudo Lagergren adalah:

$$\text{Log}(q_e - q_t) = \text{Log } q_e - \left(\frac{k}{2.303}\right) t$$

di mana q_e adalah kapasitas adsorpsi pada saat kesetimbangan, q_t adalah kapasitas adsorpsi pada waktu t , dan k adalah konstanta laju order pertama pseudo. Plot dari $\text{Log}(q_e - q_t)$ vs. waktu (t) akan memberikan garis lurus dan koefisien determinasi R^2 dapat ditentukan.

(b) Persamaan Laju Order Kedua Pseudo Ho. Persamaan ini dinyatakan dalam bentuk:

$$\frac{t}{q_t} = \frac{1}{V_0} + \frac{1}{q_e} t$$

di mana V_0 adalah laju adsorpsi awal yang setara dengan konstanta laju order kedua pseudo dikalikan dengan q_e^2 dan q_e adalah jumlah adsorbat teradsorpsi pada waktu t . Plot t/q_t vs. t akan menghasilkan garis lurus dan koefisien determinasi R^2 dapat ditentukan.

(c) Persamaan Elovich.

Persamaan Elovich secara luas digunakan untuk menjelaskan adsorpsi partikel gas ke padat dan mempunyai persamaan:

$$q = \alpha \ln(a\alpha) + \alpha \ln t$$

di mana q adalah jumlah gas yang teradsorpsi pada waktu t , α adalah konstan desorpsi, dan a adalah laju adsorpsi awal. Garis lurus dan R^2 yang sesuai diperoleh dari plot q vs. $\ln t$.

(d) Persamaan Ritchie.

Persamaan Ritchie juga secara luas digunakan untuk menjelaskan adsorpsi partikel gas ke padat dan mempunyai persamaan:

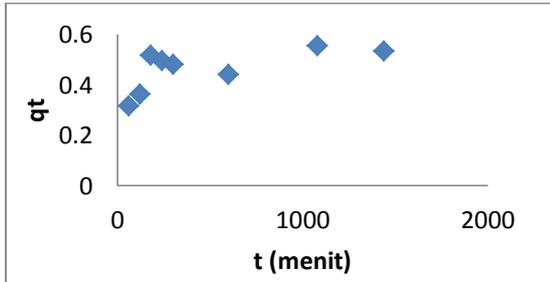
$$\frac{q_\infty}{q_\infty - q} = \alpha t + 1$$

di mana q dan q_{∞} berturut-turut adalah jumlah gas yang teradsorpsi pada waktu t dan setelah waktu yang tak terbatas, dan α adalah konstanta laju. Plot dari $q_{\infty}/(q_{\infty}-q)$ vs. t menghasilkan sebuah garis lurus.

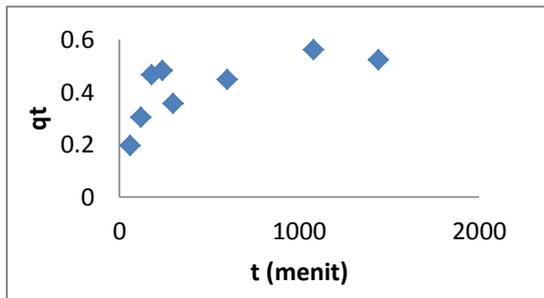
3. Hasil dan Pembahasan

3.1. Kinetika Adsorpsi

Jumlah benzena yang teradsorpsi (q_t) selama periode waktu (t) 1, 2, 3, 4, 5, 10, 18, dan 24 jam pada adsorben karbon aktif tempurung kelapa ditunjukkan pada Gambar 1 dan 2.



Gambar 1. Jumlah benzena teradsorpsi (q_t) selama waktu t pada karbon komersial



Gambar 2. Jumlah benzena teradsorpsi (q_t) selama waktu t pada karbon yang diaktivasi dengan NaCl

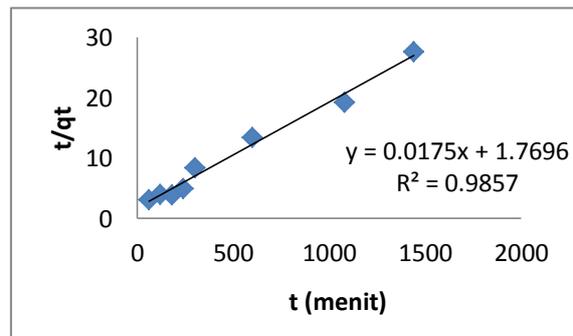
Pada Gambar 1 dan 2 terlihat bahwa adsorpsi terjadi dengan cepat pada 4 sampai 5 jam pertama sebelum tercapai kesetimbangan yang ditunjukkan oleh kecilnya perubahan jumlah adsorbat yang teradsorpsi. Untuk mengetahui kinetika adsorpsi benzena pada karbon aktif komersial dan karbon aktif aktivasi NaCl, data yang diperoleh dianalisis menggunakan empat model kinetika, yakni persamaan laju order pertama pseudo Lagergren, persamaan laju order kedua pseudo Ho, persamaan Elovich dan persamaan Ritchie.

Analisis regresi linear dari data adsorpsi gas benzena pada karbon aktif komersial dan karbon yang diaktivasi dengan NaCl menggunakan keempat model kinetika tersebut menunjukkan bahwa adsorpsi benzena pada karbon aktif yang diaktivasi dengan NaCl dan karbon aktif komersial mengikuti model kinetika order kedua pseudo Ho yang terlihat pada nilai koefisien determinasi R^2 . Nilai R^2 berturut-turut adalah 0.991 dan 0.985 untuk adsorpsi benzena pada karbon aktif komersial dan karbon

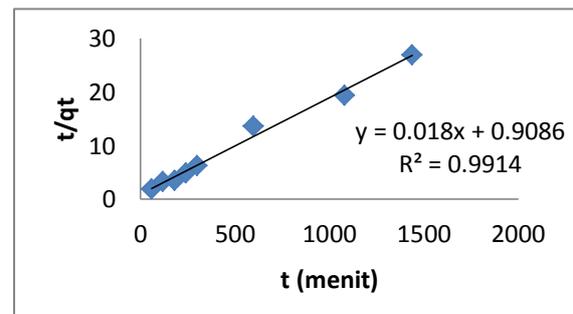
yang diaktivasi NaCl. Tabel 1 memperlihatkan nilai R^2 untuk keempat model kinetika tersebut sedangkan Gambar 3 dan 4 memperlihatkan kurva regresi linear untuk model kinetika order kedua pseudo Ho.

Tabel 1. Nilai Koefisien Determinasi R^2 untuk data adsorpsi benzena pada karbon aktif menurut model kinetika order pertama pseudo Lagergren, model kinetika order kedua pseudo Ho, Persamaan Elovich, dan Persamaan Ritchie

Model kinetika	Karbon diaktivasi NaCl	Karbon aktif komersial
Model kinetika order pertama pseudo Lagergren	0.741	0.527
Model kinetika order kedua pseudo Ho	0,9857	0,9914
Persamaan Elovich	0.651	0.621
Persamaan Ritchie	0.489	0.537



Gambar 3. Analisis model kinetika order kedua pseudo Ho untuk adsorpsi benzena pada karbon yang diaktivasi NaCl



Gambar 4. Analisis model kinetika order kedua pseudo Ho untuk adsorpsi benzena pada karbon aktif komersial

Model kinetika order kedua pseudo Ho dikembangkan dari eksperimen adsorpsi logam pada gambut. Model ini didasarkan pada asumsi

bahwa ion-ion logam divalen teradsorpsi secara kimia melalui penggunaan bersama atau pertukaran elektron senyawa ion logam dan gambut. Meskipun demikian, model kinetika ini dapat juga diaplikasikan untuk adsorpsi gas pada padatan, misalnya adsorpsi CO₂ (Rashidi *et al.*, 2013) dan toluena (Wuntu dan Kamu, 2013) pada

karbon aktif. Data dari penelitian ini juga menunjukkan bahwa model kinetika order kedua pseudo Ho ini juga dapat diaplikasikan untuk adsorpsi benzena pada karbon aktif. Parameter-parameter dalam model kinetika order kedua pseudo Ho untuk adsorpsi benzena pada karbon aktif ditunjukkan pada Tabel 2.

Tabel 2. Parameter pada model kinetika pseudo order kedua Ho untuk adsorpsi benzena pada karbon aktif

	q_e (mg g ⁻¹)	k (g mg ⁻¹ min ⁻¹)	V_0 (mg g ⁻¹ menit ⁻¹)
Karbon diaktivasi NaCl	58.8235	1,63x10 ⁻⁴	0.5652
Karbon aktif komersial	55.5555	3,57x10 ⁻⁴	1.1013

q_e = jumlah benzena teradsorpsi pada kesetimbangan
 K = konstanta laju order kedua pseudo Ho
 V_0 = laju awal

Pada Tabel 2 dapat dilihat bahwa konstanta laju adsorpsi (k) benzena pada karbon aktif komersial mempunyai nilai yang lebih besar dibandingkan konstanta laju adsorpsi (k) benzena pada karbon aktif yang diaktivasi dengan NaCl. Ini menunjukkan bahwa adsorpsi benzena berlangsung lebih cepat pada karbon aktif komersial dibandingkan dengan adsorpsi pada karbon yang diaktivasi NaCl. Laju adsorpsi yang lebih besar dapat dilihat juga pada nilai laju adsorpsi awal (V_0).

3.2. Mekanisme Adsorpsi

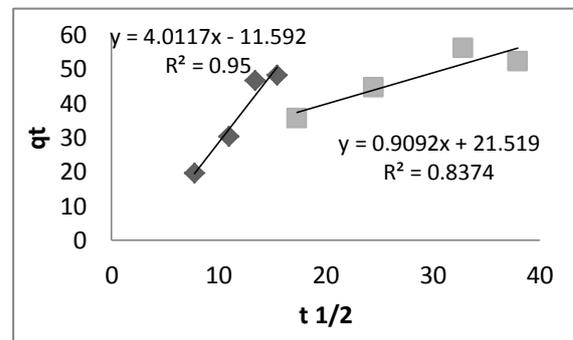
Mekanisme adsorpsi dapat dijelaskan dengan menggunakan model difusi intra partikel. Proses adsorpsi terdiri dari beberapa tahap diantaranya pergerakan partikel dari luar adsorben ke permukaan adsorben dan kemudian diikuti oleh difusi molekul ke dalam pori. Difusi intra partikel umumnya merupakan proses yang lambat dan dianggap sebagai tahap penentu laju dalam proses adsorpsi. Adsorpsi intra partikel dinyatakan dengan persamaan Weber dan Morris (Ho *et al.*, 2000).

$$q_t = k_d t^{1/2}$$

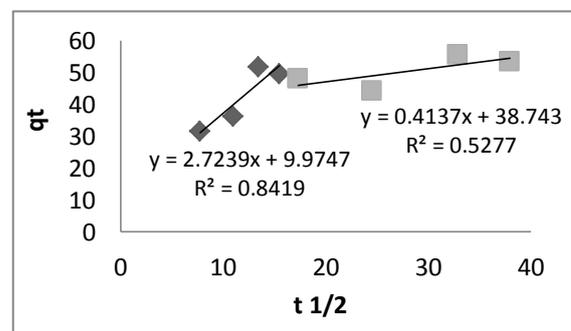
di mana q_t adalah jumlah adsorbat yang teradsorpsi pada waktu kontak t dan k_d adalah konstanta laju. Plot q_t vs. $t^{1/2}$ seharusnya menghasilkan garis lurus jika proses adsorpsi mengikuti model difusi intra partikel. Gambar 5 dan 6 menunjukkan plot q_t vs. $t^{1/2}$ untuk adsorpsi benzena pada karbon aktif.

Gambar 5 dan 6 menunjukkan adanya variasi gradien dan hal ini menunjukkan bahwa difusi intra partikel bukan satu-satunya tahap penentu laju dalam proses adsorpsi ini. Kurva dengan gradien yang lebih besar menggambarkan proses adsorpsi yang berlangsung lebih cepat. Proses ini terjadi pada awal proses adsorpsi dan kemungkinan menggambarkan proses adsorpsi yang di kontrol oleh pergerakan molekul ke permukaan padatan adsorben. Kurva dengan gradien lebih kecil menggambarkan proses yang berlangsung lebih lambat. Tahap ini terjadi setelah tahap pertama dan

kemungkinan merupakan proses adsorpsi yang di kontrol oleh difusi intra partikel.



Gambar 5. Plot q_t vs. $t^{1/2}$ untuk adsorpsi benzena pada karbon yang diaktivasi NaCl



Gambar 6. Plot q_t vs. $t^{1/2}$ untuk adsorpsi benzena pada karbon aktif komersial

3.3. Energi Adsorpsi

Energi adsorpsi menggambarkan kekuatan ikatan antara adsorbat dan adsorben. Energi adsorpsi dibedakan atas dua yakni adsorpsi fisik dan adsorpsi kimia. Adsorpsi fisik terjadi jika reaksi antara adsorben dan adsorbat melibatkan gaya-gaya lemah antar molekul seperti ikatan hidrogen atau ikatan van der Waals. Pada proses ini molekul yang teradsorpsi mudah di lepas kembali dengan menurunkan tekanan gas atau konsentrasi zat

terlarut. Zat yang teradsorpsi dapat membentuk lapisan tunggal dan kondisi kesetimbangan akan tercapai segera setelah adsorben bersentuhan dengan adsorban (Suseno, 2011).

Pada adsorpsi kimia terjadi pembentukan ikatan kimia antara molekul adsorbat dengan permukaan adsorben (Kundari dan Slamet, 2008). Adsorpsi kimia melibatkan ikatan koordinasi sebagai hasil penggunaan bersama pasangan elektron oleh adsorbat dan adsorben (Rahmawati dan Santoso, 2012). Umumnya adsorpsi fisika memiliki nilai energi lebih kecil dari 25-30 kJ mol⁻¹ (Ho et al., 2000). Nilai energi adsorpsi dapat dihitung dari persamaan Arrhenius

$$E = -RT \ln k$$

k = konstanta laju orde kedua pseudo Ho.

E = energi (J mol⁻¹)

R = konstanta gas (8,314 J K⁻¹ mol⁻¹)

T = suhu mutlak (K)

Dengan menggunakan persamaan tersebut dapat ditentukan nilai energi adsorpsi yang ditunjukkan pada Tabel 3

Tabel 3. Nilai Koefisien Determinasi R² untuk data adsorpsi benzena pada karbon aktif menurut model kinetika order pertama

Adsorben	Energi adsorpsi (J mol ⁻¹)
Karbon diaktivasi NaCl	21603.18
Karbon aktif komersial	19667.6

Tabel 3 menunjukkan bahwa adsorpsi yang terjadi antara karbon aktif baik karbon yang diaktivasi dengan NaCl dan karbon aktif komersial menunjukkan bahwa adsorpsi benzena pada karbon aktif merupakan adsorpsi fisika. Pada adsorpsi ini tidak terjadi pertukaran elektron atau penggunaan bersama elektron. Adsorpsi fisika antara benzena dan karbon aktif diduga melibatkan gaya Van der Waals berupa interaksi dipol-dipol dan dipol terinduksi.

4. Kesimpulan

Dari penelitian yang dilakukan dapat disimpulkan bahwa kinetika adsorpsi gas benzena pada karbon aktif tempurung kelapa yang diaktivasi dengan NaCl dan karbon aktif komersial lebih mengikuti persamaan order kedua pseudo Ho dan adsorbat teradsorpsi secara fisik pada adsorben. Mekanisme adsorpsi ini melalui dua tahap yaitu pergerakan molekul adsorbat ke permukaan partikel adsorben kemudian diikuti oleh difusi intra partikel

dimana adsorbat bergerak dari permukaan partikel ke dalam pori adsorben. Tahap pertama berlangsung cepat sedangkan tahap yang kedua berlangsung lebih lambat.

Daftar Pustaka

- Astra, I M. 2010. Energi dan Dampaknya Terhadap Lingkungan. *Jurnal Meterologi dan Geofisika*. **11**: 127 - 135.
- Bukasa, D. A., H. S. J. Koleangan., A. D. Wuntu. 2012. Adsorpsi Toluena Pada Arang Aktif Tempurung Kemiri. *Jurnal Ilmiah Sains*. **12**: 93 - 99.
- Bansal, C. R., J. B Donnet, F. Stoekli. 1988. *Active Carbon*. Marcel Dekker Inc., New York.
- Ho, Y. S., J. C. Y. Ng., G. McKay. 2000. Kinetics of Pollutant Sorption by Biosorbent : Review. *Separation And Purification Methods*. **29**: 189 - 232.
- Ho, Y. S. 2004. Citation Review of Lagergren Kinetic Rate Equation on Adsorption Reactions. *Scientometrics*. **59**: 171 - 177.
- Kundari, N. A., W. Slamet. 2008. Tinjauan Kesetimbangan Adsorpsi Tembaga Dalam Limbah Pencuci PCB dengan Zeolit. Seminar Nasional IV SDM Teknologi Nuklir Yogyakarta, 25-26 Agustus [Prosiding].
- Nourmoradi, H., M. Khiadani., M. Nikaeen. 2013. Multi-Component Adsorption of Benzene, Toluene, Ethylbenzene, and Xylene from Aqueous Solutions by Montmorillonite Modified with Tetradecyl Trimethyl Ammonium Bromide. *Journal of Chemistry*. **2013** : 1 - 10
- Rahmawati A., S. J. Santoso. 2012. Studi Adsorpsi Logam Pb(II) Dan Cd(II) Pada Asam Humat Dalam Medium Air. *Alchemy*. **2** : 46 - 57.
- Rashidi, N. A., S. Yusup, L. H. Loong. 2013. Kinetic Studies on Carbon Dioxide Capture using Activated Carbon. *Chemical Engineering Transactions*. **35** : 361 - 366.
- Qiu, H., Bing, C. P., Qing-jing, Z., Wei-ming, Z., Quang-xing, Zhang. 2009. Critical Review in Adsorption Kinetic Model. *Journal of Zhejiang University SCIENCE A*. **10**: 716 - 724.
- Suseno, H. P. 2011. Model Adsorpsi Mn⁺², Cd⁺² Dan Hg⁺² Dalam Sistem Air-Sedimen Sepanjang Sungai Code, Yogyakarta. *Jurnal Teknologi*, **4**: 174 - 179.
- Wuntu, A. D., V. Kamu. 2013. Kinetics of Gaseous Toluene Adsorption on Dandelion Shell Activated Carbon. *Jurnal Ilmiah Sains*. **13**: 33 - 37.