

## APLIKASI ALOFAN DALAM TANAH ANDISOL SEBAGAI ADSORBEN UNTUK MENURUNKAN BAKTERI *Coliform* LIMBAH CAIR DOMESTIK

### *Application of Allophane in Andisol Soil An Adsorbent to Reduce Coliform Bacteria of Domestic Wastewater*

Ibnu Rois<sup>1)</sup>, Pranoto<sup>2)</sup>, Sunarto<sup>3)</sup>

<sup>1)</sup> Program Studi Ilmu Lingkungan, Pascasarjana Universitas Sebelas Maret  
Jl. Ir. Sutami 36 A, Ketingan, Surakarta 57126 /

Email : [ibnuois36@gmail.com](mailto:ibnuois36@gmail.com)

<sup>2)</sup> Kimia, Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam, Universitas Sebelas Maret /  
[pakpranoto@gmail.com](mailto:pakpranoto@gmail.com)

<sup>3)</sup> Biologi, Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam, Universitas Sebelas Maret /  
[rmnarto@yahoo.com](mailto:rmnarto@yahoo.com)

### Abstract

Research on allophane has been done as an adsorbent to decrease MPN Coliform in domestic wastewater. The purpose of this study was to look for natural adsorbent materials that can be used to decrease MPN Coliform. Natural allophane was identified from andisol soil by pH analysis of NaF, FTIR, XRD, and SAA. The result of the analysis showed that there was allophane on andisol soil with pH 11,73. The diameter of empty space or alloy pores of 5 nm with a hole/pore size of 0.5 nm. Testing of MPN Coliform is done by method of Most Probable Number (MPN) variety 5: 5: 5. Based on the result of the research, allophane adsorbent can decrease MPN Coliform by 60.9%.

**Keywords** : *adsorbent, allophane, Coliform, domestic wastewater*

### PENDAHULUAN

Alofan merupakan mineral liat tanah yang paling reaktif karena mempunyai daerah permukaan khas yang sangat luas dan mempunyai banyak gugus fungsional aktif (Farmer *et al.*, 1991). Pembentuk mineral alofan dipengaruhi oleh konsentrasi Si-aktif dan Al-aktif yang berasal dari pelapukan dan proses pembentukannya berlangsung dengan baik pada pH 5,7 hingga 6,08 (Ajidirman, 2010). Mineral alofan termasuk mineral amorf karena tidak dapat diamati dengan menggunakan sinar-X. Struktur yang pasti dari mineral alofan tidak banyak diketahui, tetapi mengandung struktur filosilikat 1:1 yang banyak mempunyai struktur terbuka dengan Al pada lapisan *octahedral* dan *tetrahedral* (Sutanto, 2005). Antara lembar *tetrahedral*

dan *octahedral* terdapat banyak daerah kosong sehingga molekul air dapat dengan mudah ke luar masuk, dan anion seperti fosfat dan nitrat dapat terjerap. Alofan mempunyai daerah permukaan spesifik yang luas. Luas permukaan yang besar ini mengakibatkan sistem koloid tanah menjadi sangat reaktif sehingga pertukaran kation, anion, jerapan air, dan fiksasi menjadi lebih tinggi (Tan, 1991).

Berdasarkan karakteristiknya, alofan mempunyai potensi menjadi adsorben alam untuk menurunkan bakteri *Coliform* dalam limbah domestik karena sudah terbukti dapat digunakan untuk meningkatkan kualitas air minum (Pranoto, 2013). Bakteri *Coliform*, *Escherichia Coli* dan bakteri patogen dalam limbah cair domestik berasal dari ekskreta (Soemirat, 2011). Mikroba tersebut dapat menyebabkan penularan

penyakit. Penyakit menular yang menyebar secara langsung melalui air dapat terjadi apabila mikroba penyebabnya masuk ke dalam sumber air yang digunakan masyarakat untuk memenuhi kebutuhannya sehari-hari seperti minum, makan, dan mencuci (Sugiharto, 2014).

Limbah cair domestik dusun Sukunan telah mengalami pengolahan dengan metode *Rotating Biological Contactor* (RBC). Teknologi RBC mampu meningkatkan kadar *Dissolved Oxygen* dalam limbah cair domestik (Stalin, 2014), tapi masih terdapat bakteri *Coliform* 160.000 MPN/100 ml dan *E. Coli* 14.000 MPN/100 ml. Kondisi ini telah melampaui baku mutu Peraturan Daerah Istimewa Yogyakarta No. 7 Tahun 2016 tentang baku mutu air limbah. Keberadaan bakteri *Coliform* ini sebagai indikator keberadaan bakteri patogen yang dapat mencemari lingkungan. Maka perlu dilakukan upaya pengolahan limbah cair tersebut untuk meminimalisir pencemaran lingkungan. Salah satu teknologi sederhana sebagai upaya mengurangi pencemaran tersebut adalah dengan adsorben alofan (Sistha, 2013). Metode penjerapan sangat efektif untuk limbah dengan konsentrasi polutan rendah sampai sedang (Muhdarina *et al.*, 2010). Penggunaan alofan sebagai adsorben juga dapat menurunkan 100% bakteri *E. coli* pada pengolahan air minum (Firmansyah, 2015). Apabila alofan terbukti mampu menurunkan MPN *Coliform*, maka akan diperoleh adsorben baru sebagai alternatif desinfeksi bakteri dalam limbah cair domestik.

## METODE PENELITIAN

### *Identifikasi alofan*

Identifikasi adsorben dilakukan dengan uji pH *Natrium Flourida* (NaF), *XRay Diffraction* (XRD), *Foriur Transform Infra-Red* (FT-IR), dan *Surface Area Analyzer* (SAA) (Pranoto *et al.*, 2013). Pengukuran pH dengan uji NaF dilarutkan

sebanyak 8 gram dengan aquades dalam gelas beker. Setelah NaF larut, dimasukkan ke dalam labu ukur 250 ml dan ditambahkan aquades sampai batas.

Analisis lempung dan andisol dengan FT-IR menggunakan teknik butiran KBr, yaitu pelet dibuat dengan cara mencampurkan 2% (b/b) andisol dalam KBr. Sampel pelet dianalisis dengan *spektrofotometer* Shimadzu model FTIR 820431 PC pada daerah pengamatan bilangan gelombang 400-4000  $\text{cm}^{-1}$ .

Analisis lempung dan andisol dengan XRD menggunakan metode serbuk dengan radiasi yang ditimbulkan oleh  $\text{Cd}\alpha$  (pada panjang gelombang 1,5406 nm dan 1,54439 nm) dengan filter logam kadmium (Cd). Bubuk andisol ditempatkan pada permukaan *glass slide* (tempat sampel) lalu difraktogram direkam pada daerah ( $2\theta$ ) 2,0-60,0o untuk menentukan jenis dan komposisi mineral dalam lempung dan tanah andisol (Sulistyarini, 2012).

Luas permukaan merupakan faktor penting dalam proses adsorpsi karena semakin besar luas permukaan maka semakin besar pula kemampuan adsorpsinya. Aktivasi dapat memperluas luas permukaan (Pranoto *et al.*, 2013).

### *Pengujian Bakteri Coliform*

Pengujian dilakukan dengan metode *Most Probable Number* (MPN) melalui dua tahap yaitu, uji praduga (*Presumptif test*) dan uji konfirmasi (*Confirmative test*). Pengujian dilakukan dengan menyediakan media *Lactosa Broth* (LB) 1,5% dan 0,5% dalam tabung reaksi yang telah diberi tabung Durham. Susun dalam rak tabung dengan ragam 5:5:5. Tulis kode, tanggal penanaman dan volume sampel, juga nama pemeriksa. Sampel digojok dan diambil dengan pipet steril 10 ml, dimasukkan dalam tabung LB sebanyak 5 tabung, kemudian diambil 1 ml sampel dimasukkan dalam LB 0,5% sebanyak 5 tabung, goyang rak berisi LB sampai homogen. Eramkan pada incubator 37<sup>0</sup>C selama 2x24 jam. Setelah 2x24 jam amati pertumbuhan

bakteri, jika terdapat gelembung gas pada tabung durham maka tabung positif, sedang jika tidak terdapat gelembung gas maka tabung negatif. Pilih tabung yang positif dan dilanjutkan ke uji penegasan.

Uji penegasan dilakukan dengan menyiapkan media *Briliant Green Lactose Bile* (BGLB) sebanyak 15 buah dengan ragam 5:5:5. Beri kode sampel dan tanggal penanaman, pindahkan bakteri yang berada di tabung LB positif ke media BGLB sebanyak 1 ose. Eramkan tabung pada inkubator 44°C selama 1x24 jam. Amati pertumbuhan bakteri pada tabung BGLB, catat tabung BGLB yang positif, cocokkan jumlah tabung positif dengan tabel MPN ragam 5:5:5. Catat hasil perhitungan dan dikalikan dengan jumlah pengenceran sampel untuk mengetahui index MPN per 100 ml.

## HASIL DAN PEMBAHASAN

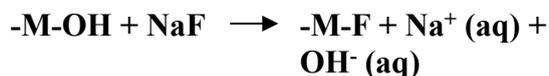
### Karakterisasi adsorben alofan

#### a. Uji pH dengan NaF

Nilai pH NaF merupakan salah satu penciri bahwa suatu tanah tergolong kedalam andisol atau bukan. Suatu tanah dapat digolongkan dalam andisol apabila mempunyai nilai pH NaF >9,4. Uji NaF dilakukan dengan cara mengukur sampel tanah andisol ke dalam larutan NaF. Campuran larutan NaF dan tanah andisol diukur pH nya didapat bahwa tanah andisol memiliki pH 11,73 sehingga dapat disimpulkan bahwa tanah andisol mengandung mineral amorf tanah andisol (Pranoto, 2013). Selanjutnya dapat disimpulkan bahwa tanah andisol yang digunakan dalam penelitian ini mengandung alofan.

Besarnya nilai pH NaF disebabkan karena melimpahnya mineral amorf yang kaya gugus Al/Fe-OH sebagai penyusun tanah. Tanah yang mengandung sejumlah gugus Al/Fe-OH aktif menghasilkan reaksi yang sangat alkalis (pH >10) apabila diekstrak dengan larutan NaF (Wada,

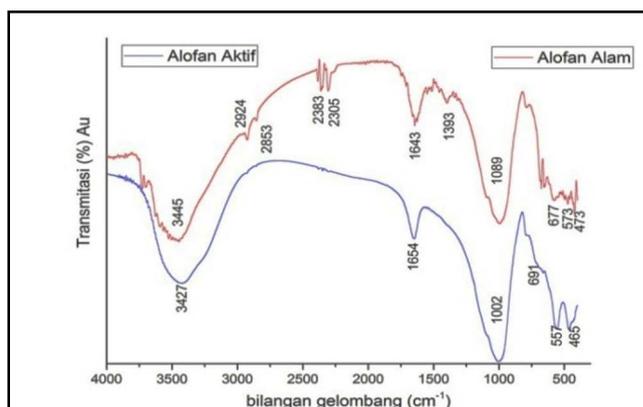
1986). Menurut Parfit dan Henmi (1980), ion Flour (F<sup>-</sup>) akan mendesak ion OH<sup>-</sup> dari mineral amorf, reaksi pertukaran ligan terjadi antara flourida dengan ikatan gugus Al/Fe-OH dalam tanah andisol, ditunjukkan pada persamaan reaksi berikut.



(M: Al atau Fe)

#### b. Analisis *Fourier Transform Infra Red* (FT-IR)

Analisis FTIR dilakukan untuk mengetahui gugus fungsional utama pada Tanah andisol. Aktivasi tanah andisol dilakukan dengan NaOH 3M. Hasil spektra IR Tanah andisol sebelum dan sesudah aktivasi ditunjukkan pada Gambar 1.



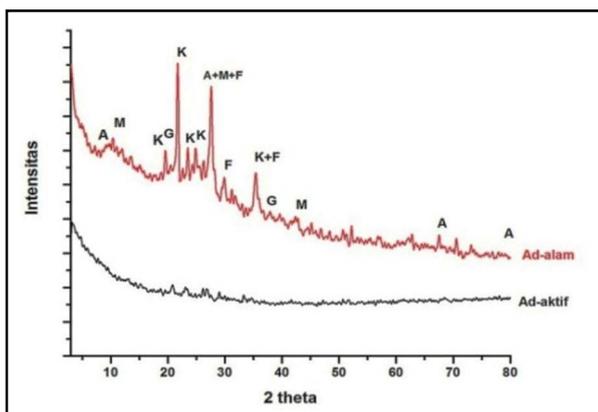
Gambar 1. Spektra FTIR Sampel Tanah andisol Alam dan Teraktivasi (Laksana, 2017)

Tanah andisol memiliki empat wilayah absorpsi infra merah yang utama. Wilayah tersebut yaitu berada pada panjang gelombang 3475-3500 cm<sup>-1</sup>, 1400 dan 1440 cm<sup>-1</sup>, 800-1400 cm<sup>-1</sup>, dan 400-800 cm<sup>-1</sup> (Devnita dkk, 2005). Proses aktivasi Tanah andisol menunjukkan perubahan spektra IR yaitu hilangnya puncak pada bilangan gelombang 2940 dan 2853 cm<sup>-1</sup> yang merupakan serapan dari gugus CH<sub>2</sub>CH<sub>3</sub>. Selain itu juga terjadi penurunan intensitas spektra pada panjang bilangan gelombang 1393 cm<sup>-1</sup> merupakan serapan dari gugus fungsi dari C-O. Hal ini disebabkan karena proses aktivasi tersebut dapat melarutkan

bahan pengotor organik pada proses pencucian. Spektra tanah andisol aktif mengalami peningkatan intensitas serapan pada panjang gelombang  $1089\text{ cm}^{-1}$  dan panjang gelombang  $691\text{-}465\text{ cm}^{-1}$  yang merupakan gugus dari Si-O dan Al-O, peningkatan intensitas ini dikarenakan hilangnya pengotor yang menutup pori-pori permukaan tanah andisol (Laksana, 2017). Sehingga dapat disimpulkan bahwa pengaruh aktivasi pada tanah andisol dapat menghilangkan pengotor organik (Pranoto *et al.*, 2013).

c. Analisis X-Ray Diffraction (XRD)

Analisis kristalinitas dilakukan untuk mengetahui pengaruh aktivasi pada tanah andisol. Pengaruh aktivasi terhadap kristalinitas tanah andisol dapat ditunjukkan pada Gambar 2.



Gambar 2. Difraktogram XRD tanah andisol Alam dan Teraktivasi (Laksana, 2017)

Ket: A= tanah andisol, K= Kaolinit, M= Montmorilonit, G= Gibsit, F= Feldspar dan Q= Quartz

Hasil analisis XRD Gambar 2 menunjukkan bahwa tanah andisol mengandung beberapa mineral tanah andisol, montmorilonit, kaolinit, gibsit, feldspar dan quartz (Laksana, 2017). Hasil penelitian Heraldly dkk (2004)

menunjukkan kandungan mineral tanah di Gunung Lawu terdiri dari mineral Tanah andisol (56,22%), Gibsit (18,78%), Feldspar (15,52%), Kaolinit (10,13%), dan Montmorilonit (5,01%). Tanah andisol ketika sebelum dan setelah aktivasi memiliki kandungan mineral utama yang sama, namun, derajat kristalinitas tanah andisol mengalami penurunan setelah diaktivasi. Menurut (Widjonarko dkk, 2003 dan Heraldly dkk, 2004), aktivasi tanah andisol pada suasana asam maupun basa dapat melarutkan pengotor pada rongga dan pori-pori sehingga luas permukaan dan keasaman total akan meningkat. Hal ini mengakibatkan kristal tanah andisol setelah proses aktivasi akan lebih amorf yang terlihat pada difraktogram menjadi lebih landai. Dimana semakin rendah kristalinitas suatu adsorben ukuran partikelnya semakin kecil dan luas permukaan adsorben menjadi lebih besar.

d. Surface Area Analyzer (SAA)

Luas permukaan merupakan faktor penting dalam proses adsorpsi karena semakin besar luas permukaan maka semakin besar pula kemampuan adsorpsinya. Luas permukaan dinyatakan dalam jumlah total luas permukaan sampel yang berbentuk serbuk dalam setiap massa sampel. Hasil pengukuran luas permukaan tanah andisol adalah  $257,84\text{ m}^2/\text{g}$  (Saputro, 2014). Mineral amorf akan mempunyai luas permukaan yang lebih besar dibandingkan dengan mineral kristalin karena semakin kecil ukuran kristalnya maka luas permukaannya dimungkinkan semakin besar.

Hasil pengujian MPN *Coliform*

Hasil pengujian MPN *Coliform* sebelum dan setelah adsorpsi dapat dilihat pada tabel berikut.

Table 1. Persentase Rata-rata Selisih *Pre-Post* MPN *Coliform* (MPN/100 ml)

No	Pengulangan	Pre	Post	Selisih	%
1.	I	123000	47000	76000	61,78
2.	II	113000	45000	68000	60,17

No	Pengulangan	Pre	Post	Selisih	%
3.	III	123000	45000	78000	63,41
4.	IV	120000	47000	73000	60,83
5.	V	120000	50000	70000	58,33
	Rata-rata	119800	46800	73000	60,90

Sumber : Hasil analisis 2018

Pada Tabel 1 diketahui bahwa persentase rata-rata penurunan angka MPN *Coliform* sebesar 60,90%. Adsorben alofan ini efektif dalam menurunkan angka MPN *Coliform* yang ditunjukkan dari hasil uji *paired samples t-test* masing-masing dengan nilai  $p=0,000$ . Mekanisme alofan untuk dapat mengadsorpsi dan menghambat pertumbuhan bakteri *Coliform* antara lain karena *Coliform* merupakan bakteri gram negatif dengan bentuk koloni berupa basilus (batang), berukuran  $2,4 \mu \times 0,4$  sampai  $0,7 \mu$  (Jawetz *et al.*, 1986). Sedangkan alofan mempunyai diameter ruang kosong atau pori-pori sebesar 5 nm dengan lubang/pori ukuran 0,5 nm. Pada pH rendah (4-5) lubang/pori bermuatan positif ( $Al-OH_2^+$ ), sebaliknya pada pH tinggi (6-9) alofan bermuatan negatif ( $Al-O^-$ ) pada lubang dinding bola berongga dan ( $Si-O^-$ ) pada permukaan (Tan, 1991 dan Sutanto, 2005). Muatan negatif alofan akan bertambah seiring meningkatnya pH. Kondisi alofan dengan pH mencapai 11,73 (Pranoto, 2013) merupakan kondisi yang tidak baik bagi bakteri *Coliform*. Selain bakteri *Coliform*, alofan akan menyerap logam berat yang terkandung dalam limbah cair domestik (Lora dkk, 2015 dan Pujiyanti dkk, 2017).

Adanya proses pengolahan dengan metode RBC di IPAL dusun Sukunan membantu proses adsorpsi bakteri *Coliform*. Bahan-bahan organik dan polutan lainnya telah hilang melalui biofilm yang terbentuk pada tiap cell piringan (Kadu and Rae, 2014). Adsorpsi terhadap *Coliform* juga dapat menggunakan bahan alam lainnya berupa biji kelor (*Moringa oleifera* Lam) yang telah terbukti sebagai antibakteri air tanah (Mangale *et al.*, 2012) dan antibakteri dalam pengolahan air sungai (Mangale *et al.*, 2012). Keuntungan lainnya dalam penggunaan biji kelor adalah dapat

menjadi biokoagulan (Patil *et al.*, 2017 and Magaji *et al.*, 2015).

## KESIMPULAN

Berdasarkan hasil uji MPN *Coliform*, alofan dapat digunakan sebagai adsorben alam untuk menurunkan MPN *Coliform*. Dengan karakteristik alofan yang mendukung mampu menurunkan MPN *Coliform* limbah cair domestik sebesar 60,9%.

## DAFTAR PUSTAKA

- Ajidirman. (2010). Kajian Kandungan Mineral Alofan dan Fenomena Fiksasi Fosfor pada Andisols. *Jurnal Hidrolitan*. 1(2). 15-20.
- Devnita, R., Yuniarti, A., dan Hudhaya, R. (2005). *Penggunaan Metode Selective Dissolution dan Spektroskopi Inframerah dalam Menentukan Kadar Tanah andisol Andisol*. [Laporan Penelitian]. Fakultas Pertanian UNPAD.
- Firmansyah, Fathoni. (2015). *Kajian Efektivitas Pengolahan Air Minum Menggunakan Campuran Lempung dan Andisol untuk Menjerap Logam Berat Kadmium (Cd) dan Bakteri Patogen*. [Tesis]. Ilmu Lingkungan Universitas Sebelas Maret, Surakarta.
- Herald, E., Pranoto, dan Prowida, D. (2004). Studi Karakterisasi dan Aktivasi Tanah andisol Alam serta Aplikasinya sebagai Adsorben Logam Berat Zn Menggunakan Metode Kolom. *Journal Alchemy*. 3(1), 32-42.

- Jawetz, E., Melnick, J.L., Adelberg, E.A., (1986). *Mikrobiologi untuk Profesi Kesehatan* (Review of Medical Microbiology) Edisi 16. EGC. Jakarta.
- Jawetz, E, Melnick, L. L, Adelburg, E. A. (1986). *Mikrobiologi Untuk Profesi Kesehatan*. (Diterjemahkan oleh Bonang, G.). (Edisi 16). Jakarta: Penerbit Buku Kedokteran EGC.
- Laksana, S. D. D. (2017). *Pengaruh Variasi Komposisi Zeolit-Alofan Terhadap Efektivitas Adsorpsi Zat Warna Methylene Blue*. [Skripsi]. Jurusan Kimia FMIPA Universitas Sebelas Maret, Surakarta.
- Lora, Luca & Ramadhan, Galih & Pranoto, Dr & Purnawan, Candra. (2014). *Kombinasi Adsorben Alofan dan Abu Vulkanik Gunung Kelud Diaktivasi sebagai Penyerap Logam Berat Pada Limbah Cair Pengrajin Batik*. Jurusan Kimia FMIPA UNS, Surakarta
- Magaji, U. F., Sahabi, D. M., Abubakar, M. K., & Muhammad, A. B. (2015). Biocoagulation activity of Moringa oleifera seeds for water treatment. *The International Journal Of Engineering And Science (IJES)*, 4 (2). 19-26.
- Mangale Sapana, M., Chonde Sonal, G., & Raut, P. D. (2012). Use of Moringa oleifera (drumstick) seed as natural absorbent and an antimicrobial agent for ground water treatment. *Research Journal of Recent Sciences*. 1 (3), 31-40. ISSN, 2277-2502.
- Mangale, S. M., Chonde, S. G., Jadhav, A. S., & Raut, P. D. (2012). Study of Moringa oleifera (drumstick) seed as natural absorbent and antimicrobial agent for river water treatment. *Journal of Natural Product and Plant Resource*, 2(1), 89-100.
- Muhdarina, M., Mohammad, A. W., & Muchtar, A. (2010). Prospektif Lempung Alam Cengar Sebagai Adsorben Polutan Anorganik Di Dalam Air: Kajian Kinetika Adsorpsi Kation Co (II). *Reaktor*, 13(2), 81-88. DOI: [10.14710/reaktor.13.2.81-88](https://doi.org/10.14710/reaktor.13.2.81-88)
- Patil Rohan, R., JagadaleSuryakant, S., Gaikwad Aniket, A., Mane Aniket, V., Anekar, N. R., & Awasare, S. D. (2017). Use of Moringa Oleifera (Drumstick) seed as Natural Coagulant for Well & Bore well Water Treatment. *International Journal of Engineering*, 10(1), 2017. 336-340.
- Parfitt, R. L., & Henmi, T. (1980). Structure of some allophanes from New Zealand. *Clays and Clay Minerals*, 28(4), 285-294. DOI: [10.1346/CCMN.1980.0280407](https://doi.org/10.1346/CCMN.1980.0280407)
- Pranoto. (2013). *Pemanfaatan Adsorben Alofan Vulkanik Jawa Teraktivasi sebagai Penyerap Logam Berat untuk Meningkatkan Kualitas Air Minum di Perkotaan*. Jurusan Kimia FMIPA UNS, Surakarta.
- Pranoto, Masykur, A., & Nugroho, Y. A. (2018, March). Adsorption Effectivity Test of Andisols Clay-Zeolite (ACZ) Composite as Chromium Hexavalent (Cr (VI)) Ion Adsorbent. In *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering* (Vol. 333, No. 1, p. 012057). IOP Publishing. DOI: [10.1088/1757-899X/333/1/012057](https://doi.org/10.1088/1757-899X/333/1/012057)
- Pranoto, Purnawan, C., & Husnina, A. N. (2018, March). Synthesis and Characterization of Allophane-Like as Chromium (Cr) Ion Adsorbent. In *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering* (Vol. 333, No. 1, p. 012062). IOP Publishing. DOI: [10.1088/1757-899X/333/1/012062](https://doi.org/10.1088/1757-899X/333/1/012062)
- Pranoto, Sugiyarto K. H., Suranto and Ashadi. (2013). Javanese Volcanic Allophane as Heavy Metal Adsorber to Improve the Quality of Drinking Water in Surakarta. *Journal of Environment and Earth Science*. 3(5). 48-56. ISSN 2224-3216 (Paper) ISSN 2225-0948 (Online).
- Pujiyanti, S., Pranoto, P., & Inayati, I. (2017). Pemanfaatan Adsorben Alam Alofan dan Arang Aktif Untuk Menjerap Logam Tembaga (Cu) Pada

- Pengolahan Limbah Laboratorium Kimia di SMK. *Ekosains*, 9(1).
- Purwana, Rachmadi. (2013). *Manajemen Kedaruratan Kesehatan Lingkungan dalam Kejadian Bencana*. Depok: PT. Raja Grafindo Persada.
- Saputro, A. H. A. (2014). *Uji Efektivitas Adsorpsi Lempung/Tanah Andisol Terhadap Ion Logam Tembaga (Cu) Serta Aplikasi Pada Limbah Kerajinan Logam Menggunakan Metode Kolom*. [Skripsi]. FMIPA Universitas Sebelas Maret, Surakarta.
- Sistha, P. W. V. (2013). *Uji Efektivitas Adsorpsi Lempung/Alofan terhadap Logam Tembaga (Cu) Limbah Pertambangan Tembaga menggunakan Metode Batch*. [Skripsi]. Jurusan Kimia. Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam. Universitas Sebelas Maret, Surakarta
- Soemirat. (Juli. 2011). *Kesehatan Lingkungan*. Gadjah Mada University Press, Yogyakarta
- Stalin, K. Mr. (2014). Performance of Rotating Biological Contactor in Wastewater Treatment – a Review. *International Journal of Scientific & Engineering Research*. 5(1). ISSN 229-5518
- Sugiharto. (2014). *Dasar-dasar Pengelolaan Air Limbah*. Universitas Indonesia Press, Jakarta.
- Sulistyarini, A. (2012). Identifikasi, Aktivasi, dan Karakterisasi Tanah Vulkanik Gunung Arjuna sebagai Adsorben Logam Tembaga (Cu). *Prosiding Skripsi*. Jurusan Kimia. Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam Universitas Sebelas Maret, Surakarta.
- Sukmawati, S. (2011). Beberapa Perubahan Sifat Kimia Alofan dari Andisol Setelah Menjerap Asam Humat dan Asam Silikat. *Media Litbang Sulteng* 4(2). 118-124. ISSN : 1979-5971.
- Sutanto, Rachman. (2005). *Dasar-Dasar Ilmu Tanah, Konsep dan Kenyataan*. Kanisius. Yogyakarta.
- Tan, Kim, H. (1991). *Dasar-dasar Kimia Tanah*. Gadjah Mada University Press. Yogyakarta.
- Wada, K. (1986). *Ando Soils in Japan*. Kyushu University Press, Japan.
- Widjonarko, D. M., Pranoto., dan Cristina, Y. (2003). Pengaktifan H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> dan NaOH Terhadap Luas Permukaan dan Keasaman Tanah Andisol. *Alchemy*, 2(2).