

Submitted : 17 September 2017

Revised : 28 Oktober 2017

Accepted : 12 November 2017

KINERJA KOLOM ADSORPSI PADA PENJERAPAN TIMBAL (Pb^{2+}) DALAM LIMBAH ARTIFISIAL MENGGUNAKAN CANGKANG KERNEL SAWIT

Novi Sylvia^{1*}, Meriatna¹, Lukman Hakim¹, Fitriani¹, Anisma Fahmi¹

¹ Jurusan Teknik Kimia, Fakultas Teknik, Universitas Malikussaleh
Jl. Cot Tengku Nie Reuleut, Muara Batu, Kabupaten Aceh Utara, Aceh - Indonesia

*Email: nxsylvia@gmail.com

Abstrak

Cangkang kernel sawit merupakan limbah hasil pengolahan minyak sawit yang sebagian kecil dimanfaatkan sebagai bahan bakar, sisanya dibuang ke lingkungan sebagai pupuk. Salah satu upaya peningkatan nilai ekonomis limbah cangkang kernel sawit dapat dilakukan dengan mengolahnya menjadi karbon aktif yang dapat mengadsorpsi logam berat, salah satunya timbal. Penelitian ini bertujuan untuk menentukan kapasitas adsorpsi ion Pb^{2+} dengan menggunakan model Thomas. Pada penelitian ini kemampuan karbon aktif sebagai adsorben dapat ditingkatkan melalui aktivasi kimia dan fisika. Adsorben tersebut dimasukkan ke dalam kolom dengan tinggi unggun yang divariasikan 3, 6, dan 9 cm. Kolom tersebut dialirkan limbah artifisial Pb^{2+} secara kontinyu dengan variasi laju alir influen 6, 10 dan 14 L/menit. Konsentrasi efluent Pb^{2+} dianalisa dengan Atomic Absorb Spectrophotometer (AAS). Hasil yang diperoleh menunjukkan bahwa semakin tinggi unggun dan laju alir maka kapasitas adsorpsi (q_0) dan konstanta Thomas (k_{Th}) ion Pb^{2+} semakin meningkat. Nilai q_0 dan k_{Th} tertinggi diperoleh pada tinggi unggun 9 cm dan laju alir 14 L/menit sebesar 80,133 mg/g, 0,0028 L/mg.menit.

Kata Kunci: adsorpsi, karbon aktif, cangkang kernel sawit, timbal (Pb^{2+}), model Thomas

Abstract

Palm kernel shell is a waste of palm oil processing which used as a small fuel, the rest thrown into the environment as fertilizer. One effort to increase the economic value of palm kernel shell waste possible to do by processing it into activated carbon that can adsorb heavy metals, one of them lead (Pb^{2+}). This research is aimed to determine the adsorption capacity of Pb^{2+} ions by using Thomas model. In this research the ability of activated carbon as an adsorbent can be increased through chemical and physical activation. The adsorbents were inserted into the column as the bed height varied by 3, 6, and 9 cm. The column is continuously streamed Pb^{2+} artificial waste with variations of influent flow rate of 6, 10 and 14 L/min. Effluent concentration of Pb^{2+} was analyzed with Atomic Absorb Spectrophotometer (AAS). The result shows that the higher bed and flow rate, the adsorption capacity (q_0) and Thomas (k_{Th}) constant of Pb^{2+} ion increase. The highest values of q_0 and k_{Th} were obtained at bed height of 9 cm and a flow rate of 14 L / min of 80.133 mg / g, 0.0028 L / mg.min.

Keywords: adsorption, activated carbon, palm kernel shell, lead (Pb^{2+}), Thomas model

1. PENDAHULUAN

Perkembangan industri yang pesat berdampak negatif terhadap pencemaran lingkungan. Salah satu limbah yang dihasilkan adalah limbah Pb (Timbal). Limbah ini akan menyebabkan pencemaran serius terhadap lingkungan jika kandungan logam berat yang terdapat di dalamnya melebihi ambang batas serta mempunyai sifat racun yang sangat berbahaya dan akan menyebabkan penyakit serius bagi manusia apabila terakumulasi di dalam tubuh. Usaha-usaha pengendalian limbah ion logam belakangan ini semakin berkembang, yang mengarah pada upaya-upaya pencarian metode-metode baru yang murah, efektif, dan efisien (Kundari dan Slamet, 2008).

Beberapa metode kimia maupun biologis telah dicoba untuk menghilangkan logam berat yang terdapat di dalam limbah, diantaranya adsorpsi, pertukaran ion (ion exchange), dan pemisahan dengan membran. Metode yang paling banyak digunakan dalam industri adalah dengan proses adsorpsi, hal ini dikarenakan proses adsorpsi lebih ekonomis, mampu menghilangkan bahan-bahan organik serta tidak menimbulkan efek samping yang beracun. Pada adsorpsi digunakan karbon aktif sebagai bahan alternatif untuk mengurangi kadar magnesium dalam air. Karbon aktif atau sering juga disebut sebagai arang aktif adalah suatu jenis karbon yang memiliki luas permukaan yang sangat besar. Hal ini biasa dicapai dengan mengaktifkan karbon atau arang tersebut (Nunik dan Okayadnya, 2013).

Karbon aktif merupakan salah satu adsorben yang digunakan untuk mengurangi kadar limbah ion Pb^{2+} tersebut. Karbon aktif atau sering juga disebut sebagai arang aktif adalah suatu jenis karbon yang memiliki luas permukaan yang sangat besar. Hal ini biasa dicapai dengan mengaktifkan karbon atau arang tersebut. Hanya dengan satu gram dari karbon aktif, akan didapatkan suatu material yang memiliki luas permukaan $\pm 500 \text{ m}^2$ (didapat dari pengukuran adsorpsi gas nitrogen).

Karbon aktif dapat dibuat dari berbagai bahan baku asalkan mengandung karbon. Berbagai macam karbon aktif telah dibuat dari berbagai limbah pertanian dan digunakan sebagai adsorben dengan harga yang murah untuk menghilangkan jenis polutan yang berbeda dari limbah cair (Khaled, 2009). Salah satu dari limbah pertanian yang dapat dimanfaatkan sebagai karbon aktif adalah limbah cangkang kernel sawit.

Cangkang kernel sawit merupakan limbah biomassa hasil pengolahan kernel sawit. Dalam pabrik minyak kelapa sawit cangkang kernel sawit hanya sebagian kecil yang dimanfaatkan sebagai bahan bakar, sisanya dibuang begitu saja dan pada akhirnya berdampak terhadap lingkungan seperti bau dan polusi pada tanah jika menumpuk dalam jumlah besar.

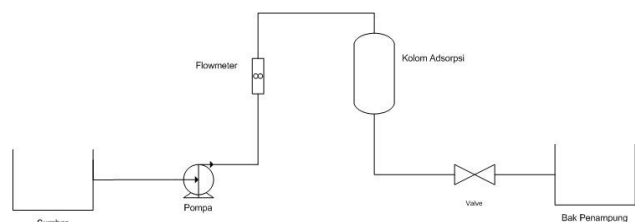
Sistem adsorpsi dapat dilakukan secara batch maupun kolom. Sistem batch memiliki kelemahan tidak bisa dilakukan pada limbah yang mengandung ion logam berat yang diproses secara kontinyu. Sejauh ini penelitian adsorpsi ion logam

berat dengan sistem batch menggunakan biomassa telah banyak dilakukan seperti yang dilakukan Junaedi dkk (2012), Maulidha dkk (2016), Julhim (2013), Hasri (2015), dan Wardalia (2016). Namun penelitian adsorpsi ion logam berat yang dilakukan dengan menggunakan sistem kolom masih sangat minim dan kebanyakan tidak menggunakan biomassa sebagai adsorben, seperti yang dilakukan Juniawan dkk (2011) adsorpsi ion logam Cu(II) dalam larutan menggunakan abu dasar batubara sebagai karbon aktif.

Untuk itu penelitian ini menitik beratkan pada pembuatan karbon aktif dari limbah cangkang kernel sawit dan memanfaatkannya sebagai media penjerap (Pb^{2+}) dengan sistem kolom. Penentuan kapasitas adsorpsi dilakukan dengan menggunakan model Thomas.

2. METODE PENELITIAN

Bahan baku yang digunakan dalam penelitian adalah limbah artifisial Pb^{2+} 20 ppm dan limbah cangkang kernel sawit dari PT. Syaukad Sejahtera Aceh Utara yang digunakan sebagai karbon aktif. Kolom adsorpsi yang digunakan berukuran diameter 6 cm dan panjang 50 cm terbuat dari pipa aclyric yang didesain khusus seperti pada Gambar 1 terdapat satu kolom. Alat tambahan yang digunakan adalah neraca digital, ayakan, blender, FTIR, dan Atomic Absorption Spectroscopy (AAS) AA Shimadzu 7000 dan SEM JSM-6510LA.



Gambar 1. Kolom Adsorpsi model kontinyu

2.1 Preparasi karbon aktif dari cangkang kernel sawit

Proses preparasi diawali dengan membersihkan cangkang kernel sawit menggunakan aquades yang bertujuan untuk mengurangi zat pengotor yang masih terikat pada cangkang kernel sawit. Cangkang kernel sawit yang sudah dicuci kemudian dihaluskan dan ditanur pada suhu 600°C selama 3 jam untuk menghilangkan senyawa bukan karbon yang terkandung dalam cangkang kernel sawit, kemudian diaktifasi secara fisika diatas suhu 600°C . Aktivasi secara kimia dengan menggunakan larutan $ZnCl_2$. Setelah dikarbonisasi pada suhu 400°C , arang cangkang kernel kelapa sawit direndam dalam larutan $ZnCl_2$. Karbon aktif yang telah selesai diaktifasi dijadikan isian kolom adsorpsi yang digunakan sebagai kolom penjerap logam timbal dari limbah artifisial.

2.2 Proses adsorpsi larutan ion Pb^{2+} oleh karbon aktif cangkang kernel sawit

Karbon aktif dari cangkang kernel sawit dimasukkan ke dalam kolom dengan variasi tinggi unggun 3; 6; 9 cm, laju alir 6; 10; 14 L/jam dan waktu kontak 4; 8; 12; dan 16 jam. Kemudian, larutan Pb²⁺ dengan konsentrasi 20 mg/L dialirkan secara down flow ke dalam kolom yang ditunjukkan pada Gambar 1. Proses adsorpsi dilakukan dengan menggunakan adsorben yang diaktivasi secara fisika dan kimia. Pada setiap tahap proses adsorpsi dilakukan analisis kadar Pb²⁺ dalam larutan efluen setiap 4 jam menggunakan AAS.

3. PEMBAHASAN

3.1 Karakterisasi Karbon Aktif

Karakterisasi terhadap adsorben yang digunakan dalam penelitian ini meliputi uji kualitas dan gugus fungsi. Ada pun data uji kualitas karbon aktif dapat dilihat pada Tabel 1.

Tabel 1. Data uji kualitas karbon aktif sesuai SII No. 0258-79

No	Jenis Uji	Syarat	Sebelum Aktivasi	Aktivasi Kimia	Aktivasi Fisika
1	Kadar Air	<10%	7.64	5.89	4.81
2	Kadar Abu	<25%	1.79	2.05	2.53
3	Zat mudah menguap (950°C)	<15%	30.39	12.02	14.18

Penetapan kadar air bertujuan mengetahui sifat higroskopis arang aktif. Kadar air yang terkandung didalam arang aktif dipengaruhi oleh jumlah uap air di udara serta lamanya proses pendinginan, penggilingan dan pengayakan. Kadar air yang tinggi pada karbon aktif dapat mengurangi daya adsorpsi (Yusuf, 2013).

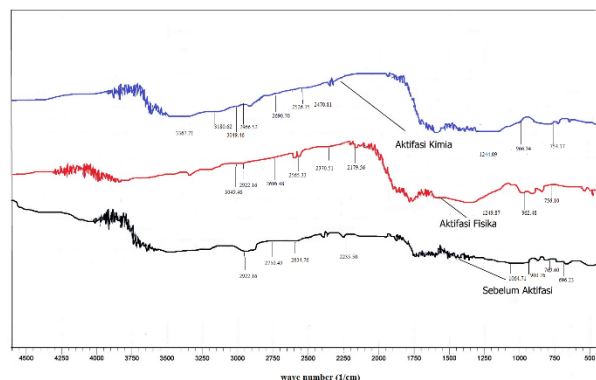
Pengukuran kadar abu pada karbon aktif bertujuan untuk mengetahui persentase kandungan mineral. Makin tinggi kandungan mineral, maka makin tinggi kadar abu (Zakir dkk., 2012). Selain itu, abu dapat mengganggu proses adsorpsi karena kandungan abu yang berlebihan dapat menyebabkan terjadinya penyumbatan pori-pori karbon aktif sehingga menurunkan kemampuan adsorpsi (Masitoh, 2013).

Zat mudah menguap adalah zat selain air, yaitu senyawa non karbon dan abu yang terdapat di dalam karbon aktif. Tingginya zat mudah menguap disebabkan karena tidak sempurnanya penguraian senyawa non karbon seperti CO₂, CO dan H₂. Zat mudah menguap yang tinggi pada karbon aktif dapat mengurangi kemampuan adsorpsi.

Gugus fungsi karbon aktif cangkang kernel kelapa sawit dianalisis menggunakan FTIR. Analisis gugus fungsi dilakukan untuk mengetahui perubahan gugus fungsi

yang terjadi pada karbon aktif, sebelum diaktivasi, sesudah aktivasi kimia dan aktivasi fisika.

Spektrum FTIR karbon aktif cangkang kernel sawit pada Gambar 2 mempunyai pita serapan pada bilangan gelombang 4000 - 2500 cm⁻¹ yang merupakan vibrasi C-H dan OH dan 2500 - 2000 cm⁻¹ yang menunjukkan adanya vibrasi C=C. Serapan pada bilangan gelombang 1550 - 650 cm⁻¹ yang merupakan C-O. Arang aktif yang dihasilkan memiliki pola serapan dengan jenis ikatan OH, C-H, C-O, dan C=C. Adanya ikatan O-H dan C-O menunjukkan bahwa arang aktif yang dihasilkan cenderung bersifat lebih polar. Dengan demikian arang aktif yang dihasilkan dapat digunakan sebagai adsorben.

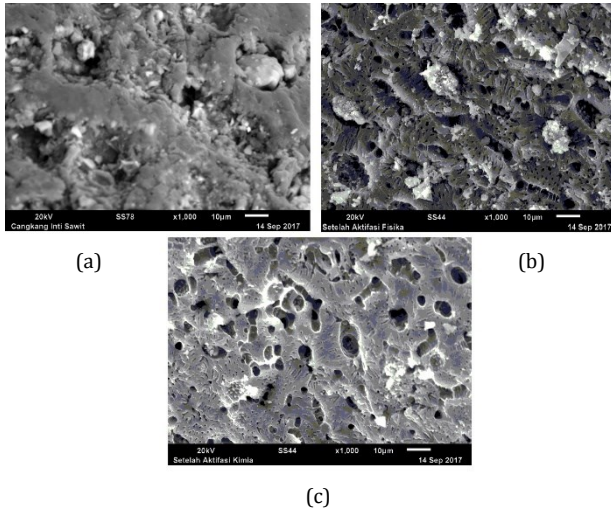


Gambar 2. Hasil Analisa FTIR Karbon Aktif Cangkang kernel sawit sebelum diaktivasi, sesudah aktivasi kimia dan aktivasi fisika

3.2 Karakterisasi Karbon aktif dengan SEM

Permukaan karbon aktif dapat dilihat menggunakan Scanning Electron Microscopy (SEM) untuk mengetahui morfologi meliputi bentuk dan ukuran dari pori karbon aktif. Selain itu analisis SEM digunakan untuk mengetahui topografi karbon aktif meliputi analisis permukaan dan tekstur karbon aktif yang terbentuk. Hasil analisis SEM dapat dilihat pada Gambar 3. Perlakuan panas yang dialami cangkang kernel kelapa sawit pada proses karbonisasi menyebabkan senyawa-senyawa tersebut terurai dan menghasilkan tiga komponen utama yaitu karbon (arang), tar, dan gas (volatile matter). Hasil pengamatan SEM pada cangkang kernel kelapa sawit sebelum aktivasi yang ditunjukkan Gambar 3(a) mempunyai ukuran partikel yang tidak seragam dan pori-porinya belum terbentuk. Hal ini disebabkan karena belum dilakukannya proses aktivasi sehingga bentuk permukaan masih terikat rapat satu sama lain yang menyebabkan morfologi dan topografi karbon tidak membentuk pori. Pengamatan SEM cangkang kernel kelapa sawit setelah aktivasi fisika dan aktivasi kimia yang ditunjukkan pada Gambar 3(b) dan (c). Pada karbon aktif dengan aktivasi fisika Gambar 3(b) sebagian permukaan porinya masih tertutup hal ini terjadi karena pada saat terjadi karbonisasi pori-porinya tidak seluruhnya bersih dari pengotor. Pada karbon aktif dengan aktivasi kimia pada Gambar 3(c) terlihat pori-porinya semakin terbuka yang tersebar di

permukaan dan dinding rongga karbon aktif cangkang kernel kelapa sawit. Jika karbon aktif bersih dari pengotor maka pori-porinya akan semakin banyak dan luas permukaannya akan semakin besar. Bentuk permukaan dari arang sudah terlihat homogen, karena telah mengalami aktivasi oleh ZnCl₂.



Gambar 3. Hasil uji SEM Karbon Aktif Cangkang kernel sawit sebelum diaktivasi, sesudah aktivasi fisika dan aktivasi kimia

3.3 Proses adsorpsi larutan ion Pb²⁺ oleh karbon aktif cangkang kernel sawit pada sistem kolom

Pada penelitian ini, laju alir divariasikan pada 6; 10; dan 14 L/menit. Adsorpsi ion Pb²⁺ oleh adsorben cangkang kernel sawit ini diuji dengan mengalirkan larutan ion Pb²⁺ dengan konsentrasi 20 mg/L. Hasil variasi laju alir ditampilkan sebagai kurva *breakthrough* yang menggambarkan hubungan antara C_t/C₀ dan t, dimana C_t adalah konsentrasi ion Pb²⁺ effluen dan C₀ adalah konsentrasi ion Pb²⁺ influen. Sedangkan t adalah waktu adsorpsi. Hasil ini ditunjukkan pada Tabel 2 dan Gambar 3. Hasil pada Tabel 2 merupakan hasil kapasitas adsorpsi pada variasi laju alir yang dihitung menggunakan persamaan 1.

$$\ln\left(\frac{C_0}{C_t} - 1\right) = \frac{K_{Th}q_0 X}{Q} - K_{Th}C_0 t \quad (1)$$

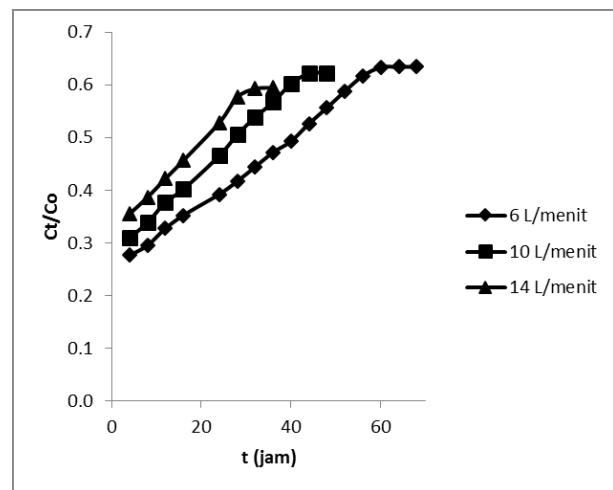
Dengan:

- K_{Th} : Konstanta Thomas (L/mg/menit)
- q₀ : kapasitas adsorpsi (mg/gr)
- X : Massa adsorben (gr)
- Q : Laju alir (L/menit)
- C₀ : Konsentrasi awal (mg/L)
- t : waktu (menit)
- C_t : Konsentrasi akhir (mg/L)

Tabel 2. Nilai kapasitas adsorpsi, konstanta Thomas dan waktu breakthrough pada laju alir yang dihitung berdasarkan model Thomas

Laju alir (L/menit)	Massa (gr)	K _{Th} (L/mg.menit)	q ₀ (mg/gr)	t (jam)
6	50.08	0.0016	80,133	68
10	50.08	0.0026	106,799	48
14	50.08	0.0028	134,949	36

Nilai konstanta K_{Th} dan Q dapat diketahui melalui nilai slope dan intersep persamaan (1). Berdasarkan persamaan tersebut diketahui nilai q₀ pada laju alir 6, 10 dan 14 L/menit berturut-turut adalah 80,133 mg/g, 106,799 mg/g, 134,949 mg/g, sedangkan nilai K_{th} sebesar 0,0016 L/mg/menit, 0,0026 L/mg/menit dan 0.0028 L/mg/menit. Sementara, kurva *breakthrough* yang diperoleh dari hasil plot Nilai C_t/ C₀ terhadap waktu dapat dilihat pada Gambar 4.

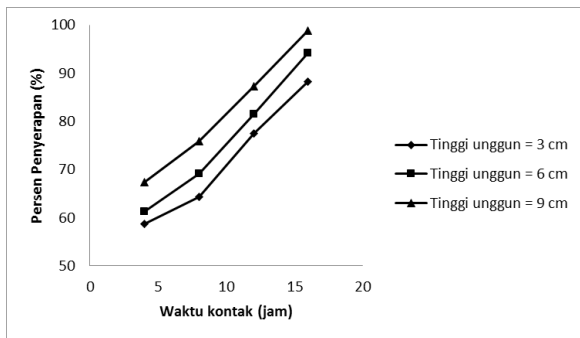


Gambar 4. Kurva *breakthrough*

Kurva *breakthrough* pada Gambar 4 menunjukkan bahwa nilai C_t/C₀ terus mengalami kenaikan hingga mendekati 1, yang artinya konsentrasi effluen semakin lama akan semakin sama dengan konsentrasi influennya. Perbedaan laju alir influen akan berpengaruh terhadap waktu breakthrough yaitu waktu yang dibutuhkan larutan effluen untuk mengandung ion Pb²⁺ sebanyak lebih dari 50% dari konsentrasi influennya, yaitu 25 mg/L. Pada laju alir yang lebih tinggi, maka waktu breakthrough semakin cepat, akibat dari bertambahnya ion Pb²⁺ yang masuk ke dalam kolom per satuan waktu sehingga adsorben pada laju alir yang lebih tinggi menjadi lebih cepat jenuh.

3.4 Pengaruh Waktu Kontak Terhadap Persen Penyerapan

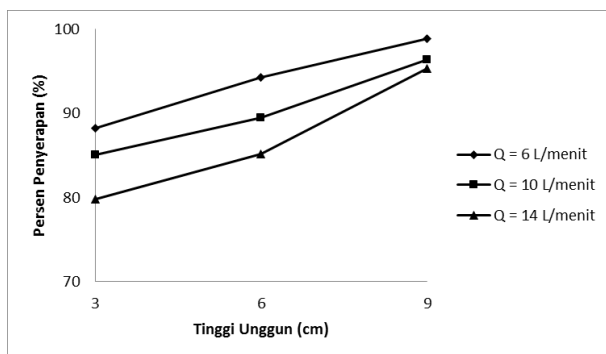
Waktu kontak yang cukup diperlukan oleh karbon aktif agar dapat mengadsorpsi ion Pb²⁺ secara optimal. Semakin lama waktu kontak maka semakin banyak kesempatan partikel karbon aktif untuk bersinggungan dengan ion Pb²⁺ yang akan terikat di dalam pori-pori karbon aktif.



Gambar 5. Pengaruh waktu kontak terhadap persen penyerapan pada tinggi unggun influent bervariasi

3.5 Pengaruh Waktu Kontak Terhadap Persen Penyerapan

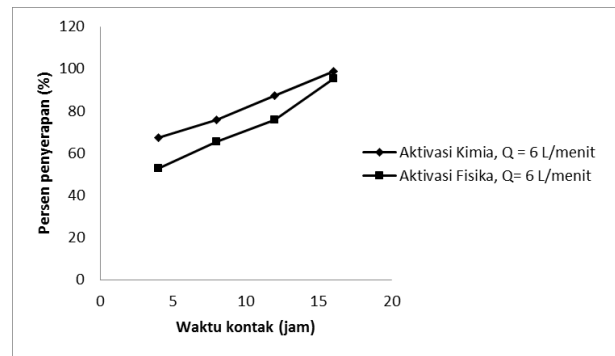
Gambar 6 menunjukkan semakin tinggi unggun semakin banyak persentase penyerapan yang terserap dan sebaliknya. Hal ini terjadi karena semakin tinggi packing maka luas permukaan kontak adsorben karbon aktif menjadi semakin besar sehingga penyerapannya menjadi lebih baik. Semakin kecil laju alir maka semakin banyak ion Pb^{2+} yang terserap. Kondisi ini disebabkan karena pada laju alir yang semakin kecil maka waktu kontak antara ion-ion yang terdapat dalam air semakin lama sehingga ion-ion yang teradsorpsi semakin banyak.



Gambar 6. Pengaruh tinggi unggun terhadap persen penyerapan pada laju alir influent bervariasi

3.6 Pengaruh Waktu Kontak Terhadap Persen Penyerapan pada aktivasi kimia dan fisika

Pengaruh aktivasi terhadap hasil adsorpsi dapat dilihat pada Gambar 7 yang menjelaskan bahwa pada waktu kontak yang sama pada aktivasi kimia persen penyerapan lebih besar dibandingkan dengan aktivasi fisika. Hal ini dikarenakan unsur-unsur mineral dari persenyawaan kimia yang digunakan saat aktivasi kimia meresap ke dalam arang dan membuka permukaan yang semula tertutup oleh komponen kimia sehingga volume dan diameter pori bertambah besar. Pemilihan jenis aktivator juga berpengaruh terhadap kualitas arang aktif. Beberapa jenis senyawa kimia yang sering digunakan dalam industri pembuatan arang aktif adalah $ZnCl_2$, KOH , dan H_2SO_4 (Sembiring, 2003).



Gambar 7. Pengaruh Waktu Kontak Terhadap Persen Penyerapan pada aktivasi kimia dan fisika.

4. KESIMPULAN

Berdasarkan hasil dari penelitian yang dilakukan, dapat disimpulkan bahwa:

- Laju alir dan tinggi unggun mempengaruhi waktu breakthrough dan kapasitas adsorpsi pada adsorben cangkang kernel sawit.
- Semakin cepat laju alir dan tinggi unggun maka kapasitas adsorpsi dan konstanta Thomas yang didapat semakin besar.
- Kapasitas adsorpsi dan konstanta Thomas pada laju alir 6 L/menit adalah 80,133 mg/g; 0,00158 L/mg/menit, pada 10 L/menit adalah 106,799 mg/g; 0,000026 L/mg/menit, dan pada 14 L/menit sebesar 134,949 mg/g; 0,000028 L/mg/menit.
- Tinggi unggun, waktu kontak, laju alir dan proses aktivasi cangkang kernel sawit mempengaruhi persen penyerapan ion logam timbal.

5. ACKNOWLEDGMENT/UCAPAN TERIMA KASIH

Penulis mengucapkan terima kasih kepada KEMENRISTEK DIKTI yang telah mendanai penulis dalam PENELITIAN PRODUK TERAPAN yang telah menunjang pelaksanaan penelitian

6. DAFTAR PUSTAKA

- Julhim S. Tangio., Adsorpsi Logam Timbal (Pb) Dengan Menggunakan Biomassa Enceng Gondok (*Eichhorniacrassipes*), Jurnal Entropi, 2013, 8(1): 500-506.
- Hasri., Studi Adsorpsi Logam Pb(II) Menggunakan Adsorben biomassa *Aspergillus niger* Hasil Pemerangkapan, Jurnal Sainsmat, 2015, 4(2): 126-135.

- Khaled; Abdelwahab; A. El-Sikaily; A. El Nemr., Treatment of Artificial Textile Dye Effluent Containing Direct Yellow 12 by Orange Peel Carbon; International Conference on Aquatic Resources: Needs and Benefits, NIOF, Alexandria., 2009, 210-232.
- Kundari; Anis; Wiyuniati; Slamet., Tinjauan Kesetimbangan Adsorpsi Tembaga Dalam Limbah Pencuci PCB Dengan Zeolit; Seminar Nasional IV SDM Teknologi Nuklir Yogyakarta., 2008.
- Masitoh F.Y. & Sianita B.M.M., Pemanfaatan Arang Aktif Kulit Buah Coklat (*Theobroma cacao* L.) Sebagai Adsorben Logam Berat Cd (II) dalam Pelarut Air, Unesa Journal of Chemistry, 2013, 2(2): 23-27.
- Maulidha Kurnia Dini; Fida Rachmadiarti; Sunu Kuntjoro, Potensi Jerami Sebagai Adsorben Logam Timbal (Pb) Pada Limbah Cair Industri Batik Sidokare, Sidoarjo, Jurnal LenteraBio, 2016, 5(3): 111-116.
- Nunik Prabarini dan DG Okayadnya., Penyisihan Logam Besi (Fe) pada Air Sumur Dengan Karbon Aktif dari Tempurung Kemiri. Jurnal Teknik Lingkungan., 2013.
- Nurul Fadhilah Junaedi; Farouk Maricar; Mary Selintung, Pemanfaatan Arang Sekam Padi Sebagai Adsorben untuk Menurunkan Ion Logam Berat Dalam Air Limbah Timbal (Pb), 2012.
- Yusuf A.M. & Tjahjani S., Adsorpsi Ion Cr (IV) oleh Arang Aktif Sekam Padi; Unesa Journal of Chemistry, 2013, 2(1): 84-88.
- Zakir M.; Maming; Raya I.; Karim A; Santi., Pemanfaatan Energi Gelombang Ultrasonik dalam Adsorpsi Ion Logam Berat Cu(II) pada Biosorben Karbon Aktif dari Sekam Padi. Indo. Chim. Acta, 2012, 5(2): 1-9.
- Wardalia, Karakterisasi Pembuatan Adsorben Dari Sekam Padi Sebagai Pengadsorp Logam Timbal Pada Limbah Cair; Jurnal Integrasi Proses, 2016, 6(2): 83-88.