

## PENGOLAHAN AIR TERPRODUKSI MIGAS DI KECAMATAN MINAS BERBASIS ADSORPSI LOGAM BORON DAN BARIUM MENGGUNAKAN ADSORBEN ALAMI

Ilham<sup>1</sup>; Amun Amri<sup>2</sup> dan Sofia Anita<sup>3</sup>

<sup>1</sup>Program Magister Ilmu Lingkungan Universitas Riau

<sup>2</sup>Program Magister Teknik Kimia Universitas Riau

<sup>3</sup>Program Magister Ilmu Kimia Universitas Riau

Email: [ilham.chem@gmail.com](mailto:ilham.chem@gmail.com)

### Abstract

The produced water (PW) is wastewater generated from the extraction of oil and gas production. The PW from Minas oilfield is around 13.5 million m<sup>3</sup> per day and contains metals that are boron (B) = 7,46±0,13 mg/L as B<sup>3+</sup> and barium (Ba) = 1,43±0,11 mg/L as Ba<sup>2+</sup>. Both metal contents are over the quality standards according to PP. No. 82 in 2001 (max. 1,00 mg/L). PW is a potential source to supply the water needs of the society in Minas District. So that PW can be utilized, it needs an effective treatment method to reduce of B and Ba contents by adsorption. The natural adsorbents are used to adsorb and more available in nature are rice husk (RH), commercial charcoal (CC) and bentonite clay (BC). The present study was aimed at the reduction of B and Ba in Minas oilfield PW using RH, CC, and BC as adsorbents via batch process. Variable applied were adsorbent dosage (1, 5, 10, and 20%w/v) and contact time (3, 12, 24, and 48 hours). The optimum result was exhibited by adsorption process using CC with dosage = 20%w/v and detention time of 3 hours which reduced B up to 96,2% and Ba 99,3%. Through this process, the PW after treatment contained B = 0,28±0,02 mg/L as B<sup>3+</sup> and Ba = 0,01±0,01 mg/L as Ba<sup>2+</sup>. According to PP. No. 82 in 2001, the B and Ba in the PW after adsorption process is lower than 1,00 mg/L (Class I). It is concluded the PW after adsorption treatment can be used as raw material for drinking water and other usages.

**Keywords:** Adsorption, Barium, Boron, Natural Adsorbents, Produced Water

### PENDAHULUAN

Air terproduksi (AT) merupakan air formasi di dalam perut bumi yang terakumulasi pada permukaan bersama dengan proses produksi migas (Guerra *et al.*, 2010). AT yang dihasilkan setiap hari dari lapangan minyak minas berkapasitas 84,6 juta BPD (*Barrel per Day*) atau setara dengan 13,5 juta m<sup>3</sup> per hari. Hasil pengolahan dari fasilitas ini terbagi ke dalam 4 (empat) bagian yaitu (1) *Station* yang berfungsi untuk peningkatan produksi minyak (*Enhanced Oil Recovery*), (2) *Slop Oil Plant*, (3) *Waste Water Pit* dan (4) *Waste Brine Injection* (Andaran dan Rezagama, 2015).

Atas dasar itu, *Waste Brine Injection* merupakan bagian dari WTP yang menghasilkan AT untuk diinjeksikan ke dalam *disposal well* (DW). AT yang berasal dari lapangan minyak Minas mengandung logam boron (B) berkisar 5,67-7,15 mg/L sebagai B<sup>3+</sup> dan barium (Ba) berkisar 1,02-2,35 mg/L sebagai Ba<sup>2+</sup> (Hardi, 2018). Merujuk baku mutu air pada Peraturan Pemerintah Republik Indonesia (PP) No. 82 Tahun 2001, kandungan B dan Ba lebih tinggi dari nilai baku mutu yang ditetapkan yaitu masing-masing maksimal 1,00 mg/L. Kandungan B dan Ba yang melebihi nilai baku mutu mengakibatkan penurunan kualitas lingkungan dan berdampak negatif pada kesehatan masyarakat setempat.

Metode pengolahan air untuk menurunkan logam yang terkandung di dalam air adalah dengan cara adsorpsi menggunakan adsorben yang bersifat efektif, efisien dan ekonomis (Marsh dan Rodriguez-Reinoso, 2006). Sekam padi yang



telah dijadikan karbon, terbukti efektif untuk menurunkan kandungan logam Fe, Cu, Pb dan Zn (Alexander *et al.*, 2017). Karbon aktif komersial juga terbukti dapat menurunkan kandungan B di dalam air limbah (Guan *et al.*, 2016). Bentonite sebagai adsorben alami juga mampu mereduksi logam-logam yang terlarut di dalam air (Kostenko *et al.*, 2019).

Sekam padi merupakan lapisan keras yang membungkus kariopsis butir gabah, terdiri atas dua belahan yang disebut lemma dan palea yang saling bertautan (Sari *et al.*, 2015). Lempung adalah suatu silikat hidraaluminium yang kompleks dengan rumus kimia:  $Al_2O_3 \cdot nSiO_2 \cdot kH_2O$ , n dan k merupakan nilai numerik molekul yang terikat dan bervariasi untuk masa yang sama (Risada dan Ibrahim, 2015). Karbon aktif merupakan senyawa amorf yang dihasilkan dari bahan-bahan yang mengandung karbon atau arang yang diproses secara khusus untuk mendapatkan daya adsorpsi yang tinggi (Risfandi *et al.*, 2016).

Penggunaan sekam padi, karbon aktif komersial dan lempung dapat dijadikan sebagai adsorben untuk menurunkan B dan Ba yang terkandung di dalam AT. Faktor yang menentukan efektivitas dan efisiensi adsorpsi adalah dipengaruhi oleh jenis adsorben, konsentrasi dan jenis polutan, dosis dan waktu kontak (waktu detensi) (Singh *et al.*, 2018).

## METODE

### Alat

Alat yang digunakan dalam penelitian ini meliputi jerigen sebagai wadah sampel air terproduksi, Muffle Furnance WISD FX-27, Oven Memmert UFB400, ayakan Sieve No. 200 mesh, ICP-OES (*Inductively Couple Plasma – Optical Emission Spectrometry*) Perkin Elmer 8300DV, Erlenmeyer 250 mL dan peralatan pendukung lainnya.

### Bahan

Bahan yang digunakan dalam penelitian ini adalah air terproduksi yang diambil dari lapangan minyak minas tepatnya di unit pengumpul (*gathering station*) area 3, karbon sekam padi berasal dari Desa Kemuning Muda Kecamatan Bungaraya Kabupaten Siak, karbon komersial dan lempung bentonite berasal dari toko bahan kimia Brataco Chemical dan bahan kimia lainnya untuk proses analisis laboratorium.

### Persiapan adsorben

Persiapan KK dan LB dilakukan menggunakan metode yang dilakukan oleh Wardalia *et al.* (2017). KK dan LB diperoleh dari penjual bahan kimia, masing-masing di ayak menggunakan ayakan sieve No. 200 mesh. Kemudian didinginkan dalam desikator lalu dikemas dan diberi label.

Persiapan KS dilakukan menggunakan metode yang dilakukan oleh Wardalia *et al.* (2017). Sekam padi dibersihkan dari pengotor yang masih menempel dan dicuci dengan air bersih hingga 3 kali pengulangan. Selanjutnya direndam dalam air bersih selama 24 jam lalu ditiriskan. Setelah kering sekam padi dikeringkan ulang di dalam oven pada suhu 70°C selama 16 jam. Sekam padi kemudian dikarbonisasi menggunakan muffle furnace pada suhu 400°C selama 2 jam. Setelah menjadi karbon, dihaluskan dengan alu dan lumpang terbuat dari kayu. Karbon yang telah halus di ayak menggunakan ayakan sieve No. 200 mesh. Karbon hasil ayakan sieve No. 200 mesh selanjutnya dipanaskan di dalam oven pada suhu 105°C selama 3 jam. Kemudian didinginkan dalam desikator lalu dikemas dan diberi label.



### Persiapan air terproduksi

Air terproduksi diambil dari unit pengumpul Area 3 lapangan minyak Minas, yaitu dari pipa saluran *Water Injection Well* (WIJ). Sampel diambil menggunakan jerigen kemudian dibawa ke laboratorium untuk selanjutnya digunakan pada tahap analisis kandungan B dan Ba serta tahap adsorpsi menggunakan adsorben alami.

### Adsorpsi logam B dan Ba

Adsorpsi logam B dan Ba dilakukan menggunakan adsorben alami yaitu karbon sekam padi (KS), karbon komersial (KK) dan lempung bentonite (LB). Kondisi optimal adsorpsi logam B dan Ba ditentukan berdasarkan tahap berikut:

#### Jenis adsorben optimal

Jenis adsorben optimal ditentukan dengan cara melakukan variasi antara KS, KK dan LB untuk mengadsorpsi logam B dan Ba di dalam AT. Labu Erlenmeyer 250 mL dipersiapkan sebanyak 3 pcs lalu ditambahkan AT sebanyak 200 mL. Masing-masing ditambahkan KS, KK dan LB sebanyak 10 gram perlakuan ini diulang sebanyak 3 kali ulangan. Masing-masing diaduk menggunakan *orbital shaker* pada kecepatan 150 rpm selama 3 jam. Setelah tercapai waktu yang ditetapkan kemudian campuran disaring menggunakan *Filter Paper Whatman* No. 42. Filtrat yang diperoleh dianalisis laboratorium kandungan logam B dan Ba. Jenis adsorben optimal ditandai dengan kandungan logam B dan Ba yang paling rendah setelah adsorpsi.

#### Dosis adsorben optimal

Jenis adsorben yang diperoleh selanjutnya digunakan untuk tahap penentuan dosis optimal. Labu Erlenmeyer 250 mL dipersiapkan sebanyak 4 pcs lalu dimasukkan AT sebanyak 200 mL. Secara terpisah ditambah jenis adsorben optimal dengan variasi massa 2, 10, 20 dan 40 gram sehingga diperoleh persentase dosis yaitu 1, 5, 10 dan 20%, perlakuan ini diulang sebanyak 3 kali ulangan. Masing-masing diaduk menggunakan *orbital shaker* pada kecepatan 150 rpm selama 3 jam. Setelah tercapai waktu yang ditetapkan kemudian campuran disaring menggunakan *Filter Paper Whatman* No. 42. Filtrat yang diperoleh dianalisis laboratorium kandungan logam B dan Ba. Dosis adsorben optimal ditandai dengan kandungan logam B dan Ba yang paling rendah setelah adsorpsi.

#### Waktu detensi optimal

Dosis adsorben optimal selanjutnya digunakan untuk tahap penentuan waktu detensi optimal. Labu Erlenmeyer 250 mL dipersiapkan sebanyak 4 pcs lalu dimasukkan AT sebanyak 200 mL. Secara terpisah ditambah jenis adsorben dan dosis optimal, perlakuan ini diulang sebanyak 3 kali ulangan. Masing-masing diaduk menggunakan *orbital shaker* pada kecepatan 150 rpm selama variasi waktu 3, 12, 24 dan 48 jam. Setelah tercapai waktu yang ditetapkan kemudian campuran disaring menggunakan *Filter Paper Whatman* No. 42. Filtrat yang diperoleh dianalisis laboratorium kandungan logam B dan Ba. Waktu detensi optimal ditandai dengan kandungan logam B dan Ba yang paling rendah setelah adsorpsi.

## HASIL DAN PEMBAHASAN

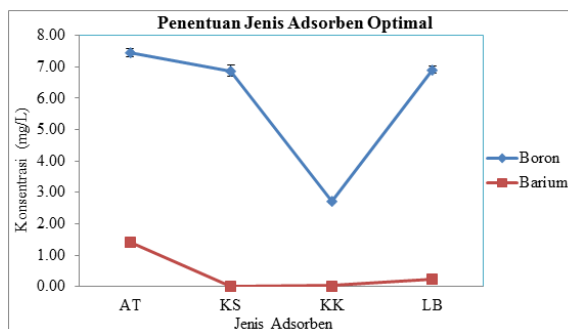
### Jenis adsorben optimal

Masing-masing adsorben memiliki daya adsorpsi yang berbeda-beda sehingga perlu ditentukan jenis adsorben yang optimal untuk menurunkan konsentrasi logam B dan Ba di dalam AT. Hasil penentuan jenis adsorben





optimal disajikan pada Gambar 1.



Gambar 1. Grafik penentuan jenis adsorben optimal

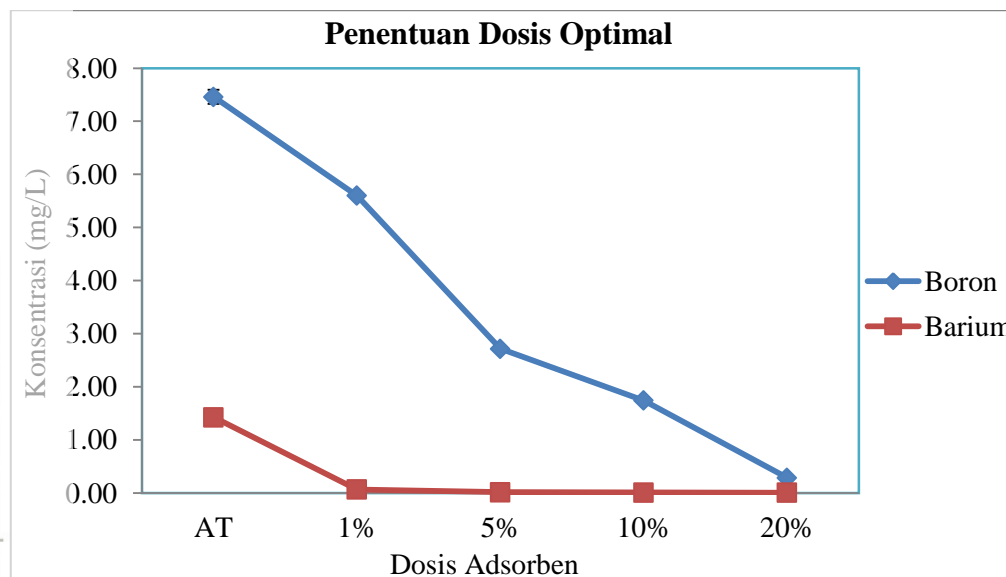
Hasil pengolahan air terproduksi terhadap adsorpsi logam boron sebagai ion  $B^{3+}$  menggunakan KS adalah  $6,87 \pm 0,18$  mg/L, KK adalah  $2,73 \pm 0,10$  mg/L, dan LB adalah  $6,91 \pm 0,11$  mg/L dari kandungan awal AT adalah  $7,46 \pm 0,13$  mg/L. Kandungan logam barium sebagai ion  $Ba^{2+}$  setelah pengolahan menggunakan KS adalah  $0,01 \pm 0,01$  mg/L, KK adalah  $0,02 \pm 0,01$  mg/L dan LB adalah  $0,25 \pm 0,02$  mg/L dari kandungan AT adalah  $1,43 \pm 0,11$  mg/L. Berdasarkan hasil analisis terhadap kandungan B dan Ba pada AT yang telah diolah, jenis adsorben optimal adalah KK yang digunakan pada tahap berikutnya.

Ingusnya daya adsorpsi KK yang digunakan dari pada KS dan LB dikarenakan tidak adanya proses aktivasi pada kedua jenis adsorben tersebut. Hal inilah yang menyebabkan daya adsorpsi KS dan LB lebih rendah dari pada KK. Seperti yang dijelaskan oleh Arsad dan Hamdi (2010), karbon aktif diperoleh dari sisa tempurung kelapa dan aneka kayu-kayuan kemudian diaktivasi untuk meningkatkan daya adsorpsi karbon aktif tersebut. Hal ini dilakukan selain untuk meningkatkan daya adsorpsinya juga bertujuan untuk meningkatkan kualitas dan harga jual karbon aktif itu sendiri. Adanya proses aktivasi pada karbon komersial menyebabkan meningkatnya luas pori distribusi situs aktif akan merata keseluruh permukaan adsorben. Seperti yang dinyatakan oleh Marsh dan Rodriguez-Reinoso (2006), bahwa faktor lain yang mempengaruhi besarnya daya adsorpsi adalah ukuran atau luas dan distribusi pori adsorben yang digunakan.

### Jenis adsorben optimal

Jenis adsorben optimal adalah jumlah massa dari jenis adsorben optimal yang mampu menurunkan logam B dan Ba di dalam AT. Hasil penentuan optimal disajikan pada Gambar 2.





Gambar 2. Grafik penentuan dosis adsorben optimal

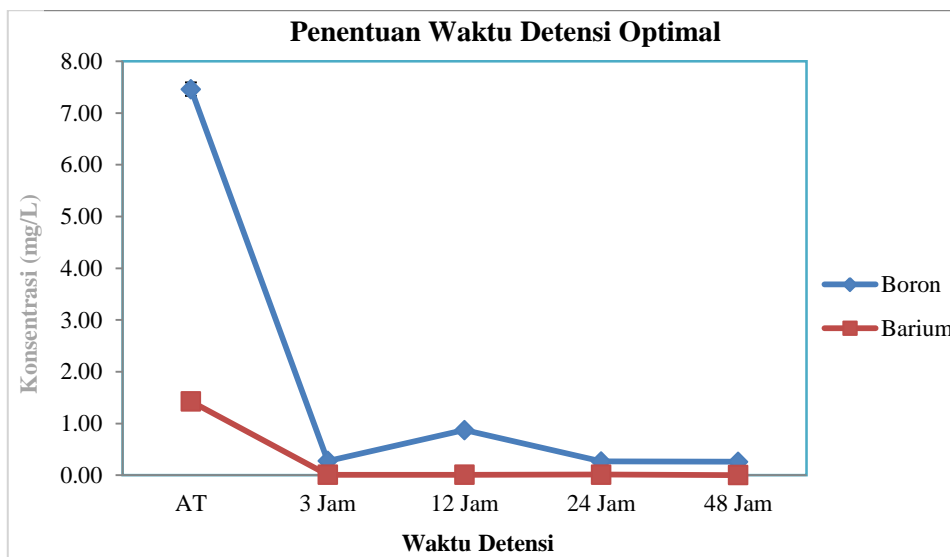
Berdasarkan hasil pengolahan AT menggunakan KK terhadap adsorpsi B pada dosis 1% adalah  $5,60 \pm 0,04$  mg/L; 5% adalah  $2,72 \pm 0,03$  mg/L; 10% adalah  $1,74 \pm 0,04$  mg/L dan 20% adalah  $0,29 \pm 0,04$  mg/L dari kandungan awal adalah  $7,46 \pm 0,13$  mg/L. Kandungan Ba pada dosis 1% adalah  $0,070 \pm 0,015$  mg/L; 5% adalah  $0,07 \pm 0,02$  mg/L; dosis 10% adalah  $0,01 \pm 0,01$  mg/L dan 20% adalah  $0,01 \pm 0,01$  mg/L dari kandungan awal adalah  $1,43 \pm 0,11$  mg/L. Berdasarkan hasil tersebut maka dosis KK yang optimal adalah 20%, karena kandungan B dan Ba pada AT yang telah diolah adalah paling kecil, sehingga digunakan pada tahap selanjutnya.

Menurut Putranto dan Angelina (2014), proses adsorpsi suatu zat menggunakan beberapa jenis adsorben dipengaruhi oleh dosis atau jumlah adsorben itu sendiri. Semakin tinggi dosis yang digunakan maka akan memberikan hasil penurunan adsorbat yang lebih besar. Huang et al., (2019) juga menyatakan bahwa, dosis atau jumlah dari serbuk karbon aktif sangat mempengaruhi jumlah adsorbat yang terserap, semakin tinggi dosis karbon aktif yang digunakan maka akan memperbesar persentase penurunan adsorbat di dalam sampel air.

#### Waktu detensi optimal

Menurut Pusparizkita (2017), salah satu faktor yang mempengaruhi kualitas proses adsorpsi adalah waktu kontak atau waktu detensi. Waktu detensi optimal adalah durasi kontak antara AT dengan adsorben KK dengan dosis 20% untuk mengadsorpsi B dan Ba paling optimal. Hasil penentuan waktu detensi optimal disajikan pada Gambar 3.





Gambar 3. Grafik penentuan waktu detensi optimal

Hasil pengolahan AT menggunakan KK dengan dosis 20%, kandungan B sebagai ion  $B^{3+}$  pada waktu detensi 3 jam adalah  $0,28 \pm 0,02$  mg/L; 12 jam adalah  $0,87 \pm 0,05$  mg/L; 24 jam adalah  $0,27 \pm 0,03$  mg/L dan 48 jam adalah  $0,26 \pm 0,02$  mg/L. Kandungan Ba sebagai ion  $Ba^{2+}$  dari waktu detensi 3 sampai 48 jam adalah  $<0,02$  mg/L. Sehingga berdasarkan hasil pengolahan AT pada dosis 20% waktu detensi optimal untuk menurunkan konsentrasi B dan Ba adalah 3 jam.

#### Kualitas AT terhadap baku mutu PP. No. 82 Tahun 2001

Kualitas AT yang dihasilkan dari penentuan kondisi optimal ditentukan melalui komparasi kandungan B dan Ba terhadap nilai baku mutu yang ditetapkan dalam PP. No. 82 Tahun 2001. Hasil komparasi disajikan pada Tabel 1.

Tabel 1. Komparasi kandungan B dan Ba terhadap nilai baku mutu PP. No. 82 Tahun 2001.

Parameter	Baku mutu PP. No. 82 Tahun 2001				Kandungan AT
	Golongan				
	I	II	III	IV	
B <sup>3+</sup> (mg/L)	1,00	1,00	1,00	1,00	0,28
Ba <sup>2+</sup> (mg/L)	1,00	-	-	-	<0.02

Dari Tabel 1 menunjukkan bahwa kandungan B dan Ba pada AT yang dihasilkan menggunakan KK dosis 20% dan waktu detensi selama 3 jam berada dalam baku mutu golongan I, II, III dan IV. Sehingga berdasarkan parameter B dan Ba yang terkandung di dalam AT maka dapat digunakan untuk air baku air minum, dan persyaratan mutu air yang sama dengan penggunaan tersebut.

#### KESIMPULAN

Hasil penelitian pengolahan air terproduksi migas di kecamatan minas pada basis adsorpsi logam boron dan barium menggunakan adsorben alami dapat disimpulkan bahwa kondisi optimal untuk mengolah air terproduksi adalah menggunakan karbon komersial dengan dosis 20% dan waktu detensi selama 3 jam.

#### UCAPAN TERIMAKASIH

Penulis mengucapkan terimakasih kepada Dr. Maulana Hardi, M. Si yang



memberikan dukungan finansial untuk penelitian ini.

## DAFTAR PUSTAKA

- Alexander, D., Ellerby, R., Hernandez, A., Wu, F. dan Amarasiriwardena, D. 2017. Investigation of Simultaneous Adsorption Properties of Cd, Cu, Pb and Zn by Pristine Rice Husk using ICP-AES and LA-ICP-MS Analysis. *Microchemical Journal*, 135 (2017) : 129 - 139. Elsevier.
- Andriani, P dan Rezagama, A. 2015. Analisis Pengolahan Air Terproduksi di Water Treating Plant Perusahaan Eksploitasi Minyak Bumi (Studi Kasus : PT XYZ). *Jurnal Presipitasi*, 12 (2), ISSN 1907-187X.
- Arsad, E., dan Hamdi, S. 2010. Teknologi Pengolahan dan Pemanfaatan Karbon Aktif untuk Industri. *Jurnal Riset Industri Hasil Hutan*, 2 (2) : 43 – 51.
- Guan, Z., Lv, J., Bai, P. Dan Guo, X. 2016. Boron Removal from Aqueous Solutions by Adsorption – A Review. *Desalination*, 383 : 29-37. Elsevier.
- Guerra, K., Dahm, K. dan Dundorf, S. 2011. Oil and Gas Produced Water Management and Beneficial Use in Western United States.
- Hardy, M. 2018. Kandungan Logam Air Terproduksi Industri Minyak dan Gas Bumi di Kecamatan Minas. Program Doktor Ilmu Lingkungan, Universitas Riau, Pekanbaru.
- Huang, X. H., Lu, Q., Hao, H., Wei Q., Shi, B, Yu, J, Wang, C., dan Wang, Y. 2019. Evaluation of The Treatability of Various Odor Compound by Powdered Activated Carbon. *Water Research*. 156 : 414 – 424. Elsevier.
- Kostenko, L. S., Tomashchuk, L. I., Kovalchuk, T. V. Dan Zaporozhets, O. A. 2019. Bentonites with Grafted Aminogroups: Synthesis, Protolytic Properties and Assessing Cu (II), Cd, (II) and Pb (II) Adsorption Capacity. *Applied Clay Science*, 172 : 49 – 56. Elsevier
- Marsh, H., dan Rodriguez-Reinoso, F. 2006. Activated Carbon. Elsevier Ltd.
- Peraturan Pemerintah No. 101 Tahun 2014 tentang Pengelolaan Limbah Bahan Berbahaya dan Beracun.
- Parizkita, Y. M. 2017. Penyisihan Boron pada Proses Pengolahan Air Dengan Teknologi Adsorpsi. Fakultas Teknik, Institut Teknologi Bandung, Bandung.
- Pinto, A. dan Angelina, S. 2014. Pemodelan Perpindahan Massa Adsorpsi Zat Warna pada Florisil dan Silika Gel dengan Homogeneous and Heterogeneous Surface Diffusion Model. Lembaga Penelitian dan Pengabdian kepada Masyarakat, Universitas Katolik Parahyangan.
- Rizka, J. dan Ibrahim, B. 2015. Pemanfaatan Tanah Lempung (Tanah Liat) Bauksit pada Pengolahan Air Limbah Rumah Tangga. Fakultas Ilmu Kelautan dan Perikanan Universitas Muhammadiyah Raja Ali Haji, Tanjung Pinang.
- Sandi, F., Yusnimar, dan Helianty, S. 2016. Penentuan Daya Jerap Karbon Aktif dari Tempurung Kelapa Terhadap Ion Cu (II). *JOM Fakultas Teknik*. 3 (1) : 1 – 6.
- Singh, M. N., Mahdie, M. F. dan Segah, R. 2015. Rendemen Arang Sekam dan Kualitas Asap Cair Sekam Padi. *Jurnal Hutan Tropis*. 3 (3) : 260 - 266.
- Singh, N. B., Nagpal, G., Agrawal, S. Dan Rachna. 2018. Water Purification by Using Adsorbents: A Review. *Environmental Technology & Innovation*. 11 : 187 – 240. Elsevier.
1. Stawinski, W., Wegrzyn, A., Freitas, O., Chmielarz, L., Mordarski, G. dan Figueiredo, S. 2017. Simultaneous Removal of Dyes and Metal







#### Hak Cipta Dilindungi Undang-Undang

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan sumber:

- a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penyusunan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
- b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan Universitas Riau.

2. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin Universitas Riau.

ardalia.

Catioons using an Acid, Acid-Base and Base Modified Vermiculite as a Sustainable and Recyclable adsorbent. *Science of The Total Environment*, 576 (2017) : 398 – 408.

ardalia. 2016. Karakterisasi Pembuatan Adsorben dari Sekam Padisebagai Pengadsor Logam Timbal pada Limbah Cair. *Jurnal Integrasi Proses*.6 (2) : 83 – 88.