

KINETIKA ADSORPSI *TOTAL DISSOLVED SOLID* (TDS) DARI LIMBAH CAIR SISA PENGEBORAN PT. CPI DURI-RIAU PADA KARBON AKTIF

Ristandi¹⁾, Yelmida Azis²⁾, Cory Alfarisi²⁾

¹⁾Mahasiswa Jurusan Teknik Kimia, ²⁾Dosen Jurusan Teknik Kimia,
Laboratorium Dasar Teknik II

Jurusan Teknik Kimia, Fakultas Teknik, Universitas Riau

Kampus Bina Widya Jl. HR. Soebrantas KM 12,5 Simpang Baru, Panam, Pekanbaru, 28293

E-mail: ristandi.ristandi@student.unri.ac.id

ABSTRACT

The handling of residual drilling liquid waste is one of the milestones of the upstream oil industry, one of which is PT. CPI in the Duri Area. To improve the existing process, a study is needed, one of which is by reviewing the adsorption process used in the processing. In this research, the absorption of total dissolved solids with adsorbent using activated carbon was carried out, with variations in pH (4, 7, 10), stirring speed (100 rpm, 150 rpm, 200 rpm), and types of activated carbon (granules and powders), and also adsorption kinetics tests with pseudo-first order model, pseudo-second order model, Elovich model, and intraparticle diffusion model. The results show that the type of Granular Activated Carbon (GAC) is better with the best absorption capacity of 176.5 mg / g, the speed of 100 rpm and pH 4 can increase the efficiency of TDS adsorption up to 47.07%, and the results of adsorption kinetics from residual drilling waste PT. CPI-Duri using activated carbon follows the pseudo-second kinetic order, with the equilibrium model $t/Q_t = 0.0045t + 0,0704$.

Keywords: *kinetics, adsorption, activated carbon, residual drilling liquid waste, total dissolved solid (TDS)*

1. PENDAHULUAN

Limbah *ex-drilling fluid* atau limbah cair sisa pengeboran merupakan residu sisa proses pengeboran minyak bumi. Sebelumnya limbah ini digunakan untuk campuran fluida penyemenan, pencucian sumur, dan keperluan air lainnya. Fluida tersebut dibiarkan berada di lokasi bekas pengeboran selama beberapa lama, dan akhirnya mengandung lumpur yang cukup tinggi. Fluida ini dikategorikan sebagai limbah, karena pada akhirnya harus dibuang ke aliran air. Proses penurunan TDS limbah cair sisa pengeboran PT. Chevron Pacific Indonesia dilakukan secara fisika yaitu menggunakan filter berupa silika pada proses penyaringan. Hasil pengolahan awal setelah dilakukan proses koagulasi dan flokulasi, hasil keluaran proses masih belum sesuai dengan standar limbah yang bisa dibuang ke lingkungan

dan membutuhkan proses penanganan limbah kembali. Pada penelitian akan dipelajari secara spesifik pengaruh proses adsorpsi dalam pengolahan limbah cair sisa pengeboran PT. Chevron Pacific Indonesia. Penelitian untuk mengetahui efektifitas penurunan TDS telah dilakukan oleh Partuti (2014), dengan menggunakan resin penukar kation asam kuat untuk menurunkan TDS pada limbah cair industri migas. Dari penelitiannya, Partuti menyimpulkan bahwa resin penukar kation efektif dapat menurunkan konsentrasi TDS 5.000 ppm hingga mencapai 70 – 97%. Untuk kondisi pH larutan limbah air terproduksi, proses pertukaran kation lebih efektif terjadi pada pH = 7 dibandingkan pH yang bersifat asam (pH = 4) dan basa (pH = 12). Hayati, dkk (2016) menemukan bahwa untuk penyerapan logam kromium (Cr) dengan proses adsorpsi menggunakan

karbon aktif, variasi konsentrasi adsorben memberikan pengaruh yang sangat besar. Dari variasi adsorben 1 g/100 mL – 4 g/100 mL, dengan interval 1 g/100 mL, diperoleh hasil optimum dengan konsentrasi adsorben sebanyak 2 g/100 mL. Analisa variasi waktu dan kecepatan pengadukan pada proses adsorpsi limbah logam berat dengan karbon aktif dilakukan oleh Syauqiah, dkk (2016). Limbah yang digunakan merupakan limbah cuci foto *rontgen* yang mengandung banyak logam Fe^{2+} . Variasi waktu yang digunakan adalah 15, 30, 45, dan 60 menit, dan variasi kecepatan pengadukan 30, 60, 90, dan 120 rpm. Dari hasil pengujian didapatkan bahwa variasi waktu 60 menit dan kecepatan pengadukan 120 rpm menghasilkan konsentrasi Fe yang paling baik, yaitu 0,24 ppm dari konsentrasi awal 1,48 ppm. Pada penelitian ini akan dipelajari kinetika adsorpsi menggunakan karbon aktif untuk menurunkan kandungan TDS dari limbah cair dari proses pengeboran PT. Chevron Pacific Indonesia Duri dengan variasi tipe karbon aktif, pH, dan temperatur.

Untuk mengetahui suatu kinetika dari sebuah proses adsorpsi, larutan adsorben-adsorbat diambil pada interval tertentu dan konsentrasi dari larutan tersebut diukur. Model kinetika yang dipakai untuk meninjau kinetika adsorpsi pada penelitian ini adalah model *pseudo first order*³⁾, *pseudo second order*⁴⁾, Elovich model⁵⁾, dan *intraparticle diffusion*⁶⁾, dengan persamaan sebagai berikut :

$$\ln(Q_e - Q_t) = \ln Q_e - k_1 t \quad (3)$$

(Lagergren, 1898)

$$\frac{t}{Q_t} = \frac{1}{k_2 Q_e^2} + \frac{1}{Q_e} t \quad (4)$$

(Lagergren, 1898)

$$Q_t = \left(\frac{1}{\beta}\right) \ln(\alpha\beta) + \frac{1}{\beta} \ln t \quad (5)$$

(Aharoni and Ungarish, 1976)

$$Q_t = k_{dif} t^{1/2} + c \quad (6)$$

(Weber dan Morris, 1962)

Dimana :

Q_e : konsentrasi zat yang teradsorpsi pada waktu kesetimbangan, per berat adsorben (mg/g),

Q_t : konsentrasi zat yang teradsorpsi pada waktu t , per berat adsorben (mg/g)

k_1 : konstanta laju kinetika orde 1 (min^{-1})

k_2 : konstanta laju kinetika orde 2 (g/mg. min)

k_{dif} : konstanta laju difusi intrapartikel (mg/g min)

α : konstanta desorpsi (g/mg)

β : laju sorpsi permulaan (mg/(g min))

t : waktu adsorpsi (min)

$t^{1/2}$: setengah dari waktu adsorpsi (min)

2. BAHAN DAN METODOLOGI

2.1 Bahan dan Alat

Bahan atau objek yang digunakan dalam penelitian adalah limbah lumpur sisa pemboran industri minyak dan gas di daerah Duri Riau. Sedangkan subjek penelitian ini berupa karbon aktif sebagai adsorben. Dibutuhkan juga asam klorida dan natrium hidroksida untuk mengkondisikan pH. Peralatan yang digunakan di dalam penelitian ini adalah *TDS-meter portable* (kemampuan pengukuran TDS 0-9999 ppm, pengukuran konduktivitas 0-9990 $\mu\text{S/cm}$, dan pengukuran temperatur 0-99^o C), pH meter, gelas kimia 500 ml, motor pengaduk, pipet ukur 25 ml, gelas kimia 25 ml, *stopwatch*, dan alat-alat gelas yang biasa digunakan di laboratorium.

2.2 Prosedur Penelitian

Pada penelitian ini, ada beberapa prosedur yang dilakukan, antara lain penentuan kadar parameter awal, proses filtrasi limbah cair sisa pengeboran, dan analisa hasil. Agar kualitas kapasitas adsorpsi dari adsorben meningkat, dapat dilakukan aktivasi dengan cara pemanasan oleh uap atau udara. Pemanasan terhadap adsorben bertujuan untuk mengeluarkan air atau garam pengotor dari dalam rongga-

rongga (Van Bokhoven, 2002). Proses pre-treatment yang dilakukan adalah pemanasan dengan menggunakan furnace pada suhu 150 °C selama 2 jam (Danarto, 2008). Untuk memulai penelitian ini, maka dilakukan penentuan kadar parameter limbah hasil pengeboran. Sampel yang diambil dari pit, diencerkan terlebih dahulu untuk menyesuaikan dengan TDS maksimum yang bisa diukur oleh alat TDS meter *portable* yang digunakan. Adapun tahapannya yaitu dengan mengukur konsentrasi TDS dari limbah dengan alat *Portable Multiparameter*, dimana akan mendapatkan parameter berupa TDS, konduktifitas, dan temperatur. Selanjutnya kadar keasaman dari limbah kemudian diukur menggunakan alat pH-meter. Proses adsorpsi dilakukan dengan menggunakan unggun berupa karbon aktif dengan konsentrasi 2 gram per 100 ml adsorbat. Volume adsorbat yang akan diuji sebanyak 500 ml, sehingga dibutuhkan 10 gram karbon aktif. Karbon aktif yang telah dilakukan pengolahan awal dimasukkan ke dalam gelas kimia berisi adsorbat, dengan suhu ruang sekitar 25 °C. Sampel limbah sebagai umpan diseragamkan dengan TDS awal sebesar ± 7500 ppm dengan cara pengenceran dari sampel induk. Pengambilan hasil sampel dilakukan setiap 10 menit sampai tercapainya waktu kesetimbangan. Proses adsorpsi yang selanjutnya dilakukan dengan memvariasikan jenis karbon aktif dengan menggunakan variasi pH dan kecepatan pengadukan

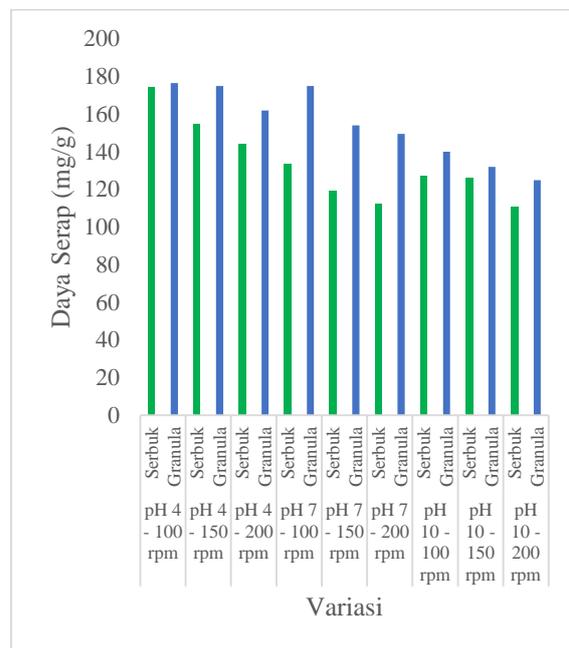
3. HASIL DAN PEMBAHASAN

3.1 Pengaruh Jenis Karbon Aktif Terhadap Daya Serap Adsorbat

Pengaruh jenis arang aktif terhadap daya serap karbon aktif ditampilkan pada gambar 1 berikut :

Karbon aktif serbuk dibuat dengan menggerus partikel karbon, dimana 95-100% dari partikel akan lolos dari ayakan 100 mesh. Karbon aktif bentuk serbuk atau *Powder Activated Carbon* (PAC) memiliki ukuran partikel kurang dari 0.18 mm (>80

US mesh) (Kirk dkk, 1984). Pada penelitian ini, karbon aktif serbuk memiliki daya serap



Gambar 1. Grafik daya serap karbon aktif pada variasi-variasi penelitian

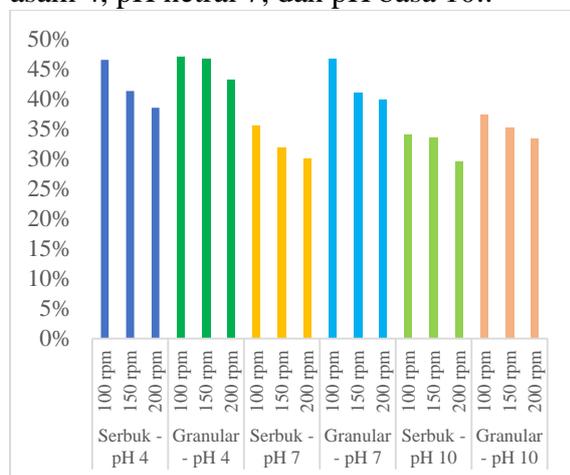
minimum 111 mg adsorbat per gram adsorben pada kondisi pH basa 10 dan kecepatan pengadukan 200 rpm, sedangkan daya serap maksimum 174.5 mg adsorbat per gram adsorben pada kondisi pH 4 dan kecepatan pengadukan 100 rpm. Karbon aktif serbuk kebanyakan digunakan pada aplikasi fase liquid dan untuk pengolahan gas keluaran. Karbon aktif bentuk serbuk memiliki luas permukaan yang besar berbanding dengan rasio volume dengan jarak difusi yang kecil (Kirk dkk, 1984).

Karbon aktif granula atau *Granular Activated Carbon* (GAC) menggunakan poros tersebut untuk menghilangkan kontaminan dari air dalam proses adsorpsi (Kirk dkk, 1984). Karbon aktif jenis ini memiliki ukuran partikel dari 0.2 mm – 5 mm. Pada penelitian ini, karbon aktif granula memiliki daya serap minimum 125 mg adsorbat per gram adsorben pada kondisi pH basa 10 dan kecepatan pengadukan 200 rpm, sedangkan daya serap maksimum 176.5 mg adsorbat per gram adsorben pada kondisi pH 4 dan kecepatan pengadukan 100 rpm.

Dari kedua tipe karbon aktif granula dan serbuk, dapat disimpulkan bahwa karbon aktif tipe granula adalah terbaik untuk melakukan adsorpsi TDS dari limbah cair sisa pengeboran dari area Duri, Riau. Karbon aktif tipe granula biasa diaplikasikan baik untuk fase cair maupun gas

3.2 Pengaruh Kecepatan Pengadukan Terhadap Efisiensi Adsorpsi Karbon Aktif

Kecepatan pengadukan merupakan faktor penting untuk membuat arang aktif yang dikontakkan dengan larutan yang mengandung logam berat menjadi homogen dan membantu proses tumbukan antara arang aktif dengan logam berat, sehingga proses pengontakan semakin cepat (Moelyadiningrum dkk, 2018). Pada penelitian ini, proses adsorpsi ini dilakukan dengan variasi kecepatan pengadukan 100 rpm, 150 rpm, dan 200 rpm. TDS sampel mula-mula 7500 ppm, dengan total adsorben 2 gr/100 mL sampel. Pengaruh kecepatan pengadukan dibandingkan untuk setiap perubahan pH sampel, yaitu pada pH asam 4, pH netral 7, dan pH basa 10..



Gambar 2. Grafik efisiensi adsorpsi karbon aktif pada variasi kecepatan

Dari grafik 2 diatas, dapat disimpulkan bahwa semakin besar kecepatan pengadukan maka efisiensi adsorpsi semakin berkurang, dikarenakan struktur adsorben cepat rusak dan proses adsorpsi kurang optimal. Hal ini juga terlihat pada

proses adsorpsi dengan menggunakan karbon aktif granula lebih baik daripada karbon aktif serbuk dikarenakan struktur adsorben karbon aktif serbuk yang mudah rusak pada kecepatan pengadukan yang tinggi.

Afrianita dkk (2014) menjelaskan bahwa kecepatan pengadukan mampu mempengaruhi kecepatan kontak adsorben dengan adsorbat. Kecepatan pengadukan yang rendah menyebabkan kurang efektifnya tumbukan yang terjadi antara adsorben dengan adsorbat, sehingga daya serap bernilai kecil. Sebaliknya, kecepatan pengadukan yang terlalu cepat mengakibatkan struktur adsorben menjadi rusak, sehingga penyerapan kurang optimal.

Dari penelitian yang dilakukan oleh Syauqiah (2016) diketahui bahwa kecepatan pengadukan optimum pada 120 rpm, dengan variasi kecepatan pengadukan 30, 60, 90 dan 120 rpm. Pada penelitian ini dengan variasi kecepatan pengadukan 100, 150, dan 200 rpm, kecepatan pengadukan 100 rpm menghasilkan efisiensi adsorpsi yang paling baik. Hal ini membuktikan bahwa kecepatan pengadukan pada kecepatan rendah di bawah 100 rpm dikarenakan interaksi antara adsorbat dan adsorben tidak optimal, dan pada kecepatan tinggi diatas 120 rpm tidak memberikan hasil yang baik karena akan merusak struktur pori adsorben.

3.3 Pengaruh pH Terhadap Efisiensi Adsorpsi Karbon Aktif

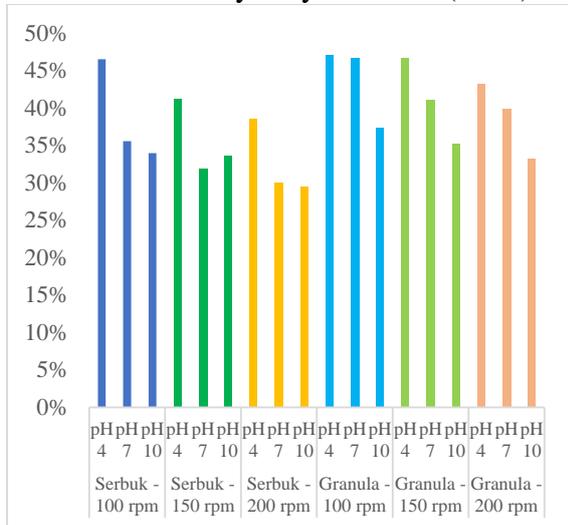
Efisiensi adsorpsi dihitung dengan menggunakan persamaan :

$$\%Efisiensi = \frac{TDS\ awal - TDS\ Akhir}{TDS\ awal} \times 100\%$$

Dari data percobaan yang dilakukan, Hasil perhitungan efisiensi adsorpsi untuk tiap variasi pH ditampilkan pada gambar 3 berikut.

Gambar 3 menunjukkan hasil penelitian adsorpsi TDS dengan menggunakan karbon aktif pada variasi pH dengan kondisi pH optimum pada kondisi asam (pH 4), dan pH basa menghasilkan efisiensi adsorpsi yang paling rendah. Hal

ini dikarenakan sampel limbah sisa pengeboran PT. CPI sudah berada dalam kondisi semi-basa dengan pH rata-rata 7-9, sehingga terdapat banyak ion positif yang terlarut di dalamnya. Lyman dkk. (1995)



Gambar 3. Grafik efisiensi adsorpsi karbon aktif pada variasi pH

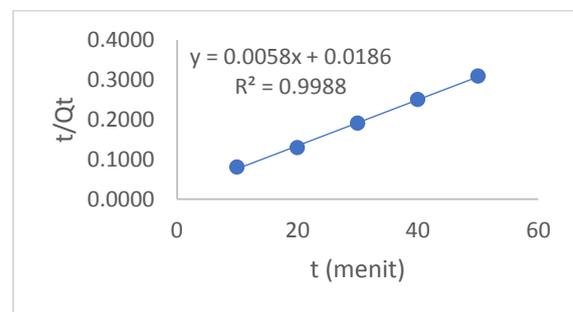
Dalam Sujandi (2002) mengemukakan bahwa gaya dorong adsorpsi permukaan merupakan kombinasi dua faktor, yaitu afinitas adsorbat terhadap pelarut dan afinitas adsorbat pada adsorben. Kedua faktor ini diantaranya dipengaruhi oleh sifat logam. Dalam kasus ini, dikarenakan sampel limbah sudah banyak mengandung ion positif, maka afinitas adsorbat pada adsorben akan meningkat apabila kondisi larutan asam dengan banyaknya ion negatif. Sehingga gaya tarik-menarik antara adsorbat dan adsorben semakin baik pada kondisi ini.

Dari gambar 4.2 dan 4.3 dapat disimpulkan juga bahwa karbon aktif jenis granula masih bekerja dengan baik pada pH 7, terlihat bahwa efisiensi adsorpsi pada pH 4 dan pH 7 pada kecepatan 100 rpm tidak terlalu signifikan berbeda. Dengan kecepatan pengadukan yang cukup tinggi, yakni 100 rpm, karbon aktif granula dengan ukuran partikel lebih besar daripada 80 us mesh, masih dapat menyerap padatan terlarut bahkan pada kondisi netral, dibandingkan dengan karbon aktif serbuk yang memiliki ukuran partikel yang lebih kecil dari 40 us mesh. Dengan gaya tarik menarik antara adsorbat dan adsorben yang

tidak terlalu besar, karbon aktif granula dengan ukuran yang lebih besar cenderung lebih baik bekerja dalam pH 7 dibandingkan dengan karbon aktif jenis serbuk, yang berarti bahwa pada dasarnya karbon aktif jenis granula memiliki kemampuan dasar yang lebih baik untuk menangkap padatan terlarut dengan konsentrasi yang tinggi dibandingkan dengan karbon aktif jenis serbuk meskipun tanpa adanya bantuan dari kondisi pH, untuk meningkatkan afinitas elektron.

3.4 Penentuan Kinetika Adsorpsi

Dari data hasil percobaan, dilakukan penentuan kinetika adsorpsi dengan menggunakan 4 model untuk menentukan model kinetika mana yang paling cocok dengan eror yang paling kecil (R^2 mendekati 1), yang paling baik untuk menjelaskan peristiwa adsorpsi yang terjadi. 4 model kinetika yang dipakai adalah model kinetika *pseudo first order*, *pseudo second order*, Elovich model, dan *intraparticle diffusion*.



Gambar 4. Plot untuk model kinetika *pseudo-second order* (GAC – pH 4 – 200rpm) sebagai model terbaik

Dari hasil plot data ke dalam grafik seperti pada gambar 4, data yang didapat diplotkan dalam satu grafik untuk menghasilkan nilai regresi yang cukup linier, yang berarti keempat model dapat menggambarkan peristiwa adsorpsi yang terjadi. Tetapi, model yang memiliki eror yang paling kecil dilihat dari nilai regresi (R^2) adalah model *pseudo-second order*, dengan model $t/Q_t = 0.0045t + 0.0704$ pada variasi optimum (GAC – pH 4 – 100 rpm).

4. KESIMPULAN

Hasil dari penelitian kinetika adsorpsi TDS dengan karbon aktif pada proses *batch* memberikan beberapa kesimpulan yaitu:

1. Tipe karbon aktif granula atau *Granular Activated Carbon* (GAC) lebih baik dibandingkan tipe karbon aktif serbuk atau *Powder Activated Carbon* (PAC) dalam adsorpsi TDS dari limbah sisa pengeboran PT. CPI Duri, dengan daya serap terbaik 176.5 mg/g.
2. Kondisi asam (pH 4) dapat meningkatkan efisiensi adsorpsi TDS dari limbah sisa pengeboran PT. CPI Duri dengan menggunakan karbon aktif, dengan efisiensi adsorpsi terbaik 47.07%.
3. Semakin cepat pengadukan, maka semakin cepat waktu kesetimbangan tercapai, tetapi proses adsorpsi berjalan dengan tidak optimum, dimana pada penelitian ini kondisi optimum dicapai pada kecepatan 100 rpm, pH 4, dengan tipe karbon aktif granula dengan efisiensi adsorpsi 47.07%.
4. Adsorpsi TDS dari limbah sisa pengeboran PT. CPI Duri dengan menggunakan karbon aktif mengikuti orde kinetika *pseudo-second*, dengan model persamaan $t/Q_t = 0,0045t + 0,0704$.
- 5.

UCAPAN TERIMA KASIH

Penulis menyampaikan terima kasih kepada dosen pembimbing dan yang bersangkutan karena telah memberikan masukan dan arahan serta bantuan dalam menyelesaikan penelitian ini.

DAFTAR PUSTAKA

- Afrianita, R., Dewilda, Yommi., & Rahayu, Monica. 2014. *Potensi Fly Ash sebagai Adsorben dalam Menyisihkan Logam Berat Cromium (Cr) pada Limbah Cair Industri*. Jurnal Teknik Lingkungan UNAND.11(1):67-63.
- Aharoni, C., Ungarish, M. 1976. Kinetics Of Activated Chemisorptions. Part I:

thenon-Elovichian part of the isotherm. *J Chem Soc Farad Trans* 72:265–268.

- Danarto, Y. C. "Pengaruh Aktivasi Karbon dari Sekam Padi pada Proses Adsorpsi Logam Cr (VI)." *Ekulilibrium* 7, no. 1 (2008): 13-16.
- Hayati, G.I., Pertiwi, B. and Ristianingsih, Y., 2016. Pengaruh Variasi Konsentrasi Adsorben Biji Trembesi Terhadap Penurunan Kadar Logam Kromium (Cr) Total Pada Limbah Industri Sasirangan. *Jurnal Konversi UNLAM*, 5(2), pp.1-4.
- Kirk, R.E., Othmer, D. F., Grayson, M. 1984. *Kirk-Othmer encyclopedia of chemical technology*. J. Wiley.
- Lagergren, S. 1898. *Zur Theorie der sogenannten Adsorption Geloester Stoffe*. *Veternskapskad Handl* 24:1–39.
- Moelyaningrum, A. D., Zarkasi, K., & Ningrum, P. T. (2018). *PENGUNAAN ARANG AKTIF KULIT DURIAN (Durio zibethinus Murr) TERHADAP TINGKAT ADSORPSI KROMIUM (Cr6+) PADA LIMBAH BATIK*. *Efektor*, 5(2), 67-73.
- Nasir, S., 2013. Aplikasi Filter Keramik Berbasis Tanah Liat Alam dan Zeolit pada Pengolahan Air Limbah Hasil Proses Laundry. *Bumi Lestari*, 13(1).
- Partuti, Tri. 2014. Efektifitas Resin Penukar Kation Untuk Menurunkan Kadar *Total Dissolved Solid* (TDS) Dalam Limbah Air Terproduksi Industri Migas. *Skripsi*. Universitas Sultan Ageng Tirtayasa, Banten.
- Sujandi, 2002, "Immobilisasi Asam Humat pada Permukaan Silika Gel dan Aplikasinya untuk Adsorpsi Tembaga (II) dan Kalsium(II)", *Skripsi*, Jurusan Kimia, FMIPA, Universitas Gadjah Mada, Yogyakarta.

- Supriyadi., Sukarman, S., Purnomo, H.
2001. Aspek Legalitas Pelaksanaan
Pembuangan Limbah Fluida Industri
Migas di Bawah Permukaan. *Prosiding
Simposium Nasional IATMI*,
Yogyakarta.
- Syauqiah, I., Amalia, M. and Kartini, H.A.,
2016. Analisis Variasi Waktu dan
Kecepatan Pengaduk pada Proses
Adsorpsi Limbah Logam Berat dengan
Arang Aktif. *INFO-TEKNIK*, 12(1),
pp.11-20.
- Weber, W. J., Morris, J.C. 1962. Kinetics
Of Adsorption On Carbon From
Solution. *J. Sanit Eng Div ASCE*
89:31–59.
- Van Bokhoven, J.A., Koningsberger, D.C.,
Kunkeler, P. and Van Bekkum, H.,
2002. Influence of steam activation on
pore structure and acidity of zeolite
Beta: An Al K edge XANES study of
aluminum coordination. *Journal of
catalysis*, 211(2), pp.540-547.