

Pengolahan Limbah Cair Laboratorium Menggunakan Bioadsorben Hasil Pirolisis Limbah Serbuk Gergaji Kayu Bitti (*Vitex Cofassus*)

Andi Tenri Pada^{1*}, Andi Aladin², Syamsuddin Yani³

1*) Magister Teknik Kimia, Universitas Muslim Indonesia, Kota Makassar, ndypadaa@gmail.com

2) Magister Teknik Kimia, Universitas Muslim Indonesia, Kota Makassar

3) Magister Teknik Kimia, Universitas Muslim Indonesia, Kota Makassar

Abstract

Laboratory liquid waste that cannot be accommodated and is discarded during the washing process has the potential to have a negative impact on the environment due to the risk that hazardous and toxic waste will create, thus heavy metal adsorption using natural materials is required. The aims of this research are to determine the optimum time and mass of activated charcoal adsorbent manufactured by pyrolysis of bitti sawdust waste as an adsorbent for heavy metals (Cd and Co) in laboratory waste testing at Balai K3 Makassar. The method used in this research was the pyrolysis of bitti sawdust waste, and then it was tested at various contact times and adsorbent mass variations to determine the optimum absorption ability of the adsorbent. Optimal adsorption occurred in the 120th minute, with a decrease in concentrations of Cd of 77.3%, from 0.2873 mg/L to 0.0651 mg/L, and of Co of 96.9%, from 2000 mg/L to 0.0620 mg/L. There were mass variations in the weight of 150 mg of metal Cd waste of 88.5% and 99.2% for metal Co for optimum absorption. According to the SNI threshold, adsorbents derived from bitti sawdust were able to reduce the metal content of Cd to 0.1 mg/L and Co to 0.6 mg/L.

Keywords: Adsorption, Bioadsorbent, Cadmium, Cobalt, Liquid Waste.

Abstrak

Limbah cair laboratorium yang tidak tertampung dan ikut terbuang saat proses pencucian wadah berpotensi menimbulkan dampak negatif bagi lingkungan terkait resiko yang akan ditimbulkan limbah bahan berbahaya dan beracun maka dibutuhkan penjerapan logam berat dengan memanfaatkan bahan alami. Penelitian ini bertujuan mengetahui waktu dan massa optimum adsorben arang aktif hasil pirolisis limbah serbuk gergaji kayu bitti sebagai penyerap logam berat Cd dan Co dalam limbah laboratorium pengujian Balai K3 Makassar. Metode yang digunakan dalam penelitian ini adalah pirolisis limbah serbuk kayu bitti kemudian mengujinya dalam berbagai variasi waktu kontak dan variasi massa adsorben untuk mengetahui kemampuan penyerapan optimum adsorben. Adsorpsi optimum terjadi di menit ke-120 dengan tingkat penurunan konsentrasi logam Cd sebesar 77.3% dari 0.2873 mg/L menjadi 0.0651 mg/L dan logam Co sebesar 96.9% dari 2.000 mg/L menjadi 0.0620 mg/L. untuk variasi massa optimum penyerapan ada di bobot 150 mg limbah logam Cd sebesar 88.5% dan 99.2% untuk logam Co. sebagai tujuan dari penelitian ini adsorben dari limbah serbuk kayu bitti mampu menurunkan kadar logam Cd < 0.1 mg/L dan Co < 0.6 mg/L sesuai ambang batas SNI.

Kata Kunci: Bioadsorben, Kadmium, Kobalt, Limbah Cair, Penyerapan.

1. PENDAHULUAN

Limbah merupakan buangan yang berasal dari sisa suatu kegiatan. yang sudah tidak memiliki nilai ekonomis dan jika tidak diolah dengan baik akan berdampak terhadap kerusakan lingkungan serta makhluk hidup di sekitarnya. Demikian pula dalam proses aktivitas analisa di laboratorium, tentu berpotensi untuk menghasilkan sisa kegiatan analisa berupa limbah yang memungkinkan adanya dampak negatif bagi lingkungan dan makhluk hidup yang ada di sekitar laboratorium tersebut. Limbah yang dihasilkan potensial

berbahaya dan/atau beracun yang dapat mencemarkan atau merusak lingkungan baik secara langsung maupun tidak langsung (Audina, Apriani, & Kadaria, 2017).

Berbagai analisa dan persiapan pengujian dilakukan di laboratorium Balai K3 Makassar menggunakan bahan kimia yang beragam serta sampel-sampel berupa bahan biologik yang akan menjadi penyumbang produksi limbah di laboratorium. Sisa hasil analisa ini akan menjadi limbah laboratorium yang tentu saja mempunyai resiko berbahaya bagi pencemaran lingkungan dan dampaknya tentu saja berpotensi membahayakan lingkungan hidup, kesehatan, kelangsungan hidup manusia dan makhluk hidup lainnya (Patri, Azis, & Soebrata, 2012). Hasil buangan limbah sisa Analisa di laboratorium masih relatif kecil jika dibandingkan dengan limbah dari industri. Namun jika tidak dikelola dengan baik, tentu akan terjadi akumulasi jumlah residu yang akan dapat menumpuk sehingga berdampak negatif bagi lingkungan dan makhluk hidup (Suardana, 2008).

Hingga saat ini, Balai K3 Makassar belum memiliki sistem pengolahan limbah yang memadai. Limbah yang belum dapat diolah dengan segera, dilakukan penyimpanan dan pengemasan di laboratorium Balai K3 Makassar yang sesuai dengan prosedur penyimpanan limbah B3 berdasarkan Keputusan Kepala BAPEDAL Kep 01/BAPEDAL/09/1995, tentang Tata Cara dan Persyaratan Teknis Penyimpanan dan Pengumpulan Limbah Bahan Berbahaya dan Beracun. Sebagai unit pelaksana teknis Kementerian Ketenagakerjaan yang berfokus pada Keselamatan dan Kesehatan Kerja, tentu saja sistem pengolahan limbah merupakan salah satu aspek penting. Penanganan limbah laboratorium masih sebatas menampungnya ke dalam botol/wadah penampungan sementara untuk kemudian diserahkan kepada perusahaan rekanan yang merupakan penyedia jasa layanan pengumpulan dan pengangkutan Limbah Bahan Berbahaya dan Beracun (Limbah B3) (Anggarini, Stefanus, & Prihatiningsih, 2014).

Sisa hasil aktivitas laboratorium yang tidak tertampung, ikut terbuang saat proses pencucian wadah melalui saluran pembuangan. Meski jumlahnya tidak banyak, tetapi karena terus menerus sehingga tentu saja hal ini berpotensi menimbulkan dampak negatif bagi lingkungan bahkan potensial berbahaya bagi kehidupan di sekitarnya (Mustafiah, Darnengsih, Sabara, & Majid, 2018). Mengingat besarnya potensi resiko yang akan ditimbulkan limbah bahan berbahaya dan beracun yang digunakan pada aktivitas di laboratorium, maka dipandang sebagai sebuah urgensi untuk melakukan upaya meminimalisir dampak negatif yang potensial ditimbulkan (Rohaeti, Febriyanti, & Batubara, 2010).

Dalam pelaksanaannya, penanganan pengolahan limbah secara tepat tentu membutuhkan pengetahuan mengenai karakteristik limbah. Karakteristik limbah sangat tergantung pada sumber limbah dan aktivitas penghasil limbah. Jenis bahan yang digunakan dapat berubah dari waktu ke waktu bergantung aktivitas dalam laboratorium tersebut (Damanhuri, 2010). Setelah dilakukan identifikasi limbah melalui analisa pendahuluan, diperoleh data 2 (dua) parameter yang melebihi nilai baku mutu limbah sesuai peraturan Menteri Lingkungan Hidup Republik Indonesia Nomor 5 Tahun 2014 yaitu Cadmium (Cd) dengan konsentrasi 0.2837 mg/L dari nilai baku mutu yang dipersyaratkan adalah 0.1 mg/L dan Kobalt (Co) dengan konsentrasi 2 mg/L dari nilai baku mutu yang dipersyaratkan yaitu 0.6 mg/L (Widowati, Sastiono, & Jusuf, 2008).

Limbah serbuk gergaji kayu dapat diolah dengan metode pirolisis menjadi charcoal atau arang yang dapat dimanfaatkan sebagai sumber energi yang memiliki padat karbon dan ramah lingkungan maupun sebagai penyerap logam berat pada limbah cair (Hasan, Aladin, Syarif, & Arman, 2020). Arang aktif hasil pirolisis limbah serbuk gergaji kayu bitti (*vitex cofassus*) adalah arang yang diproses sedemikian rupa sehingga mempunyai daya serap/adsorpsi yang tinggi terhadap bahan yang berbentuk larutan, termasuk air limbah (Ifa, Akbar, Ramli, & Wiyani, 2018). Karbon aktif secara luas digunakan sebagai adsorben dan secara umum mempunyai kapasitas yang besar untuk mengadsorpsi molekul organik

(Supraptini, 2002). Arang aktif atau karbon aktif adalah arang yang dapat menyerap anion, kation dan molekul dalam bentuk senyawa organik maupun anorganik, larutan ataupun gas. Karbon aktif terdiri dari berbagai mineral yang dibedakan berdasarkan kemampuan adsorpsi (daya serap) dan karakteristiknya.

Penelitian terkait salah satunya dilakukan oleh Indira Ayu Lestari, dkk pada tahun 2014 menggunakan arang aktif dari tempurung aren (*Arenga Pinnata*) untuk mengadsorpsi logam Kadmium. Dalam penelitian ini digunakan larutan kerja ion kadmium (II) sebagai sampel yang dikontakkan dengan arang aktif tempurung aren. Derajat keasaman dan waktu kontak berpengaruh terhadap adsorpsi ion logam Cd^{2+} oleh adsorben arang aktif tempurung aren. Pada adsorpsi arang aktif tempurung aren terhadap ion logam Cd^{2+} , pH optimum terjadi pada pH 3 dengan jumlah ion Cd^{2+} yang teradsorpsi sebesar 2,372 mg/L atau 94,92% dan waktu kontak optimum terjadi pada 30 menit dengan jumlah ion Cd^{2+} yang teradsorpsi sebesar 2,327 mg/L atau 93,12% (Lestari, Alimuddin, & Yusuf, 2014). Penelitian arang aktif sebagai adsorben telah banyak dibuktikan dapat menyerap kandungan logam-logam berat seperti Pb, Cd, Co dan sebagainya dalam berbagai jenis larutan (Masruhin, Rasyid, & Yani, 2018). Untuk itu sebagai bagian dalam pengembangan dan kontribusi aktif untuk pengolahan limbah cair laboratorium Balai K3 Makassar yang memiliki kandungan Kadmium dan Kobalt melebihi nilai baku mutu limbah yang dipersyaratkan sesuai peraturan Menteri Lingkungan Hidup Republik Indonesia Nomor 5 Tahun 2014, maka dalam penelitian ini peneliti akan memanfaatkan arang aktif hasil pirolisis limbah serbuk gergaji kayu bitti (*Vitex coffassus*) sebagai adsorben untuk dikontakkan dengan air limbah sisa pengujian di Laboratorium Balai K3 Makassar untuk menurunkan konsentrasi Kadmium dan Kobalt yang melebihi nilai baku mutu limbah (Lestari, Alimuddin, & Yusuf, 2014).

2. METODE PENELITIAN

Objek penelitian ini adalah air limbah yang dihasilkan oleh aktivitas di Laboratorium Pengujian Balai K3 Makassar, Jalan KH Abdul Jabbar Akhsiri No. 35, Sudiang – Makassar, Sulawesi Selatan.

A. Penentuan Waktu Optimum Adsorpsi Arang Aktif dari limbah serbuk gergaji kayu bitti (*Vitex Coffassus*)

Biocharcoal dari limbah serbuk gergaji kayu bitti (*Vitex Coffassus*) seberat 1 gram dikontakkan ke dalam larutan limbah cair sebanyak 50 mL yang dimasukkan ke dalam erlenmeyer. Campuran tersebut diaduk menggunakan mechanics stirrer, dilakukan dengan variasi waktu 10 – 120 menit. Setelah itu campuran disaring menggunakan kertas saring whatman, lalu larutan/filtrat yang diperoleh dianalisis menggunakan Spektrometer Serapan Atom (SSA).

B. Uji Pengaruh Rasio Adsorben Arang Aktif Limbah Serbuk Gergaji Kayu Bitti (*Vitex Coffassus*)

Sebanyak 50 mL larutan limbah cair dimasukkan dalam wadah yang berisi arang aktif yang telah ditimbang dengan variasi rasio adsorben: 1%; 5%; 10%; 15%; 20%. Kemudian campuran tersebut diaduk menggunakan mechanics stirrer pada waktu optimum adsorpsi. Setelah itu campuran disaring menggunakan kertas saring whatman, lalu larutan/filtrat yang diperoleh dianalisis menggunakan Spektrometer Serapan Atom.

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

A. Uji Pendahuluan Limbah Cair Logam Cadmium (Cd) dan Cobalt (Co)

Penentuan kadar logam limbah dilakukan untuk mengetahui seberapa besar kadar logam Cadmium (Cd) dan Cobalt (Co) yang terkandung dalam limbah cair Laboratorium Balai K3 Makassar. Sebelum menguji kadar logam terlebih dahulu dilakukan pembuatan deret larutan standar, pembuatan larutan standar diambil dari larutan induk, dalam hal ini $\text{Cd}(\text{NO}_3)_2$ 0,5257 gram ditimbang lalu dilarutkan dengan aquades, dimasukkan dalam labu ukur 250 mL dan volume larutan ditepatkan dengan aquades. Larutan induk 1000 ppm Cd. Larutan ini yang di encerkan untuk membuat larutan deret standarnya berikut deret standar dan adsorbansinya.

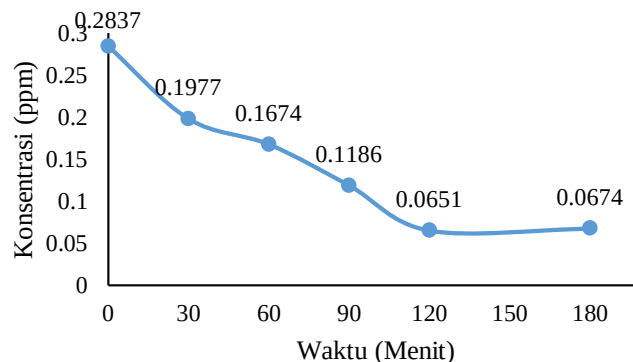
Tabel 1 Hasil Pengujian Awal Logam Cadmium (Cd) dan Cobalt (Co)

Data Sampel Limbah	Cd	Co
Abs	0,0122	0,0774
Ppm	0,2837	2,0000

Kadar logam Cadmium (Cd) Dan Logam Cobalt (Co) pada limbah buangan laboratorium Balai K3 Makassar (tabel 1) tidak memenuhi syarat ambang batas dengan konsentrasi 0.2837 mg/L dari nilai baku mutu yang dipersyaratkan adalah 0.1 mg/L (SNI 6989.16 – 2009) dan Kobalt (Co) dengan konsentrasi 2 mg/L dari nilai baku mutu yang dipersyaratkan yaitu 0.6 mg/L (SNI 6989.68 – 2009).

B. Penentuan Waktu Kontak Optimum Adsorben terhadap Limbah Cair Logam Cadmium (Cd) dan Cobalt (Co)

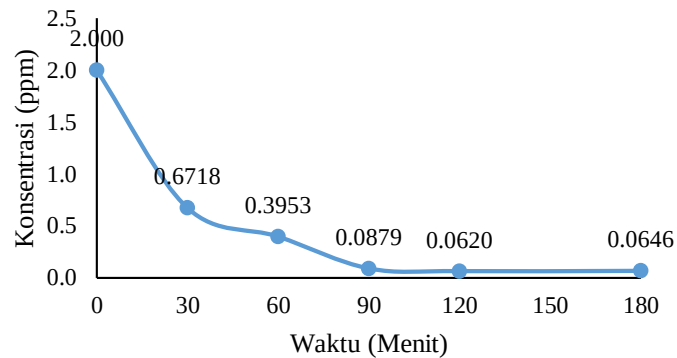
Pengamatan waktu adsorbansi dilakukan dengan selisih per 30 menit. Pada pengamatan waktu optimum, digunakan sampel limbah cair 50 mg setiap variabel uji.



Gambar 1 Perbandingan Waktu terhadap Penyerapan Limbah Cadmium

Waktu terbaik penyerapan limbah cadmium ada dimenit ke 120. Dengan adanya data peak garis terendah pada grafik diatas yang menunjukkan penurunan konsentrasi yang terendah dikonsentrasi 0.0651 ppm, hal itu dibuktikan dengan tingkat adsorbansi dari hasil uji alat yang menunjukkan adsorbansi terkecil ada di menit ke 120 dan hal itu menandakan bahwa kepekatan limbah logam semakin berkurang (Kardiman, Ifa, & Rasyid, 2020). Waktu kontak mempengaruhi banyaknya adsorbat yang terserap, disebabkan perbedaan kemampuan adsorben dalam menyerap adsorbat berbeda-beda serta pernyataan bahwa semakin lama waktu kontak maka kesempatan partikel bioadsorben untuk bersingsungan

dengan ion logam lebih besar, sehingga ion logam yang terikat dalam pori-pori bioadsorben semakin banyak (Harahap, 2018).

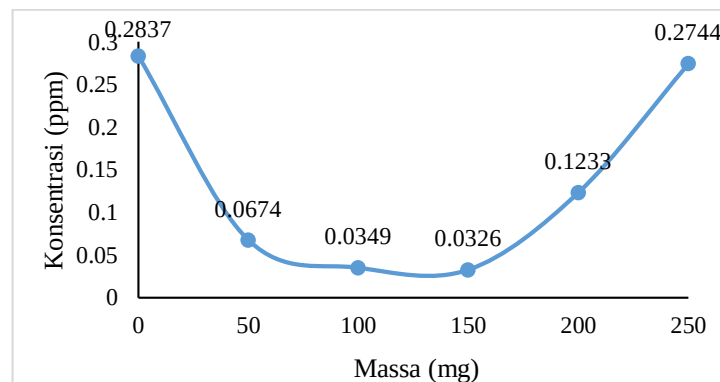


Gambar 2 Grafik Perbandingan Waktu terhadap Penyerapan Limbah Cobalt

Waktu terbaik penyerapan limbah cobalt ada pada menit ke 120, dan hal itu menandakan bahwa kepekatan limbah logam semakin berkurang dengan adanya kontak dengan adsorben (Kardiman et al., 2020).

C. Penentuan Massa Optimum Limbah Cair Logam Cadmium (Cd) dan Cobalt (Co) terhadap Tingkat Penyerapan Adsorben

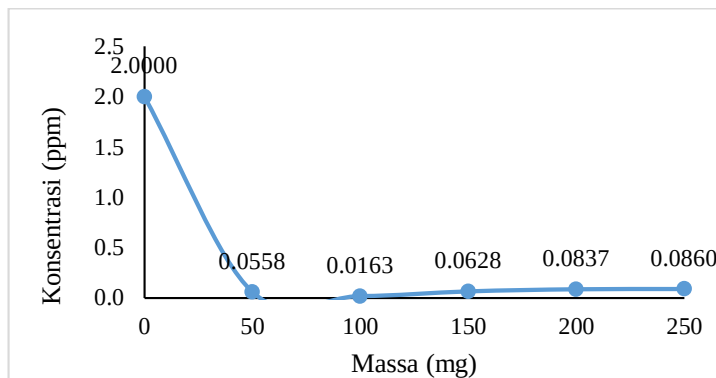
Pengamatan massa optimum terhadap tingkat penyerapan adsorben didasarkan pada waktu kontak optimum yang telah diperoleh, yaitu 120menit. Pengamatan massa optimum dilakukan dengan beda massa 50mg per sampel.



Gambar 3 Grafik Perbandingan Massa terhadap Penyerapan Limbah Logam Cadmium

Penurunan konsentrasi terkecil dari penyerapan limbah ada di bobot 150 mg dalam waktu terbaik yaitu 120 menit dengan hasil akhir sebesar 0.0326 ppm. Hal ini menunjukkan bahwa semakin banyak adsorben yang bersinggungan dengan limbah semakin banyak pula limbah yang terserap ini wajar sebab semakin banyak adsorben maka semakin banyak pula pori-pori adsorben yang kosong untuk diisi ion-ion logam limbah yang ada pada larutan, akan tetapi pada variabel massa 200, & 250 mg terjadi peningkatan konsentrasi limbahnya hal tersebut dikarenakan jumlah adsorben lebih banyak dari jumlah limbah cairnya yaitu 150 ml, sehingga kemungkinan kesempatan berinteraksinya molekul logam

pada limbah cair tidak efektif terhadap adsorben yang terlalu banyak (Azzahra & Taufik, 2020).



Gambar 4 Grafik Perbandingan Massa terhadap Penyerapan Limbah Logam Cobalt

Penurunan konsentrasi terkecil dari penyerapan limbah ada dibobot 100 mg dalam waktu terbaik yaitu 120 menit dengan hasil akhir sebesar 0.0163 ppm, pada dasarnya semua variasi memenuhi standar penyerapan cobalt yang baik dan sesuai standar SNI (SNI 6989.68 – 2009) akan tetapi pada variabel massa 150, 200, & 250 mg terjadi peningkatan konsentrasi limbahnya hal tersebut dikarenakan jumlah adsorben lebih banyak dari jumlah limbah cairnya yaitu 150 ml, sehingga kemungkinan berinteraksinya molekul logam pada limbah cair tidak efektif (Azzahra & Taufik, 2020).

4. KESIMPULAN

Dari hasil penelitian pemanfaatan limbah serbuk gergaji kayu bitti sebagai bioadsorben terhadap penyerapan logam Cadmium (Cd) dan Cobalt (Co) pada limbah cair Balai K3 Makassar diperoleh beberapa kesimpulan:

1. Waktu penyerapan terbaik untuk menyerap limbah logam Cadmium dan Cobalt adalah 120 menit.
2. Rasio massa terbaik untuk penyerapan logam Cadmium ada pada variasi massa 150mg dengan efektifitas sebesar 88.5%
3. Rasio massa terbaik untuk penyerapan logam Cobalt ada pada variasi 100mg dengan efektifitas sebesar 99,2%.
4. Arang aktif hasil pirolisis limbah serbuk kayu bitti yang dijadikan sebagai adsorben pada penelitian ini mampu menurunkan konsentrasi limbah logam berat Cadmium (Cd) sebesar 88,5% dari 0.2837 ppm menjadi 0.0326 ppm dan mampu menurunkan konsentrasi logam berat Cobalt (Co) sebesar 99.2% dari 2.000 ppm menjadi 0.0163 ppm.

5. UCAPAN TERIMA KASIH

Ucapan terima kasih ditujukan kepada segenap staf Laboratorium Fakultas Teknologi Industri Universitas Muslim Indonesia dan Laboratorium Pengujian Balai K3 Makassar tempat penelitian ini dilakukan.

6. DAFTAR PUSTAKA

- Anggarini, N. H., Stefanus, M., & Prihatiningsih, P. (2014). Pengelolaan dan Karakterisasi Limbah B3 di Pair berdasarkan Potensi Bahaya. *Jurnal Beta Gamma*, 5(1), 41–49.
- Audina, M., Apriani, I., & Kadaria, U. (2017). Pengolahan Limbah Cair Laboratorium Teknik Lingkungan dengan Koagulasi dan Adsorpsi untuk Menurunkan COD, Fe, dan Pb. *Jurnal Teknologi Lingkungan Lahan Basah*, 5(1), 1–10. <https://doi.org/10.26418/jtlb.v5i1.18012>
- Ayu Lestari, I., Alimuddin, A., & Yusuf, B. (2014). Adsorpsi Logam Kadmium (Cd) oleh Arang Aktif dari Tempurung Aren (*Arenga pinnata*) dengan Aktivator HCl. *Jurnal Kimia Mulawarman*, 12(1), 25–31.
- Azzahra, R. F., & Taufik, M. (2020). Bio-Adsorben Berbahan Dasar Limbah Ampas Teh (*Camellia Sinensis*) Sebagai Agent Penyerap Logam Berat Fe Dan Pb Pada Air Sungai. *Jurnal Kinetika*, 11(01), 65–70. Retrieved from <https://jurnal.polsri.ac.id/index.php/kimia/index65>
- Damanhuri, E. (2010). *Pengelolaan Bahan Berbahaya dan Beracun (B3)* (Diktat Kul). Bandung: Institusi Teknologi Bandung.
- Harahap, S. (2018). *Pemanfaatan Ampas Tebu Sebagai Adsorben Zat Warna Methylene Blue Dan Malachite Green*. Universitas Islam Negeri Syarif Hidayatullah Jakarta.
- Hasan, S., Aladin, A., Syarif, T., & Arman, M. (2020). Pengaruh Penambahan Gas Nitrogen Terhadap Kualitas Charcoal Yang Diproduksi Secara Pirolisis Dari Limbah Biomassa Serbuk Gergaji Kayu Ulin (*Euxideroxylon Zwageri*). *Journal of Chemical Process Engineering*, 5(1), 61–68. <https://doi.org/10.33536/jcpe.v5i1.472>
- Ifa, L., Akbar, M., Fardi Ramli, A., & Wiyani, L. (2018). Pemanfaatan Cangkang Kerang dan Cangkang Kepiting sebagai Adsorben Logam Cu, Pb dan Zn pada Limbah Industri Pertambangan Emas. *Journal Of Chemical Process Engineering*, 3(1), 27. <https://doi.org/10.33536/jcpe.v3i1.191>
- Kardiman, K., Ifa, L., & Rasyid, R. (2020). Pembuatan Adsorben dari Sabut Kelapa Sebagai Penyerap Logam Berat Pb(II). *ILTEK : Jurnal Teknologi*, 14(2), 2083–2087. <https://doi.org/10.47398/iltek.v14i2.421>
- Lachner, Andreas; Backfisch, Iris; Hoogerheide, Vincent; van Gog, Tamara; & Renkl, Alexander. Timing Matters! Explaining Between Study Phases Enhances Students' Learning. *Journal of Educational Psychology*, Volume 112, Issue 4, 2020, pp. 841–853. <https://doi.org/10.1037/edu0000396>
- Masruhin, M., Rasyid, R., & Yani, S. (2018). Penjerapan Logam Berat Timbal (Pb) dengan menggunakan Lignin Hasil Isolasi Jerami Padi. *Journal Of Chemical Process Engineering*, 3(1), 6. <https://doi.org/10.33536/jcpe.v3i1.188>
- Mustafiah, M., Darnengsih, D., Sabara, Z., & Abdul Majid, R. (2018). Pemanfaatan Kitosan Dari Limbah Kulit Udang Sebagai Koagulan Penjernihan Air. *Journal Of Chemical Process Engineering*, 3(1), 21. <https://doi.org/10.33536/jcpe.v3i1.190>
- Patri, N., Azis, E. R., & Soebrata, B. M. (2012). *Adsorpsi Ion Cr (III) dan Cr (VI) Menggunakan Bentonit Temodifikasi Oksida Besi*. IPB Bogor.
- Rohaeti, E., Febriyanti, T. N., & Batubara, I. (2010). Pengolahan Limbah Cair dari Kegiatan Praktikum Analisis Spot Test dengan Koagulasi menggunakan Polialuminium Klorida. In *Prosiding Seminar Nasional Teknologi Pengelolaan Limbah IX* (pp. 141–148).
- Suardana, I. N. (2008). Optimalisasi Daya Adsorpsi Zeolit terhadap Ion Kromium(III). *Jurnal Penelitian Dan Pengembangan Sains Dan Humaniora Undiksha*, 2(1), 17–33. <https://doi.org/10.15408/jkv.v2i1.3104>
- Supraptini, S. (2002). Pengaruh Limbah Industri terhadap Lingkungan di Indonesia. *Media Litbang Kesehatan*, XII(2), 10–19.
- Widowati, W., Sastiono, A., & Jusuf, R. R. (2008). *Efek Toksik Logam Pencegahan dan Penanggulangan Pencemaran*. Yogyakarta: Penerbit Andi.