

BIO-ADSORBEN BERBAHAN DASAR LIMBAH AMPAS TEH (CAMELLIA SINENSIS) SEBAGAI AGENT PENYERAP LOGAM BERAT FE DAN PB PADA AIR SUNGAI

BIO-ADSORBENT FROM WASTE TEA LEAVES (CAMELLIA SINENSIS) AS HEAVY METAL FE AND PB ADSORPTION AGENT IN RIVER WATER

Rizanti Fadilah Azzahra*¹, Muhammad Taufik¹

¹Politeknik Negeri Sriwijaya / Teknik Kimia

Jl. Srijaya Negara, Bukit Lama, Bukit Besar, Kota Palembang, Sumatera Selatan 30139, Telp 0711353414
e-mail : *rizantifadilah@gmail.com

ABSTRACT

The aims of this study were to examine the effectiveness of tea waste as adsorbent by variation of difference in mass of adsorbent which is 0,25, 0,50, and 0,75 grams and contacting time is 5,10 and 15 minutes. This study began with downsizing the size of tea waste become 200 mesh, then was performed a chemical activation by soaking tea waste with HCl 0,1 N for ± 24 hours. The adsorption was performed by contacting adsorbent with a solution of sample is based on contacting time and mass of adsorbent. The concentration of resulting solution was analyzed using AAS. Based on the result, the highest Fe absorption percentage can be obtained from waste tea leaves bioadsorbent that is 80,78% at 0,75 gram adsorbent weight with 15 minute contact time, while highest Pb absorption percentage can be obtained from tea waste adsorbent that is 93,75% at 0,75 gram adsorbent weight with 15 minute contact time.

Key words: Adsorption, Tea Waste, Removal, AAS

1. PENDAHULUAN

Latar Belakang

Pemanfaatan perairan seperti air sungai sebagai sumber air bersih masih banyak dilakukan masyarakat di Indonesia, baik yang diambil secara langsung maupun yang diolah oleh PDAM. Meskipun demikian, sungai-sungai di Indonesia memiliki beberapa permasalahan terutama dari segi kualitas air sungai. Berdasarkan data yang diperoleh dari Kementerian Lingkungan Hidup dan Kehutanan, sejak tahun 2010 hingga 2015 kualitas air di Sungai mengalami penurunan. Bahkan di beberapa kawasan telah dikategorikan tercemar berat. Beberapa pencemar yang ditemukan di dalam kandungan air adalah logam Fe dan Pb. Keberadaan logam berat di perairan dapat berasal dari berbagai sumber, antara lain dari kegiatan pertambangan, rumah tangga dan limbah industri.

Perairan yang merupakan sumber aktivitas masyarakat di Indonesia saat ini memiliki kandungan logam berat yang cenderung tinggi. Adanya kandungan Fe dalam air menyebabkan warna air tersebut berubah menjadi kuning kecoklatan setelah beberapa saat kontak dengan udara. Kandungan Fe dapat menyebabkan gangguan kesehatan seperti gangguan pada usus, bau yang kurang enak serta menyebabkan warna kuning pada dinding bak penampungan. Selain itu, keracunan besi menyebabkan permealitas dinding pembuluh

darah kapiler meningkat sehingga plasma darah merembes keluar yang mengakibatkan volume darah menurun.

Keberadaan Cu dalam air juga berbahaya karena logam Cu merupakan salah satu logam berat yang termasuk bahan beracun dan berbahaya. Logam Cu dapat terakumulasi di otak, jaringan kulit, hati, pankreas dan miokardium.

Salah satu cara pengelolaan air yaitu dengan metode adsorpsi yang merupakan metode untuk menghilangkan polutan organik. Dalam beberapa tahun terakhir, banyak penelitian telah berfokus pada proses adsorpsi karena dinilai lebih efektif, preparasi mudah dan pembiayaan yang relatif murah dibanding metode lainnya. Salah satu material yang dapat dipertimbangkan sebagai adsorben adalah ampas teh. Oleh karena itu, melihat dari segi permasalahan yang terjadi dan keterkaitannya dengan metode adsorpsi maka perlu adanya tindakan lebih lanjut untuk meneliti serta menguji keefektifan ampas teh sebagai adsorben alternatif dalam menyerap logam Fe dan Cu yang terkandung di dalam air

Limbah Ampas Teh

Ampas teh merupakan limbah organik yang berasal dari daun teh yang sudah diseduh. Ampas teh sering dibuang begitu saja tanpa diolah terlebih dahulu.

Hampir 90% Ampas teh banyak mengandung selulosa dengan kadar cukup tinggi, yaitu sekitar 33,54% dari berat keringnya. Oleh sebab itu, ampas teh banyak dimanfaatkan sebagai pupuk, pakan ternak, bahan kosmetik alami, dan adsorben oleh masyarakat, karena bahannya yang murah, mudah didapat, dan ramah lingkungan (Jasmin dkk., 2012).

Limbah ampas teh dapat diklasifikasikan sebagai adsorben karbon. Sifat fisik yang dimiliki limbah ampas teh seperti kapasitas permukaan yang luas dan kinetika adsorpsinya yang cepat membuat limbah ampas teh cocok digunakan sebagai adsorben ramah lingkungan dengan modal minim dan ketersediaan bahan baku yang mudah didapat.

Berdasarkan penelitian yang dilakukan oleh Jasmin dkk., limbah ampas teh mampu menghilangkan kandungan logam berat seperti Zn, Ni, Fe, Pb, dan Cu. Kandungan dalam ampas teh yang berperan penting dalam menurunkan kadar logam tersebut tidak lain ialah selulosa. Selulosa memiliki gugus fungsi yang dapat melakukan pengikatan dengan ion logam. Gugus fungsi tersebut terutama gugus karboksil dan hidroksil.

Penerapan inovasi limbah ampas teh sebagai adsorben ini juga diharapkan dapat menjadi alternatif bahan dasar dalam pembuatan karbon aktif yang biasa menggunakan material seperti bambu, sabut dan tempurung kelapa, arang, dan lignit (batu bara cokelat) yang cenderung susah didapat.

Adsorben

Adsorben merupakan bahan padat dengan luas permukaan dalam yang sangat besar. Permukaan yang luas ini terbentuk karena banyaknya pori-pori yang halus pada padatan tersebut (Distika dkk, 2017). Adsorben yang umum digunakan dalam pengolahan air ialah karbon aktif. Karbon aktif dibuat dari material padat yang mengandung banyak unsur karbon seperti sabut dan tempurung kelapa, bambu, arang hasil pembakaran kayu, dan lignit (batu bara cokelat) yang kemudian diaktivasi baik secara fisik maupun kimia yang bertujuan untuk memperbesar permukaan adsorben.

Seiring pesatnya pertumbuhan industri di Indonesia, maka jumlah limbah yang dihasilkan akan semakin tinggi pula. Limbah yang dihasilkan industri ini kebanyakan mengandung logam berat dan biasa dibuang ke perairan sehingga perairan menjadi tercemar kandungan logam. Sejalan dengan ini, permintaan akan karbon aktif pun juga tinggi mengingat tingginya kadar cemaran air di Indonesia. Namun sayangnya, pemenuhan akan kebutuhan karbon aktif tersebut masih dilakukan dengan cara impor dari luar negeri. Kepala Pusat Penelitian dan Pengembangan Teknologi Mineral

dan Batubara (Puslibang TekMIRA), Hermansyah melaporkan pada tahun 2017 kebutuhan akan karbon aktif mencapai lebih dari 200 ton per bulan dan 47% pemenuhannya didapat dengan cara diimpor dari Cina. Padahal, jika ditinjau dari ketersediaan bahan baku, Indonesia merupakan negara yang sangat kaya akan sumber daya alam sehingga sangat memungkinkan untuk memenuhi kebutuhan pasar nasional dengan bahan baku dari dalam negeri.

Limbah ampas teh dapat digunakan sebagai adsorben untuk menyerap logam dalam air yang tercemar sehingga dihasilkan kualitas air baik dari segi fisik maupun kimia yang baik. Limbah ampas teh akan diaktivasi dengan zat kimia yang menjadikan kapasitas permukaannya menjadi lebih besar sehingga dapat mengadsorpsi logam dalam air secara maksimal. Adsorben limbah ampas teh ini selain bahan bakunya yang minim biaya dan mudah didapat, diharapkan juga dapat membantu mengurangi kuantitas ampas teh yang tidak terpakai lagi dengan cara memaksimalkan kegunaannya sebagai adsorben ramah lingkungan.

Logam Fe dan Pb Dalam Air

Logam merupakan zat murni organik dan anorganik yang berasal dari kerak bumi. (Wike, 2016). Logam berat adalah logam dengan berat jenis lebih besar dari 5 gr/cm³ dan mempunyai nilai atom lebih besar dari 21 dan terletak di bagian tengah daftar periodik (Wike, 2016).

Berdasarkan kegunaannya, logam berat dapat dibedakan atas dua golongan, yaitu golongan esensial yang dalam konsentrasi tertentu berfungsi sebagai mikronutrien yang bermanfaat bagi kehidupan organisme perairan seperti Zn, Fe, Cu, Co. Selanjutnya adalah golongan yang sama sekali belum diketahui manfaatnya bagi organisme perairan (non esensial), seperti Hg, Cd, dan Pb (Wike, 2016).

Keberadaan besi dalam air bersifat terlarut, menyebabkan air menjadi merah kekuning-kuningan, bau amis, dan membentuk lapisan seperti minyak (Laili dkk, 2019). Air minum dengan kadar besi tinggi, cenderung menimbulkan rasa mual apabila dikonsumsi dan dapat merusak dinding usus yang dapat menyebabkan kematian. Kadar Fe lebih dari 1 mg/L akan menyebabkan iritasi pada mata dan kulit, dan apabila kelarutan besi lebih dari 10 mg/L akan menyebabkan air berbau seperti telur busuk (Laili dkk, 2019). Berdasarkan Peraturan Menteri Kesehatan (Permenkes) No.492 Tahun 2010, disebutkan bahwa kandungan Fe dalam air tidak boleh melebihi nilai baku mutu, yaitu sebesar 0,3 mg/l untuk dikatakan sebagai air minum yang layak konsumsi.

Menurut Palar (2004) pada konsentrasi 0,01 ppm fitoplankton akan mati karena Cu menghambat aktivitas enzim dalam pembelahan sel fitoplankton. Konsentrasi Cu dalam kisaran 2,5 – 3,0 ppm dalam badan perairan akan membunuh ikan- ikan. Oleh karena itu, menurut PP No. 82 Tahun 2001 kadar Fe maksimum yang diperbolehkan pada air baku adalah 0,02 mg/L. Sehingga diperlukan teknik pengolahan untuk menurunkan kadar Fe dan Cu pada air.

2. METODE PENELITIAN

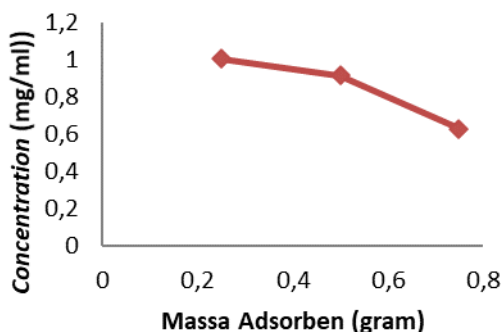
Berdasarkan Larasati (2015) dalam Pratama dkk., (2017), efektivitas adsorpsi logam Fe dan Pb dapat dianalisa dengan menghitung efektivitas penurunan (Ef), yaitu kandungan logam berat awal (Yi) dikurangi dengan kandungan logam berat akhir (Yf) per kandungan logam berat awal (Yi) dalam mg/ml seperti pada persamaan di bawah ini.

$$Ef = \frac{Y_i - Y_f}{Y_i} \times 100\% \dots \dots \dots (1)$$

Bahan yang digunakan ialah sampel air Sungai Musi, limbah ampas teh, HCl, peralatan gelas, *magnetic stirrer*, dan ayakan 200 *mesh*. Dalam menganalisa kadar Fe dan Pb setelah air sungai dikontakkan dengan adsorben ampas teh, digunakan instrumen *Atomic Absorption Spechtrophotometer* (AAS) (GBC Savant *Atomic Absorption Spechtrophotometer*).

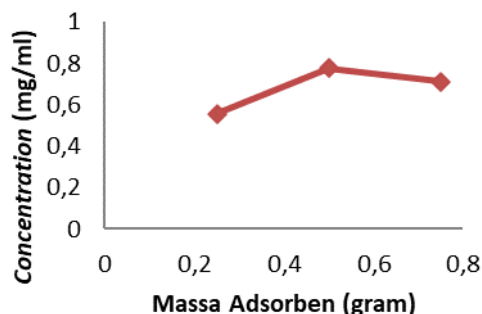
3. HASIL DAN PEMBAHASAN

Pada penelitian yang dilakukan, efektivitas adsorpsi logam Fe (besi) dan Pb (timbal) ditentukan dengan variasi massa adsorben yang digunakan yaitu 0,25 gram, 0,50 gram dan 0,75 gram serta perbedaan waktu kontak yaitu 5 menit, 10 menit dan 15 menit dengan volume sampel air sungai yang digunakan sebanyak 25 mL. Setelah dilakukan penentuan efektivitas bioadsorben *waste tea leaves* untuk penurunan kadar besi (Fe) dan timbal (Pb) di dalam air sungai musu dengan menggunakan instrumen AAS, didapatkan hasil seperti terlihat pada gambar 1, gambar 2, dan gambar 3.



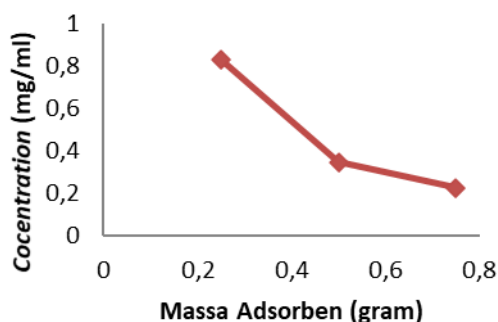
Gambar 1. Adsorpsi logam Fe pada waktu kontak 5 menit

Pada Gambar 1 menunjukkan bahwa seiring dengan penambahan massa adsorben maka kadar Fe juga menurun selama dikontakkan dalam waktu 5 menit. Namun, penurunan yang terjadi belum maksimal sehingga perlu dilakukan pengecekan dengan waktu yang berbeda.



Gambar 2. Adsorpsi logam Fe pada waktu kontak 10 menit

Gambar 2 memperlihatkan terjadi peningkatan kadar Fe seiring dengan penambahan adsorben dengan waktu kontak yang digunakan sebesar 10 menit.



Gambar 3. Adsorpsi logam Fe pada waktu kontak 15 menit

Pada Gambar 3 menunjukkan semakin banyak adsorben yang digunakan, semakin besar pula penurunan kadar Fe. % efektivitas penyerapan logam Fe dengan perbedaan massa adsorben yang paling tinggi yaitu 80,78% pada massa adsorben 0,75 gram dengan waktu pengontakan selama 15 menit.

Tabel 1. Hasil Perhitungan Efektivitas Adsorpsi Logam Fe

| Massa Adsorben (gram) | Waktu (menit) | Efektivitas (%) |
|-----------------------|---------------|-----------------|
| | | Fe |
| 0.25 | 5 | 14.37 |
| 0.50 | | 22.10 |
| 0.75 | | 46.51 |
| 0.25 | 10 | 52.72 |
| 0.50 | | 33.92 |
| 0.75 | | 39.45 |
| 0.25 | 15 | 29.25 |
| 0.50 | | 70.57 |
| 0.75 | | 80.78 |

Berdasarkan perhitungan efektivitas adsorpsi logam Fe pada Tabel 1 menunjukkan bahwa hubungan antara massa adsorben dan % efektivitas adsorpsi berbanding lurus, dimana semakin tinggi massa adsorben yang digunakan maka % efektivitas adsorpsi logam semakin tinggi. Hal tersebut sesuai dengan hasil penelitian yang dilakukan oleh Krisnawati (2013), dimana konsentrasi ion logam akan semakin menurun seiring dengan bertambahnya jumlah adsorben yang digunakan. Jumlah adsorben yang semakin banyak akan memperluas penyerapan ion logam yang ada pada suatu larutan sehingga % efektivitas adsorpsi pun akan semakin meningkat.

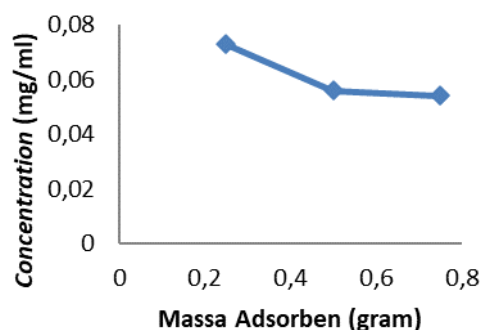
Selain massa adsorben, nilai % efektivitas penyerapan juga dipengaruhi oleh waktu kontak, dimana semakin lama waktu kontak antara adsorben dan adsorbat, maka akan semakin banyak juga ion yang dapat diserap.

Berdasarkan Tabel 1, maka dapat diketahui % efektivitas penyerapan logam Fe dengan perbedaan massa adsorben yang paling tinggi yaitu 80,78% pada massa adsorben 0,75 gram dengan waktu pengontakan 15 menit. Dari hasil tersebut, maka hal ini sesuai dengan pernyataan Krisnawati (2013) bahwa semakin besar massa adsorben yang digunakan dengan waktu kontak yang semakin lama maka semakin tinggi nilai % efektivitas penyerapan logam yang terjadi. Kadar logam Fe yang diserap oleh adsorben *waste tea leaves* memiliki konsentrasi sebesar 0,226 ppm yang berarti masih di bawah ambang batas maksimal kadar Fe menurut Permenkes 462 Tahun 2010 yang mana kadar maksimal logam Fe sebesar 0,3 ppm.

Tabel 2. Hasil Perhitungan Efektivitas Adsorpsi Logam Pb

| Massa Adsorben (gram) | Waktu (menit) | Efektivitas (%) |
|-----------------------|---------------|-----------------|
| | | Pb |
| 0.25 | 5 | 42.96 |
| 0.50 | | 56.25 |
| 0.75 | | 57.81 |
| 0.25 | 10 | 62.50 |
| 0.50 | | 72.65 |
| 0.75 | | 75.78 |
| 0.25 | 15 | 78.90 |
| 0.50 | | 91.40 |
| 0.75 | | 93.75 |

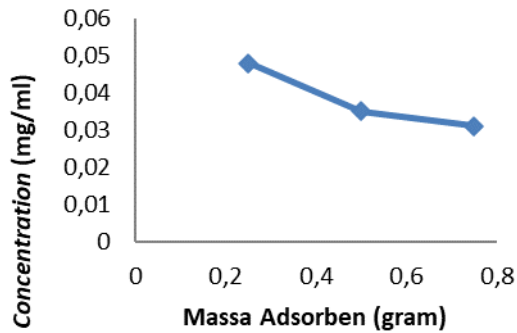
Pada adsorpsi logam Pb, berdasarkan Tabel 2 dapat dilihat bahwa % efektivitas penyerapan logam Pb dengan perbedaan massa adsorben yang paling tinggi yaitu 93,75% pada massa adsorben 0,75 gram dengan waktu pengontakan 15 menit. Kadar logam Pb yang diserap oleh adsorben *waste tea leaves* memiliki konsentrasi sebesar 0,008 ppm. Hal ini berarti kadar Pb yang diserap masih di bawah ambang batas maksimal kadar Pb menurut Permenkes 462 Tahun 2010 yang mana kadar maksimalnya sebesar 0,01 ppm.



Gambar 4. Adsorpsi logam Pb pada waktu kontak

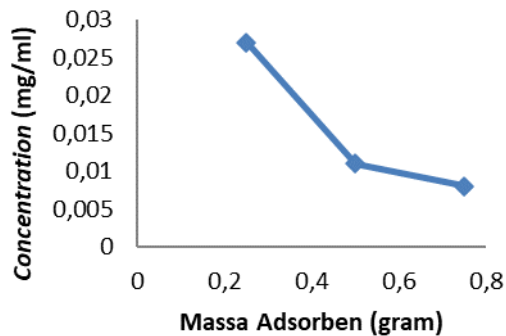
5 menit

Gambar 4 memperlihatkan penurunan kadar Pb dalam sampel air seiring dengan penambahan massa adsorbennya. Pada waktu pengontakan selama 5 menit, penyerapan tertinggi terdapat pada massa adsorben 0,75 gram dengan konsentrasi logam Pb tersisa sebesar 0,054 mg/mL dan efektivitas penyerapan sebesar 57,81%.



Gambar 5. Adsorpsi logam Pb pada waktu kontak 10 menit

Pada gambar 5, terlihat bahwa penurunan kadar Pb dalam sampel terbesar terjadi pada penambahan massa adsorben sebesar 0,75 gram dengan waktu kontak selama 10 menit, dengan nilai Pb tersisa sebesar 0,031 gram dan efektivitas sebesar 75,78%.



Gambar 6. Adsorpsi logam Pb pada waktu kontak 15 menit

Penurunan kadar Pb dalam sampel terlihat signifikan seperti ditunjukkan pada gambar 6. Pada massa adsorben 0,75 gram dengan waktu pengontakan selama 15 menit, memiliki kadar adsorpsi tertinggi dengan kandungan Pb yang tersisa adalah sebesar 0,008 mg/mL dan nilai efektivitas sebesar 93,75%.

Besarnya efektivitas adsorpsi berbanding lurus dengan banyaknya jumlah adsorben yang ditambahkan. Terlihat bahwa konsentrasi ion logam semakin menurun seiring dengan penambahan massa adsorben. Dari penelitian yang dilakukan juga didapat nilai efektivitas yang besar pada waktu kontak paling lama. Ini menunjukkan bahwa semakin lama adsorben dikontakkan dengan sampel, maka semakin efektif pula proses adsorpsi terjadi. Lamanya waktu kontak adsorben dengan sampel juga berpengaruh pada efektivitas adsorpsi ion logam. Berikut tabel perbandingan antara penelitian yang dilakukan dengan penelitian terdahulu seperti ditunjukkan pada Tabel 3.

Tabel 3. Perbandingan Hasil Penelitian Bioadsorben

| Sampel | Adsorben | Kandungan yang dianalisa | Aktivator | Hasil Penelitian | Referensi |
|---|----------------------|--------------------------|-----------------|--|-----------------------|
| Larutan Logam Berat Kadmium (Cd) | Cangkang Telur Bebek | Cd | Tidak Diketahui | Cd Efektivitas = 64,6667% | Krisnawati dkk (2013) |
| Larutan Pb(NO ₃) ₂ | Limbah Ampas Teh | Pb | HCl NaOH | Kapasitas penyerapan maksimum = 166,6 mg/g Fe Efektivitas = 94,25% | Cheraghi dkk. (2015) |
| Air Sungai Mahakam | Limbah Ampas Teh | Fe Cu | HCl | Cu Efektivitas = 72,34% Fe Efektivitas = 80,78% | Pratama dkk. (2017) |
| Air Sungai Musi | Limbah Ampas Teh | Fe Pb | HCl | Pb Efektivitas = 93,75% | Penelitian |

Berdasarkan hasil penelitian mengenai adsorben limbah ampas teh dari beberapa artikel yang disajikan pada Tabel 3, diperoleh % efektivitas Fe tertinggi sebesar 94,25% oleh Pratama dkk. (2017) dibandingkan penelitian yang lain. Sampel yang

digunakan yaitu air sungai Mahakam. Sedangkan pada analisa kadar Pb diperoleh kapasitas penyerapan maksimum sebesar 166,6 mg/g dalam penelitian Cheraghi, dkk (2015).

Ditinjau dari hasil tersebut, dapat dikatakan bahwa semakin besar massa adsorben yang digunakan dengan waktu kontak yang semakin lama maka semakin tinggi nilai % efektivitas penyerapan logam yang terjadi sesuai dengan pernyataan Krisnawati dkk. (2013).

4. SIMPULAN

Adapun kesimpulan yang diperoleh dari tulisan ini yaitu :

1. Efektivitas adsorpsi tertinggi menggunakan bioadsorben *waste tea leaves* pada sampel air Sungai Musi adalah sebesar 80.78% untuk logam Fe dan 93,75% untuk logam Pb dengan massa sebesar 0,75 gram dan waktu kontak selama 15 menit.
2. Semakin banyak jumlah adsorben dan semakin lama waktu kontak terhadap sampel, maka semakin banyak konsentrasi logam yang teradsorpsi sehingga semakin meningkat pula efektivitas adsorpsinya.
3. Bioadsorben *waste tea leaves* dapat digunakan sebagai alternatif adsorben karena sifatnya yang ramah lingkungan, efektif, ekonomis, dan ketersediaan bahan bakunya yang melimpah.

DAFTAR PUSTAKA

- Fernianti, D., Mardwita, dan L. Suryati. 2017. *Pengaruh Jenis Detergen Dan Rasio Pengenceran Terhadap Proses Penyerapan Surfaktan Dalam Limbah Detergen Menggunakan Karbon Aktif Dari Ampas Teh*. Jurnal Distilasi. 2(2) : 10 – 14.
- Fitriyah, Anita W., Utomo, Y., Kusumaningrum, Irma K. 2012. *Analisis Kandungan Tembaga (Cu) dalam Air dan Sedimen di Sungai Surabaya*, Jurnal Kimia Universitas Negeri Malang : 1-8.
- Graham H. N.; *Green tea composition, consumption, and polyphenol chemistry*; Preventive Medicine 21(3):334-50 (1992).
- Krisnawati, Jasinda dan Iriany. 2013. *Penjerapan Logam Kadmium (Cd^{2+}) dengan Adsorben Cangkang Telur Bebek yang Telah Diaktivasi*, Jurnal Teknik Kimia USU : 2(3), 29-32.
- Larasati, A. I., Susanawati, L. D dan Suharto, B. 2015. *Efektivitas Adsorpsi Logam Berat pada Air Lindi menggunakan Media Karbon Aktif, Zeolit, dan Silika Gel di TPA Tlekung, Batu*. Jurnal Sumberdaya Alam dan Lingkungan : 44-48.
- Maulana, I., A. Iryani, dan H. Nashrianto. 2017. *Pemanfaatan Ampas Teh Sebagai Adsorben Ion Kalsium (Ca^{2+}) dan Ion Magnesium (Mg^{2+}) dalam Air*. Sadah. <https://www.researchgate.net/publication/32128944> 2. 23 Februari 2020 (10:00).
- Mehrdad, C., Soheil, S., Raziye, Z., Bahareh, L., & Hajar, M. (2015). *Removal of Pb (II) from Aqueous Solutions Using Waste Tea Leaves*. *Iranian Journal of Toxicology*, 9, 1247-1253.
- Peraturan Menteri Kesehatan Republik Indonesia Nomor 492 Tahun 2010 *Persyaratan Kualitas Air Minum*. 19 April 2010. Jakarta.
- Pratama, D. 2017. *Efektivitas Ampas Teh Sebagai Adsorben Alternatif Logam Fe Dan Cu Pada Air Sungai Mahakam*. Jurnal Integrasi Proses. 6(3) : 131-138
- Purwaningsih, L., Rachmaniyah, dan P. Hermiyanti. 2019. *Penurunan Kadar Besi (Ii) Pada Air Bersih Menggunakan Ampas Daun Teh Diaktivasi*. Jurnal GEMA Lingkungan Kesehatan. 17(2): 92 – 99.
- Retnowati. 2005. *Efektivitas Ampas Teh Sebagai Adsorben Alternatif Limbah Cair Industri Tekstil*. Skripsi. Fakultas Matematika Dan Ilmu Pengetahuan Alam Institut Pertanian Bogor. Bogor.
- Shah, J., Jan, M. R., Haq, A. ul, & Zeeshan, M. (2015). *Equilibrium, kinetic and thermodynamic studies for sorption of Ni (II) from aqueous solution using formaldehyde treated waste tea leaves*. *Journal of Saudi Chemical Society*, 19(3), 301–310. doi:10.1016/j.jscs.2012.04.004
- Towaha, Juniaty. 2013. *Kandungan Senyawa Kimia pada Daun Teh (Camellia sinensis)*. Warta Penelitian dan Pengembangan Tanaman Industri, 19(3) : Balitri
- Wen, Tao; Wang, Jian; Li, Xing; Huang, Shuyi; Chen, Zhongshan; Wang, Suhua; Hayat, Tasawar; Alsaedi, Ahmed; Wang, Xiangke (2017). *Production of a generic magnetic Fe₃O₄ nanoparticles decorated tea waste composites for highly efficient sorption of Cu(II) and Zn(II)*. *Journal of Environmental Chemical Engineering*, 5(4), 3656–3666. doi:10.1016/j.jece.2017.07.022