

## ***Biochar From Sawdust Modified Mahogany Magnetite ( $Fe_3O_4$ ) to Reduce Chromium Metal Levels in Batik***

### **Biochar Dari Serbuk Gergaji Kayu Mahoni Termodifikasi Magnetite ( $Fe_3O_4$ ) Untuk Menurunkan Kadar Logam Kromium Dalam Limbah Batik**

Nova Restu Nur Ardiyanto<sup>\*</sup>, Try Nur Arisky dan Baiq Mila Fadilla

*Program Studi Kimia, Jurusan Kimia, Fakultas MIPA, Universitas Islam Indonesia  
Jl. Kaliurang KM.14,5, Yogyakarta 55584, Indonesia*

<sup>\*</sup>Corresponding author: nrardianto@gmail.com

Diterima: 8 Mei 2020, Direvisi 25 Mei 2020, Diterbitkan: 10 Juni 2020

#### ***Abstract***

*This study will highlight the potency of Mahogany wood biochar as an adsorbent for Cr (VI) in Batik wastewater. Adsorption is a good method for the treatment of certain types of waste. One promising adsorbent is activated carbon. Activated carbon can be prepared from materials that contain high carbon-based organic compounds such as cellulose and hemicellulose. Mahogany wood contains a lot of content such as cellulose, holocellulose, hemicellulose and lignin respectively 47.26%, 74.63%, 23.37% and 25.82%. The organic compounds contained rich Carbon are good raw material for biochar preparation. Biochar is a porous wood charcoal substance (porous). Biochar magnetic was remarkable material to reduce metal Cr (VI) from Batik wastewater. This study was concluded that Mahogany wood characteristics that are almost the same as other wood could potentially be used as raw materials for biochar for adsorption Cr (VI) from batik waste.*

**Keywords:** *biochar, magnetic, batik waste, Cr (VI), sawdusk, mahogany*

#### **Abstrak**

Penelitian ini akan menyoroti potensi biochar kayu Mahoni sebagai adsorben Cr(VI) pada limbah cair Batik. Adsorpsi adalah metode yang baik untuk pengolahan beberapa jenis limbah. Salah satu adsorben yang menjanjikan dalam proses adsorpsi adalah karbon aktif. Karbon aktif dapat dibuat dari bahan yang mengandung senyawa organik berbasis karbon tinggi seperti selulosa dan hemiselulosa. Kayu mahoni mengandung banyak kandungan seperti selulosa, holoselulosa, hemiselulosa dan lignin masing-masing 47,26%, 74,63%, 23,37% dan 25,82%. Senyawa organik yang kaya akan karbon merupakan bahan baku yang baik untuk pembuatan biochar. Biochar adalah zat arang kayu yang berpori (porous). Biochar magnetik merupakan kandidat adsorben untuk menurunkan kadar logam Cr(VI) dari limbah cair Batik. Penelitian ini menyimpulkan bahwa kayu mahoni memiliki karakteristik yang hampir sama dengan kayu lainnya, sehingga memiliki potensi untuk digunakan sebagai bahan baku biochar untuk adsorpsi Cr (VI) dari limbah batik.

**Kata kunci:** biochar, magnetik, limbah batik, Cr (VI), serbuk gergaji, kayu mahoni

## PENDAHULUAN

Sejak diakui oleh UNESCO sebagai negara pelopor batik pada tahun 2009, industri batik di Indonesia terus berkembang pesat hingga saat ini (Soesanti and Syahputra, 2016). Namun bagi pemerhati lingkungan perkembangan tersebut menyisakan pekerjaan rumah yaitu keberadaan limbah cair hasil pemrosesan kain batik yang belum mendapatkan perhatian hingga saat ini.

Dalam prosesnya, industri batik menghasilkan limbah sebanyak 80% dari jumlah air yang digunakan dalam proses produksi. Kandungan yang terdapat pada limbah cair industri batik berupa zat padat tersuspensi, zat organik, fenol, kromium (Cr), zat warna dan minyak lemak. Logam berat seperti kromium termasuk bagian dari komponen zat warna yang digunakan dalam proses pembuatan kain batik. Ion kromium dalam perairan dapat dijumpai dalam dua bentuk yaitu trivalen ( $\text{Cr}^{3+}$ ) dan heksavalen ( $\text{Cr}^{6+}$ ).

Secara toksisitas, kromium heksavalen lebih toksik dibandingkan jenis trivalen. Oleh karena itu keberadaan kromium bebas dalam perairan harus segera mendapatkan penanganan. Kromium bersifat karsinogenik dan dapat menumpuk dalam tubuh sehingga dapat menyebabkan ulserasi pada kulit dan

hidung, kanker kulit, hiperpigmentasi pada kulit dan mengindikasikan nekrosis tubulus ginjal (Upit Ratna Puspita, 2011).

Biochar magnetik merupakan salah satu rekayasa biochar yang menerapkan efisiensi tinggi untuk menghilangkan logam dari larutan air, biochar magnetik mempunyai keunggulan yang lebih dibandingkan dengan biochar tanpa magnetik karena mereka dapat dengan mudah digunakan kembali setelah dipakai (Zhang *et al.*, 2020). Sebagai contoh komposit karbon aktif memiliki kapasitas adsorpsi yang tinggi untuk limbah Cr (VI) sehingga dengan mudah digunakan setelah dipakai dikarenakan oleh sifat magnetik dari muatan  $\text{Fe}_2\text{O}_3$  dan  $\text{Fe}_3\text{O}_4$  yang terdapat dalam karbon aktif (Reguyal, Sarmah and Gao, 2017).

Pada penelitian yang telah dilakukan oleh Santoso, (2016) juga telah dibuktikan bahwa serbuk gergaji kayu mahoni dapat menurunkan kadar ion logam kromium (VI) (Santoso, 2016). Penelitian ini dikaji dalam bentuk *narrative review* melalui rangkaian analisis dan sintesis dari berbagai literatur dengan topik terkait.

Berbagai jenis kayu dan serbuk kayu dilaporkan dapat digunakan sebagai bahan biochar, namun serbuk gergaji kayu mahoni masih sedikit yang dikaji. Serbuk kayu mahoni yang menjadi sampah yang

melimpah dalam pembuatan mebel ini akan dikaji sebagai bahan pembuat biochar. Uji aktivitasnya dilakukan untuk menurunkan jumlah logam krom (VI) dari dalam limbah batik. Sebagai pengembangan, Biochar dalam kajian ini akan dimodifikasi dengan material magnetik supaya serbuk biochar yang telah digunakan dapat diambil dan digunakan kembali setelah proses perlakuan terhadap limbah. hal ini dilakukan untuk meningkatkan reusabilitas adsorben, karena adsorben yang sudah ada selama ini tidak dapat digunakan setelah treatment. Oleh karena itu, dalam penelitian ini mencoba untuk mencari literatur yang ada mengenai adsorben yang dikombinasikan dengan oksida magnetik ( $Fe_3O_4$ ).

Berdasarkan penelitian yang telah dilakukan oleh Martono, D. S., & Rahayu, S. (2017) mengatakan bahwa bagian batang dari pohon mahoni memiliki kandungan biomassa sekitar 54,07%, hal ini disebabkan karena bagian penyusun batang pohon mahoni yaitu zat penyusun kayu (jaringan xylem). Kayu mahoni tersusun dari selulosa, hemiselulosa, lignin, dan zat ekstraktif yang sebagian besar tersusun dari unsur karbon (Martono and Rahayu, 2017).

Karakteristik biochar berdasarkan sifat fisik dan sifat kimia sangat dipengaruhi oleh jenis bahan yang digunakan dan kondisi

proses pirolisis yaitu suhu dan waktu kontak. Sebagai contoh biochar yang terbuat dari kotoran ternak lebih tinggi kadar nutrisinya dibandingkan dengan biochar yang terbuat dari potongan kayu. Namun biochar yang terbuat dari potongan kayu memiliki gugus aromatik yang lebih banyak sehingga lebih stabil dalam jangka waktu yang lama. Secara fisika, biochar yang dihasilkan pada suhu  $400^{\circ}C$  mempunyai kapasitas serapan yang lebih kecil dan mikro-porositas yang lebih rendah daripada biochar yang dihasilkan pada suhu  $700^{\circ}C$  (Goenadi and Santi, 2020).

## **METODE PENELITIAN**

### *Alat dan Bahan*

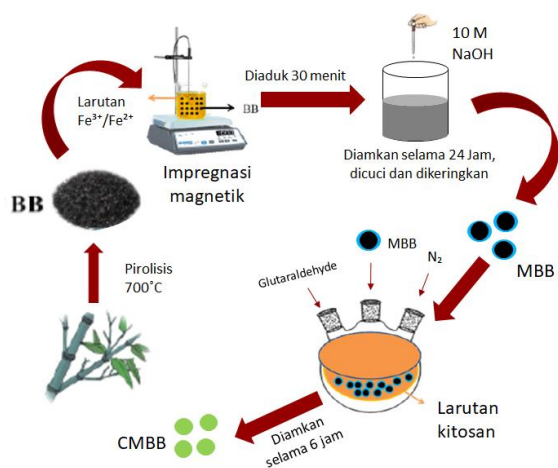
Bahan-bahan yang digunakan dalam penellitian ini adalah serbuk gergaji kayu mahoni dan asam pospat ( $H_3PO_4$ ).

Adapun alat-alat yang digunakan adalah alat gelas kimia dan furnace.

### **Preparasi Biochar**

Serbuk gergaji kayu mahoni di furnace pada suhu  $350^{\circ}C$  selama 1 jam kemudian dilakukan aktivasi menggunakan asam fosfat ( $H_3PO_4$ ) selama 4 jam.

### Biochar Magnetik



**Gambar 2.** Preparasi Biochar Magnetik Termodifikasi Kitosan

Berdasarkan penelitian yang telah dilakukan oleh Chen et al., (2011) , Harikishore Kumar Reddy & Lee, (2014), M. Zhang *et al.*, (2013), W. Zhang et al., (2013), dan Jung, Lee and Lee, 2017 terbukti bahwa biochar magnetik telah memberikan daya serap yang efektif, serta pemisahan dan daur ulang yang mudah.

#### Preparasi Biochar.

Berdasarkan penelitian yang telah dilakukan oleh Zhang *et al.*, (2020) preparasi biochar dari serbuk bambu dipirolisis pada suhu 700°C selama 2 jam lalu didinginkan pada suhu kamar setelah itu diperoleh biochar. Biochar magnetik dibuat dengan mencampurkan biochar dan air deionisasi ke dalam larutan  $Fe_2(SO_4)_3$  atau  $FeSO_4 \cdot 7H_2O$  dan diaduk pada suhu kamar

selama 30 menit lalu ditambahkan tetes demi tetes NaOH 10 M sampai pH akhir 10. Setelah satu jam pencampuran dan 24 jam pendinginan lalu disaring, dicuci, dikeringkan, dan diperoleh biochar magnetik. Biochar magnetik yang dihasilkan lalu dimodifikasi kitosan dengan cara mencampurkan biochar magnetik ke dalam larutan kitosan melalui pengocokan ultasonik selama 60 menit dan ditambahkan glutaraldehid tetes demi tetes. Setelah didiamkan selama 6 jam diperoleh gel hitam lalu dikumpulkan dan dikeringkan. Dicuci dengan asam asetat dan air deionisasi sebanyak 3 kali. Setelah itu dikeringkan diperoleh biochar magnetik termodifikasi kitosan

### PEMBAHASAN

Beberapa material magnetik telah digunakan untuk memodifikasi biochar, pada tabel ini menunjukkan tentang berbagai macam bahan dasar, material magnetik yang dapat digunakan sebagai modifikasi dalam pembuatan biochar magnetik.

| No | Bahan dasar        | Material magnetik | Ukuran partikel (µm) | aktivator |
|----|--------------------|-------------------|----------------------|-----------|
| 1  | Serbuk bambu       | $Fe_3O_4$         | 150                  | NaOH      |
| 2  | Kulit kacang tanah | $Fe_2O_3$         | 500-1000             | HCL       |
| 3  | Batang pisang      | $Fe_3O_4$         | -                    | NaOH      |

| No | Bahan dasar                               | Material magnetik         | Ukuran partikel ( $\mu\text{m}$ ) | aktivator      |
|----|---|---------------------------|-----------------------------------|----------------|
| 4  | Akar <i>Undaria pinanti</i> (rumput laut) | $\text{MgFe}_2\text{O}_4$ | -                                 | $\text{NaOH}$  |
| 5  | kinoa                                     | $\text{Fe}_3\text{O}_4$   | 0,0124                            | $\text{HNO}_3$ |

Berdasarkan tabel no. 3 menunjukkan bahwa biochar magnetik dari akar *Undaria pinnatifida* memiliki daya adsorpsi yang lebih besar daripada biochar magnetik dari bahan lain yakni sebesar  $487,99 \text{ mg g}^{-1}$  karena biochar magnetik ini mengadsorpsi fosfat dalam air. Selain itu biochar magnetik dari akar *Undaria pinnatifida* dimodifikasi dengan material magnetik  $\text{MgFe}_2\text{O}_4$ . Berdasarkan penelitian yang telah dilakukan oleh Al-Najer et al, (2016) menyatakan bahwa material magnetik  $\text{MgFe}_2\text{O}_4$  tidak larut dalam air dan memiliki kapasitas adsorpsi yang tinggi dan perilaku superparamagnetik yang khas pada suhu tertentu. Karakteristik tersebut yang sangat diinginkan untuk menghilangkan kontaminan dari limbah cair (Al-Najar et al., 2016).

Biochar magnetik dari kulit kacang tanah dan batang pisang memiliki daya adsorpsi masing masing sebesar  $77,54 \text{ mg g}^{-1}$  sedangkan biochar dari batang pisang memiliki daya adsorpsi sebesar  $37,86 \text{ mg g}^{-1}$ . Perbedaan daya adsorpsi ini karena ukuran

partikel, luas permukaan, jenis material magnetik yang digunakan dan juga kontaminan yang berbeda.

Biochar magnetik dari serbuk bambu memiliki daya adsorpsi sebesar  $127 \text{ mg g}^{-1}$  terhadap logam Kromium (Cr) sedangkan biochar magnetik dari kinoa memiliki daya adsorpsi sebesar  $77,35 \text{ mg g}^{-1}$  kedua biochar magnetik ini memakai material magnetik yang sama yaitu  $\text{Fe}_3\text{O}_4$ .

Magnetit ( $\text{Fe}_3\text{O}_4$ ) merupakan oksida besi magnet alam yang berupa padatan berwarna hitam. Senyawa magnetit ( $\text{Fe}_3\text{O}_4$ ) tersusun dari campuran Fe (II) berupa FeO dan Fe (III) berupa  $\text{Fe}_2\text{O}_3$  (Angriana, 2019). Berdasarkan penelitian yang telah dilakukan oleh Fan et al,(2012) menyatakan bahwa material magnetik dari  $\text{Fe}_3\text{O}_4$  merupakan material yang memiliki sifat magnet yang baik dibandingkan dengan maghemite ( $\gamma\text{-Fe}_2\text{O}_3$ ) dan hematite ( $\alpha\text{-Fe}_2\text{O}_3$ ) (Fan et al., 2012).

Parameter kromium (Cr) dipilih setelah melalui uji kadar logam limbah batik dengan AAS yang menunjukkan kandungan logam kromium jauh di atas mutu baku air bersih yaitu sebesar  $0,05 \text{ mg mg L}^{-1}$ . Murniati et al., 2015 juga mengungkapkan bahwa kromium merupakan salah satu kandungan logam berat yang bersifat toksik yang terdapat pada

limbah buangan industri batik. Kandungan kromium pada limbah cair menyebabkan iritasi jika mengenai kulit. Hal tersebut menunjukkan perlu adanya solusi untuk mengurangi kadar logam Cr pada limbah cair batik. Sumber logam berat kromium (Cr) berasal dari zat pewarna  $\text{CrCl}_3$  (chromium chloride),  $\text{K}_2\text{Cr}_2\text{O}_7$  (pottasium dichromate) maupun berasal dari zat mordan yaitu pengikat zat warna meliputi  $\text{Cr}(\text{NO}_3)_2$  (Darmawan, 2019).

**Tabel 1.** Kadar Krom Total dalam Limbah Cair Industri Batik

| No. | Baku Mutu (mg/L) | C (mg/L) | Ref                    |
|-----|------------------|----------|------------------------|
| 1.  | 1                | 14,37    | Wardani et al, 2014    |
| 2.  | 1                | 7        | Andriani, et. al, 2017 |
| 3.  | 0,5              | 4,6      | Natalina, et. al, 2018 |

Berdasarkan tabel tersebut terbukti bahwa kadar logam kromium yang terdapat pada limbah batik melebihi kadar yang telah ditetapkan oleh Peraturan Menteri Lingkungan Hidup Republik Indonesia Nomor 5 Tahun 2014 tentang baku mutu air limbah untuk logam Kromium yakni sebesar 1 mg/L.

Kromium pada perairan dapat dijumpai dalam dua bentuk yaitu dalam bentuk trivalen ( $\text{Cr}^{3+}$ ) dan heksavalen ( $\text{Cr}^{6+}$ ). Secara toksisitas, kromium heksavalen lebih toksik

dibandingkan jenis trivalen. Kromium heksavalen juga dilaporkan bersifat karsinogenik, mutagenik, dan teratogeni, serta dapat diserap 3-5 kali lebih banyak oleh organisme dibandingkan  $\text{Cr}^{3+}$ . Kasmiyati, (2018) menyatakan bahwa  $\text{Cr}^{6+}$  merupakan senyawa yang karsinogenik terhadap manusia, mampu mengiritasi, dan bersifat korosif.

Berbagai metode telah dikembangkan untuk mengatasi permasalahan lingkungan yang ditimbulkan oleh limbah batik, berikut ini beberapa metode yg telah digunakan dalam mengatasi logam kromium yang terdapat dalam limbah cair batik dan limbah laboratorium.

**Tabel 2.** Metode Pengolahan Limbah Batik

| No. | Metode                              | Penurunan kadar (%) |
|-----|-------------------------------------|---------------------|
| 1.  | Elektrolisis                        | 98,6                |
| 2.  | Zeolite alam                        | >98                 |
| 3.  | Presipitasi dan adsorpsi            | 97                  |
| 4.  | Adsorpsi (arang aktif)              | 79                  |
| 5.  | Adsorpsi (kitosan)                  | 52,86               |
| 6.  | Fitoremediasi                       | 49,56               |
| 7.  | Adsorpsi (Arang aktif kulit salak)  | 34,8                |
| 8.  | Adsorpsi (Arang aktif kulit durian) | 22,51               |

Berdasarkan tabel di atas dapat kita ketahui bahwa metode adsorpsi dengan zeolit alam memiliki persentase penurunan konsentrasi lebih tinggi daripada metode yang lainnya dalam menjerap limbah kromium yaitu diatas 98%. Zeolit alam yang berasal dari Wonosari dengan penyusun utama mordenit  $\text{Na}_8[\text{Al}_8\text{-Si}_{14}\text{O}_{96}]\cdot 24\text{H}_2\text{O}$  memiliki luas permukaan tinggi. Sifat yang dimiliki oleh zeolit yang tersusun dari mordenit ini memiliki kemampuan adsorpsi dan penyaring molekul yang tinggi sehingga pada hasil elusi mempunyai adsorpsi paling tinggi yaitu sekitar 99,97%. Namun penggunaan zeolit alam mempunyai kelemahan yaitu waktu jenuh atau keluarnya eluen yang sangat lama karena zeolit yang digunakan sangat lembut untuk sistem kolom. Kolom adsorpsi dapat menurunkan kadar logam Cr (VI) pada sampel limbah cair batik semakin tinggi pajang unggun maka akan semakin tinggi tingkat adsorpsinya namun semakin lama waktu elusinya (Darmawan, 2019).

Keberadaan serbuk kayu yang melimpah dari sisa proses penggergajian sangat berpotensi sebagai bahan dasar biochar. Rendemen industri penggergajian yang dihasilkan berkisar dari 50-60% terdiri dari serbuk gergaji kayu yang memiliki jumlah limbah serbuk gergaji kayu sebanyak

0,78 juta  $\text{m}^3$ /tahun (Pari, Widayati and Yoshida, 2009). Serbuk kayu yang digunakan sebagai bahan dasar biochar yaitu yang kaya akan selulosa. Berdasarkan uraian sebelumnya, biochar magnetik merupakan material yang prospektif dalam pengolahan limbah. Beberapa penelitian sebelumnya melaporkan bahwa biochar magnetik dari serbuk kayu digunakan sebagai bahan dalam pengolahan limbah.

Sebagian besar adsorben magnetik yang digunakan berupa inti magnetik dari oksida besi seperti  $\text{Fe}_3\text{O}_4$  karena diketahui bahwa fase magnetit itu merupakan magnetic yang baik (Angriana, 2019).

Berdasarkan penelitian sebelumnya terkait biochar, Semua adsorben yang dibuat berbentuk serbuk memiliki kelemahan yakni kegagalan dalam pemulihannya atau kesulitan memisahkan dengan material yang telah digunakan, sehingga banyak penelitian terbaru tentang penggunaan biochar magnetik. Biochar magnetik dapat dengan mudah dipulihkan setelah treatment yang dimana secara signifikan dapat mengurangi biaya pengolahan limbah. Hal ini menjadi salah satu solusi untuk mengurangi limbah sekunder yang dihasilkan.

**KESIMPULAN**

Serbuk gergaji kayu mahoni dapat dijadikan sebagai biochar untuk menjerap logam berat pada limbah batik, karena serbuk kayu mahoni mengandung kadar selulosa yang cukup tinggi, yaitu sebesar 47,26%. Berdasarkan penelitian sebelumnya biochar serbuk kayu dapat dimodifikasi dengan magnetik agar dapat digunakan kembali, sehingga biochar tersebut memiliki daya adsorpsi yang efektif serta pemisahan dan daur ulang yang mudah. Oleh sebab itu biochar serbuk kayu mahoni dapat dimodifikasi juga dengan magnetik sehingga dapat menurunkan kadar logam berat kromium (VI) dalam limbah batik.

**DAFTAR PUSTAKA**

Al-Najar, B. *et al.* (2016) 'Effect of synthesis route on the uptake of Ni and Cd by MgFe<sub>2</sub>O<sub>4</sub> nanopowders', *Applied Physics A*, 123.

Andriani, R. and Hartini (2017) 'Toksitas Limbah Cair Industri Batik Terhadap Morfologi Sisik Ikan Nila Gift (*Oreochromis Niloticus*)', *Jurnal SainHealth*, 1(2), pp. 32–40.

Angriana, F. (2019) 'Modifikasi Karbon Aktif dari Tempurung Kelapa Sawit (*Elaeis guineensis* Jacq.) dengan Teknik Pelapisan Magnetit sebagai Adsorben zat awarna Metilen Biru', *skripsi*, 53(9), pp. 1689–1699.

Chen, B., Chen, Z. and Lv, S. (2011) 'A novel magnetic biochar efficiently sorbs organic pollutants and phosphate', *Bioresource Technology*, 102(2), pp. 716–723.

Darmawan, D. (2019) 'Adsorpsi logam Cr (VI) pada limbah cair batik dengan zeolit alam teraktivasi', *Journal of Chemical Information and Modeling*, 53(9), pp. 1689–1699.

Fan, F.-L. *et al.* (2012) 'Rapid removal of uranium from aqueous solutions using magnetic Fe<sub>3</sub>O<sub>4</sub>@SiO<sub>2</sub> composite particles', *Journal of Environmental Radioactivity*, 106, pp. 40–46.

Goenadi, D. H. and Santi, L. P. (2020) 'Kontroversi Aplikasi dan Standar Mutu Biochar', *Jurnal Sumberdaya Lahan*, 11(1), p. 23.

Harikishore Kumar Reddy, D. and Lee, S. M. (2014) 'Magnetic biochar composite: Facile synthesis, characterization, and application for heavy metal removal', *Colloids and Surfaces A: Physicochemical and Engineering Aspects*, 454(1), pp. 96–103.

Jung, K. W., Lee, S. and Lee, Y. J. (2017) 'Synthesis of novel magnesium ferrite (MgFe<sub>2</sub>O<sub>4</sub>)/biochar magnetic composites and its adsorption behavior for phosphate in aqueous solutions', *Bioresource Technology*, 245(August), pp. 751–759.

Kasmiyati, S. (2018) 'Respon Enzim Antioksidatif *Sonchus oleraceus*



- terhadap Cekaman Krom pada Media Tanam Berbeda ( Response of Antioxidative Enzymes of *Sonchus oleraceus* toward Chromium Stress on Different Planting Media )', *Biologi Indonesia*, 14(1), pp. 51–59.
- Martono, D. S. and Rahayu, S. (2017) 'Estimasi Kandungan Karbon Pohon Majhoni ( *Swietenia macrophylla* , King ) Penyusun Hutan Rakyat Bersertifikat SVLK (Sistem Verifikasi Legalitas Kayu) ( Studi Kasus di PPHR Lawu Lestari Kecamatan Panekan Kabupaten Magetan )', *Agri-Tek*, 17(2), pp. 36–41.
- Murniati, T., Inayati and Budiastuti, S. (2015) 'Batik Dengan Metode Elektrolisis Konsentrasi Logam Berat Di Sungai', *Jurnal EKOSAINS*, VII(1), pp. 77–83.
- Natalina, N. and Firdaus, H. (2018) 'Penurunan Kadar Kromium Heksavalen ( $\text{Cr}^{6+}$ ) Dalam Limbah Batik Menggunakan Limbah Udang (Kitosan)', *Teknik*, 38(2), p. 99.
- Pari, G., Widayati, D. T. and Yoshida, M. (2009) 'Mutu Arang Aktif Dari Serbuk Gergaji Kayu', *Jurnal Penelitian Hasil Hutan*, 27(4), pp. 381–398.
- Reguyal, F., Sarmah, A. K. and Gao, W. (2017) 'Synthesis of magnetic biochar from pine sawdust via oxidative hydrolysis of  $\text{FeCl}_2$  for the removal sulfamethoxazole from aqueous solution', *Journal of Hazardous Materials*, 321, pp. 868–878.
- Santoso, I. S. (2016) Penurunan Kadar ion Chromium ( $\text{Cr}^{6+}$ ) dalam Air Menggunakan Serbuk Gergaji Kayu Mahoni (*Swietenia macrophylla* King), *Skripsi*.
- Soesanti, I. and Syahputra, R. (2016) 'Batik production process optimization using particle swarm optimization method', *Journal of Theoretical and Applied Information Technology*, 86(2), pp. 272–278.
- Upit Ratna Puspita, A. S. S. and N. V. H. (2011) 'Kemampuan Tumbuhan Air sebagai Agen Fitoremediator logam berat  $\text{Cr}^{6+}$  yang terdapat pada Limbah Cair Industri Batik', *Journal of Chemical Information and Modeling*, 53(9), pp. 1689–1699
- Wardani, R. W. K., Ellyke and Ningrum, P. T. (2014) 'Kandungan Krom Pada Limbah Cair Batik Dan Air Sumur Disekitar Industri Batik UD Bintang Timur (Studi Kasus di Desa Sumberpakem Kecamatan Sumberjambe Kabupaten Jember)', *Artikel Ilmiah Hasil Penelitian Mahasiswa*.
- Zhang, X. *et al.* (2018) 'Bioresource Technology Removal of aqueous Cr ( VI ) by a magnetic biochar derived from *Melia azedarach* wood', *Bioresource Technology*, 256(January), pp. 1–10.