

Artikel Riset

Pemanfaatan Komposit Biosorben Tanah Liat dan Arang Bambu dalam Mengurangi Kandungan Zat Warna pada Limbah Cair Industri Batik

Muchammad Tamyiz^{1*}, Natasya Nur Hidayah¹, Aulianita Salsabella¹, Takrimatul Maulidiyah¹

¹ Program Studi Teknik Lingkungan, Fakultas Teknik, Universitas Nahdlatul Ulama Sidoarjo, Jl. Monginsidi Dalam Kav. DPR Sidoklumpuk, Sidoarjo, Indonesia 61218

*Penulis korespondensi, e-mail: m_tamyiz.tkl@unusida.ac.id

Abstrak

Industri batik di Indonesia merupakan salah satu sektor usaha kecil dan menengah (UKM) yang menjadi sumber pekerjaan bagi sebagian masyarakat. Industri batik menghasilkan berbagai macam limbah cair, salah satunya adalah zat warna termasuk zat warna remazol. Penelitian ini menggunakan tanah liat dan arang bambu yang teraktivasi HCl 1 M untuk dibuat menjadi komposit biosorben dengan perbandingan tanah liat dan arang bambu (80%:20%). Penelitian ini menggunakan dua variabel yaitu variasi dosis dan waktu kontak. Hasil penghilangan zat warna (*removal efficiency*) untuk variabel dosis adsorben dan waktu kontak secara berurutan adalah 30,00% dan 31,33%. Analisis spektrum FTIR menunjukkan bilangan gelombang 1338,64 dan 1309,71 cm^{-1} yang merupakan daerah tekukan C-H. Puncak pada bilangan gelombang 1539,25 cm^{-1} dengan serapan yang kuat dan meruncing diidentifikasi sebagai regangan C-C alifatik yang merupakan gugus-gugus fungsional dari arang aktif. Spektrum tersebut memberikan spesifikasi komposit tanah liat-arang ketika puncak serapan pada bilangan gelombang 3462,34 cm^{-1} terjadi interaksi antara O-H pada tanah liat dan O-H pada arang sehingga menyebabkan kenaikan intensitas serapan. Pemanfaatan biosorben tanah liat dan arang bambu dapat menurunkan kadar zat warna pada limbah cair industri batik.

Kata Kunci: arang bambu; komposit; tanah liat; remazol

Abstract

The batik industry in Indonesia is one of the small and medium business sectors (SMEs) which is a source of work for some people. The batik industry produces various kinds of liquid waste, one of which is dyes including remazol dyes. In this research, clay and bamboo charcoal which are activated by HCl 1 M were made into a composite biosorbent with a ratio of clay and bamboo charcoal (80%: 20%). In this study, two variables are used, namely dose and contact time variation. The results of removal efficiency for variable adsorbent doses and contact time respectively were 30.00% and 31.33%. FTIR spectrum analysis shows wave numbers 1338.64 and 1309.71 cm^{-1} which is the C-H bending region. The peak at wave number 1539.25 cm^{-1} with strong and tapered absorption is identified as aliphatic C-C strains which are functional groups of activated charcoal. The spectrum gives a clay-charcoal composite specification when the absorption peak at wave number 3462.34 cm^{-1} there is an interaction between O-H in clay and O-H in charcoal,

causing an increase in absorption intensity. The use of clay and bamboo charcoal biosorbent can reduce levels of dyes in batik industry liquid waste.

Keywords: bamboo charcoal; composite; clay; remazol

1. Pendahuluan

Industri batik di Indonesia secara umum termasuk dalam sektor industri kecil dan menengah (IKM) yang menjadi sumber pekerjaan bagi sebagian masyarakat (Ninggar, 2014). Serapan tenaga kerja untuk industri tekstil selama 2011-2015 tumbuh 14,7% dari 173.829 orang menjadi 199.444 orang. Salah satu industri tekstil di Sidoarjo adalah produk kain batik khas Sidoarjo. Pada tahun 2019, jumlah pengrajin batik khas Sidoarjo sebanyak 40 pengrajin yang tersebar di Kecamatan Sidoarjo dan Tulangan dengan jumlah pekerja antara 10-20 orang. Industri batik di Sidoarjo merupakan salah satu industri yang menghasilkan limbah cair dalam jumlah besar di perairan khususnya dari proses pewarnaan kain batik. Di dalam limbah cair industri batik mengandung zat warna dengan konsentrasi yang tinggi, bahan sintetik yang sulit larut dalam air, dan sukar terurai di alam (*non-biodegradable*). Beberapa zat warna yang sering digunakan dalam pewarnaan batik di Sidoarjo adalah zat warna remazol dan naftol. Sedangkan efek yang ditimbulkan dari limbah cair industri batik di perairan berupa peningkatan kandungan organik dalam air seperti COD, BOD, TSS, dan pH.

Beberapa penelitian yang berkaitan dengan penyisihan zat warna dari industri batik di Sidoarjo, di antaranya adalah hasil penelitian yang menyebutkan bahwa penyisihan zat warna mencapai 88,51% menggunakan metode elektrokoagulasi (Novianti & Tuhi, 2014). Penelitian lain dilakukan dengan menggunakan hidrogen peroksida dan penambahan sinar UV menghasilkan penurunan kadar warna sebesar 67,98% (Prahastuti, 2013). Penelitian dengan metode berbeda menghasilkan persentase penurunan kadar warna tertinggi adalah abu layang tanpa perlakuan dengan metode adsorpsi (Putra, 2015). Di sisi lain, ada beberapa pendekatan yang memiliki kelemahan dalam penyisihan limbah zat warna yaitu pada pengolahan menggunakan ozonasi menunjukkan umur penggunaan dalam proses ini singkat, pada pengolahan menggunakan *activated carbon* biaya yang dikeluarkan sangat mahal, pada pengolahan ion exchange tidak terlalu efektif dalam pengurangan warna, dan pada *electrokinetic coagulation* dihasilkan produksi lumpur yang begitu besar. Di antara berbagai pendekatan, adsorpsi telah ditemukan lebih unggul dari metode lain dalam hal kesederhanaan desain dan keamanannya (Fierro, *et al.*, 2008). Adsorpsi juga merupakan salah satu teknik yang paling mungkin dan efektif untuk pengolahan air (Lakouraj *et al.*, 2014).

Namun, ada hal lain yang harus dipertimbangkan dalam menentukan bahan dasar untuk membuat adsorben misalnya kelimpahan bahan baku di alam, kemanfaatan bagi manusia, dan keberlanjutan di masa yang akan datang. Oleh sebab itu, bahan dasar yang patut dipertimbangkan dalam pembuatan adsorben adalah bahan yang berasal dari limbah bahan organik seperti bambu sisa industri. Arang bambu memiliki semacam bahan berpori dengan adsorpsi yang sangat baik (Kanagalakshmi, 2017). Arang aktif dari bambu memiliki pori yang termasuk dalam kategori mesopori dengan luas area 1.329 m²/g, sehingga sesuai untuk proses adsorpsi zat warna (Kim *et al.*, 2008). Di antara berbagai adsorben alternatif, tanah liat menonjol karena kelimpahan dan biaya rendah dibandingkan dengan adsorben lain seperti arang aktif, zeolit, dan resin penukar ion sintetis. Selain itu, tanah liat adalah bahan yang menawarkan kapasitas pertukaran kation yang besar dalam struktur berlapis, menyajikan stabilitas kimia dan fisik, dan luas permukaan spesifik yang tinggi (Chen & Chen, 2008). Tanah liat juga memiliki stabilitas kimia dan mekanis yang baik serta sifat penukar kation yang tinggi karena muatan negatif yang ada pada permukaannya (Ramesh *et al.*, 2007). Modifikasi tanah liat melalui pengasaman, kalsinasi, dan pilarisasi merupakan beberapa cara untuk meningkatkan kemampuan tanah liat (Zehhaf *et al.*, 2015).

Bahan komposit memiliki kelebihan antara lain kapasitas adsorpsi yang lebih baik, sifat granulometri, stabilitas kimia dan termal, reproduksibilitas, dan juga memiliki selektivitas yang lebih baik untuk penyisihan zat pewarna dibandingkan dengan bahan organik dan anorganik murni (Sharma, 2015). Meskipun berbagai cara modifikasi untuk meningkatkan kemampuan adsorpsi tanah liat telah dilakukan, namun pembuatan komposit dari tanah liat dan arang bambu sebagai biosorben zat warna belum pernah dilakukan. Hal ini penting dilakukan untuk mengetahui kemampuan komposit tanah liat dalam menurunkan kadar zat warna remazol dengan menggunakan *batch mode*.

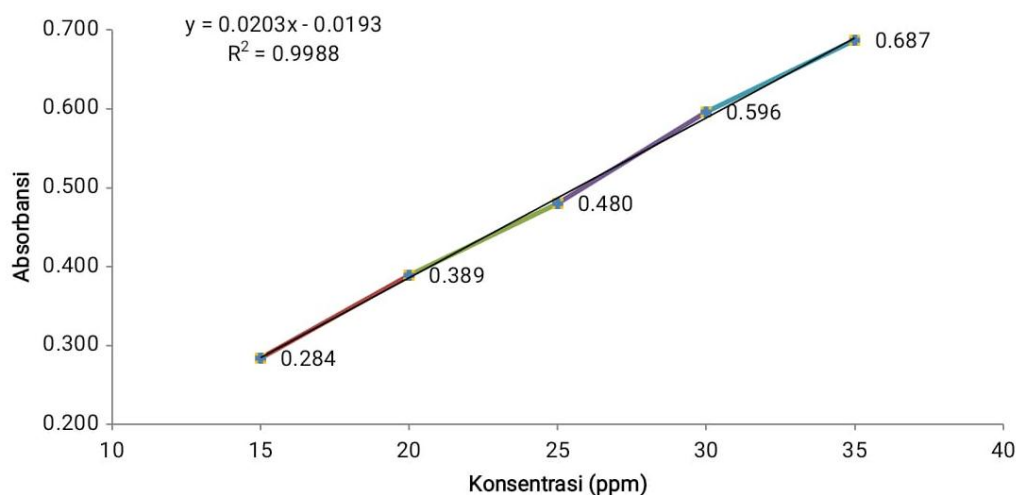
2. Metode Penelitian

Aktivasi arang bambu dan tanah liat dilakukan dengan penambahan larutan HCl 1 M. Sebanyak 11,5 g arang bambu ditambahkan ke dalam 57,5 mL larutan HCl 1 M (1:5 – b/v) ke dalam gelas kimia. Kemudian diaduk dengan *magnetic stirrer* pada kecepatan 525 rpm dalam waktu 24 jam. Langkah selanjutnya yaitu menyaring larutan dengan menggunakan kertas saring dan dibilas dengan aquades hingga tercapai pH netral. Residu yang didapatkan kemudian dikeringkan di dalam oven pada suhu 110°C selama 1 jam. Hal yang sama juga dilakukan pada tanah liat.

Arang bambu dan tanah liat ditimbang dengan berat total 2 g menggunakan perbandingan dosis 80% : 20 % (tanah liat : arang bambu). Kemudian dicampur dengan 5 mL aquades di dalam beaker glass. Selanjutnya diaduk dengan *magnetic stirrer* dengan kecepatan 700 rpm selama 1 jam. Setelah selesai pengadukan, selanjutnya disaring dengan menggunakan kertas saring. Residu sisa penyaringan dioven pada suhu 110°C selama 1 jam. Larutan zat warna remazol dengan konsentrasi 15 – 35 ppm diukur panjang gelombang optimumnya dengan menggunakan spektrofotometer UV-VIS merk GENESYS 10S pada panjang gelombang 200–800 nm. Panjang gelombang optimum ditentukan dengan melihat adsorbansi terbesar.

3. Hasil dan Pembahasan

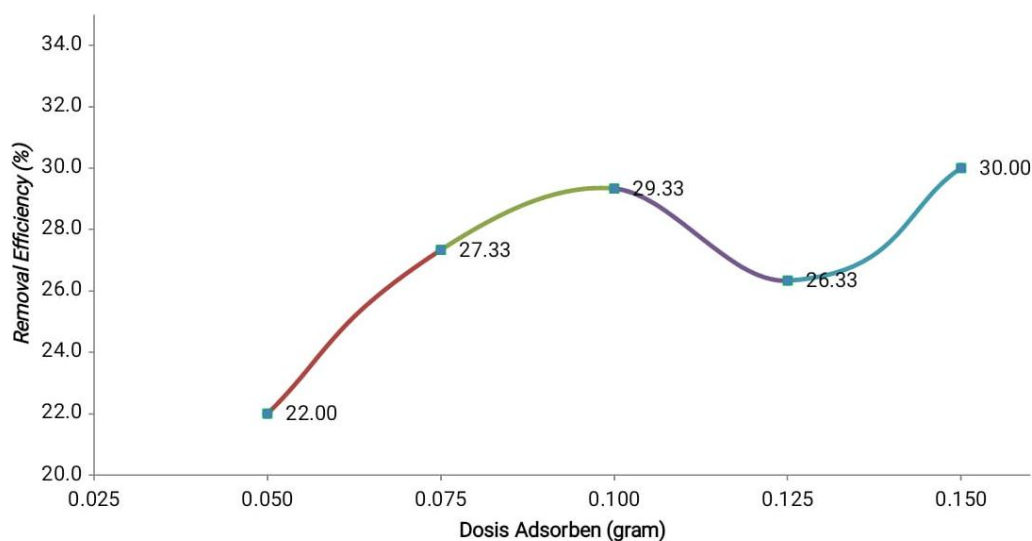
Penentuan panjang gelombang optimum zat warna remazol pada penelitian ini dilakukan pada range 200-800 nm dan didapatkan panjang gelombang optimum sebesar 670 nm. Pembuatan kurva baku seperti pada **Gambar 1** dilakukan dengan variasi konsentrasi remazol yaitu 0, 15, 20, 25, 30, dan 35 ppm.



Gambar 1. Kurva baku zat warna remazol

Gambar 1 menunjukkan bahwa kenaikan konsentrasi larutan zat warna remazol yang digunakan, diiringi dengan peningkatan nilai absorbansinya. Sehingga didapatkan persamaan regresi linear dari kurva baku yaitu $y = 0,020x - 0,019$ dengan $R^2 = 0,998$ dimana y adalah absorbansi dan x adalah konsentrasi zat warna remazol dalam satuan ppm. Nilai koefisien regresi R^2 pada kurva baku

yang mendekati 1 menunjukkan bahwa hubungan antara absorbansi dan konsentrasi zat warna remazol sangat linear dan sesuai dengan hukum Lambert-Beer.



Gambar 2. Kurva hubungan antara *removal efficiency* (y) dengan dosis adsorben (x) dalam gram

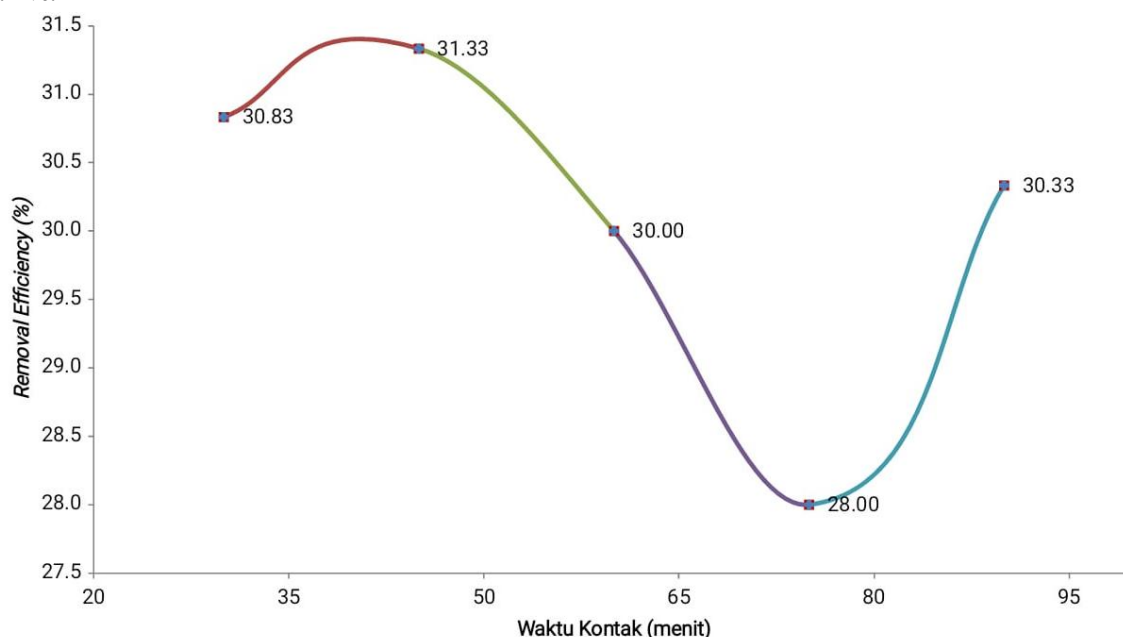
Proses adsorpsi dipengaruhi oleh beberapa faktor, salah satunya adalah dosis biosorben yang digunakan dalam penelitian. Semakin banyak jumlah komposit biosorben yang digunakan maka semakin besar persentase zat warna remazol yang memungkinkan untuk terserap. Semakin banyak dosis komposit biosorben yang digunakan pada saat penelitian, maka proses adsorpsi semakin efektif. Adapun variasi dosis komposit biosorben tanah liat dan arang bambu yang digunakan pada penelitian ini yaitu 0,050; 0,075; 0,100; 0,125; 0,150 g. Proses adsorpsi zat warna remazol berlangsung dengan waktu kontak 60 menit, pada pH netral, konsentrasi larutan zat warna remazol 30 ppm, dan volume larutan 30 mL pada kecepatan pengadukan 300 rpm.

Tabel 1. Perbandingan Hasil Penelitian Untuk Variasi Massa

Peneliti	Tahun	Zat Warna	Adsorben	Parameter		
				Massa (g)	Volume (L)	Penurunan Konsentrasi (%)
Ningrum, <i>et al.</i>	2008	Remazol Brilliant Blue	Karbon aktif (Tempurung Kelapa)	0,3	-	88,33
Fairus, <i>et al.</i>	2009	Methyl Violet	Karbon aktif	0,25	0,25	70,60
Ambas	2010	Direct Black 38	Karbon aktif (Cangkang Ketapang)	0,04	05	74,54
Arifin, <i>et al.</i>	2012	Direct Black 38	Kitosan (limbah udang)	1,5	0,1	63,10
Zahra, <i>et al.</i>	2014	Reactive Red 141	Tanah Liat Lokal Alami	10	0,1	65,9
Herfiani, <i>et al.</i>	2017	Indigosol Blue (C. I. Vat Blue 4)	Arang Aktif Batok Kelapa	100	1	39,70
Penelitian ini	2019	Remazol	Komposit tanah liat-arang bambu	0,15	0,03	30,00

Hasil uji spektrofotometer UV-Vis terhadap zat warna remazol dengan variasi dosis komposit dapat dilihat pada **Gambar 2**. Hasil variasi dosis adsorben dengan perbandingan komposit tanah liat dan arang bambu (80%:20%) menunjukkan bahwa dosis adsorben optimum adalah pada dosis 0,150 g dengan *removal efficiency* sebesar 30,00% atau komposit biosorben tanah liat dan arang bambu mampu menghilangkan 9,00 ppm zat warna remazol dari konsentrasi awal sebesar 30 ppm. Hasil penelitian lain menunjukkan bahwa penurunan zat warna meningkat seiring dengan peningkatan massa adsorben yang digunakan. Penggunaan adsorben sebanyak 1.5 g mampu menghasilkan penurunan zat warna yang optimum atau zat warna dapat terserap hingga 63.10% (Arifin *et al.*, 2012). Adapun rekapitulasi berbagai penelitian terkait variasi massa ditunjukkan pada **Tabel 1**.

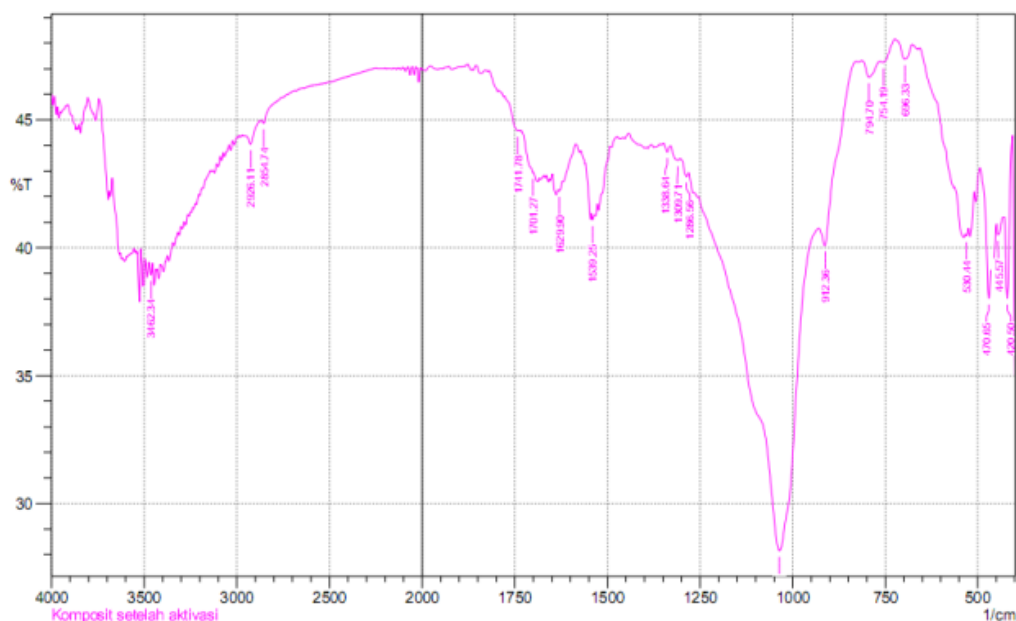
Waktu kontak merupakan lama waktu yang dibutuhkan oleh komposit biosorben tanah liat dan arang bambu sebagai biosorben untuk berinteraksi dengan zat warna remazol sebagai adsorbat. Interaksi antara kedua zat tersebut terjadi selama proses adsorpsi berlangsung. Proses difusi dan penempelan molekul zat warna remazol dapat berlangsung dengan baik seiring penambahan waktu kontak. Adapun waktu kontak dalam penelitian ini menggunakan variasi 30, 45, 60, 75, dan 90 menit. Penelitian ini dilakukan dengan konsentrasi zat warna remazol yaitu 30, volume 30 mL, dosis biosorben sebesar 0,15 g, dan kecepatan pengadukan 350 rpm. Hasil variasi waktu kontak biosorben dengan adsorbat menunjukkan bahwa waktu kontak optimum adalah 45 menit dengan *removal efficiency* sebesar 31,33% dengan kata lain biosorben mampu menghilangkan 9,40 ppm zat warna remazol seperti ditunjukkan pada **Gambar 3**. Kesetimbangan adsorpsi dan gaya tarik-menarik antara biosorben dan adsorbat seperti gaya Van Der Waals dan gaya elektrostatis merupakan faktor-faktor yang dipengaruhi oleh waktu kontak antara biosorben-adsorbat, sehingga variasi waktu kontak diperlukan dalam penelitian ini. Hasil penelitian Arifin *et al.*, (2012) menunjukkan proses adsorpsi yang optimum adalah pada kecepatan pengaduk 150 rpm dan pada waktu 360 menit dengan penurunan zat warna sebesar 48.16%.



Gambar 3. Kurva hubungan antara *removal efficiency* (y) dengan waktu kontak (x) dalam menit

Proses difusi dan penyerapan molekul adsorbat dapat berlangsung lebih baik pada waktu kontak yang lebih lama. Hal ini berlangsung hingga keadaan jenuh tercapai. Kesetimbangan tersebut ditandai dengan tidak terjadi lagi perubahan konsentrasi pada zat warna remazol yang signifikan di dalam sampel yang diteliti. Namun demikian, hasil penelitian ini menunjukkan bahwa proses adsorpsi zat warna remazol mencapai kesetimbangan pada waktu kontak selama 45 menit. Kemudian terus menurun sampai pada waktu kontak 75 menit setelah mencapai titik maksimum. Gejala pada penelitian

ini menandakan terjadi peristiwa desorpsi seiring bertambahnya waktu. Setelah waktu kontak 75 menit terjadi kenaikan penyerapan adsorbat kembali, meskipun tidak sebanyak pada waktu kontak 45 menit. Peristiwa desorpsi pada penelitian ini terkait dengan lingkungan yang bersifat basa ditandai dengan pelepasan kembali zat warna remazol yang terikat pada biosorben. Berdasarkan **Gambar 3** dapat diketahui bahwa proses adsorpsi berjalan cepat pada awal waktu kontak dan kemudian kecepatannya menurun seiring waktu. Hal ini menunjukkan bahwa kondisi biosorben pada awal waktu kontak memiliki situs aktif yang masih kosong. Selain itu, konsentrasi zat warna yang masih tinggi di awal waktu kontak menjadikan *driving force* bagi biosorben tanah liat dan arang bambu (Ratnamala dan Brajesh, 2013).



Gambar 4. Spektrum FTIR dari komposit tanah liat-arang bambu

Cuhadaroglu (2008) menjelaskan terkait analisis spektrum FTIR tentang bilangan gelombang pada 1338,64 dan 1309,71 cm^{-1} yang merupakan daerah tekukan C-H. Di samping itu, Silverstein (1981) menjelaskan bahwa terdapat puncak pada bilangan gelombang 1539,25 cm^{-1} dengan serapan kuat dan meruncing menunjukkan adanya regangan C-C alifatik. Sebagaimana diketahui bahwa regangan C-C alifatik merupakan gugus-gugus fungsional dari arang aktif. Spektrum FTIR pada **Gambar 4** memberikan informasi yang spesifik tentang komposit tanah liat-arang bambu telah terbentuk melalui puncak serapan pada bilangan gelombang 3462,34 cm^{-1} . Pada daerah ini terjadi interaksi antara O-H pada tanah liat dan O-H pada arang sehingga menyebabkan kenaikan intensitas serapan. Menurut Ulfah dan Nugraha (2014) pita serapan lebar pada bilangan gelombang sekitar 3400-3500 cm^{-1} yang mengidentifikasi adanya vibrasi ulur -OH. Pita serapan tersebut akan bergeser pada bilangan gelombang yang lebih besar akibat adanya interaksi hidrogen antara komponen penyusun arang. Pita serapan pada bilangan gelombang 1629,9 cm^{-1} mengindikasikan adanya vibrasi tekuk -OH molekul air. Pita serapan tersebut mengalami kenaikan intensitas pada komposit tanah liat-arang bambu. Hal ini dimungkinkan karena terbentuknya ikatan hidrogen antara molekul tanah liat-arang bambu.

4. Kesimpulan

Kesimpulan yang dapat diambil dari penelitian ini adalah sebagai berikut: (1) Hasil penghilangan zat warna (*removal efficiency*) untuk variabel dosis adsorben sebesar 30,00%, (2) hasil penghilangan zat warna (*removal efficiency*) untuk variabel waktu sebesar 31,33% dan (3) pemanfaatan biosorben tanah liat dan arang bambu dapat menurunkan kadar zat warna pada limbah cair industri batik.

Ucapan Terima Kasih

Ucapan terima kasih terutama ditujukan kepada Direktorat Jenderal Pembelajaran dan Kemahasiswaan (Ditjen Belmawa), Kementerian Riset, Teknologi dan Pendidikan Tinggi (Kemendikbudristek).

Daftar Pustaka

- Ambas, M. 2010. Dekolorisasi Limbah Cair Pewarna *Direct Black 38* dari Industri Sarung Samarinda Menggunakan Karbon Aktif Cangkang Biji Ketapang, Laporan Tugas Akhir. Jurusan Teknik Kimia. Politeknik Negeri Samarinda.
- Arifin, Z., Irawan, D., Rahim, M., and Ramantiya, F. 2012. Adsorpsi Zat Warna *Direct Black 38* Menggunakan Kitosan Berbasis Limbah Udang Delta Mahakam. *Jurnal Sains dan Terapan Kimia*, 6(1), 35-45.
- Chen, W.J., Hsiao, L.C., and Chen, K.K.Y. 2008. Metal Desorption from Copper (II)/ Nickel (II)-Spiked Kaolin as a Soil Component Using Plant-Derived Saponin Biosurfactant. *Process Biochemistry*, 43, 488e498.
- Cuhadaroglu, D., & Uygun, O.A. 2008. Production and Characterization of Activated Carbon from a Bituminous Coal by Chemical Activation. *African journal of Biotechnology*, 7(20).
- Fairus, S., Suhartono, J., Nurhayati., Ariefa, F. 2009. Studi Adsorpsi Zat Warna *Methyl Violet* dengan Menggunakan Kulit Pisang, Prosiding Seminar Nasional Teknik Kimia "Kejuangan", Fakultas Teknologi Industri, UPN Veteran, Yogyakarta.
- Herfiani, Z.H., Rezagama, A., and Nur, M. (2017). Pengolahan Limbah Cair Zat Warna Jenis Indigosol Blue (CI Vat Blue 4) sebagai Hasil Produksi Kain Batik Menggunakan Metode Ozonasi dan Adsorpsi Arang Aktif Batok Kelapa terhadap parameter COD dan Warna. *Jurnal Teknik Lingkungan*, 6(3), 1-10.
- Kanagalakshmi, Sharan Kumar. K. 2017. Sustainable Development in Chennai's Construction Industry- An Agenda for the Future. *International Journal of Advanced Engineering Research and Science* 4(1), 020-026.
- Lakouraj, M.M., Mojerlou, F., and Zare, E.N. 2014. Nanogel and superparamagnetic nanocomposite based on sodium alginate for sorption of heavy metal ions. *Carbohydrate Polymers*, 106, 34-41.
- Ninggar, R.D. (2014). Kajian Yuridis Tentang Pengendalian Limbah Batik Di Kota Yogyakarta. Skripsi, Universitas Gadjah Mada.
- Ningrum, L.P., Lusiana, R.A., and Nuryanto, R. 2008. Dekolorisasi *Remazol Brilliant Blue* dengan Menggunakan Karbon Aktif.
- Novianti, D.L., and Tuhu, A. 2014. Penurunan TSS dan Warna Limbah Industri Batik Secara Elektro Koagulasi. *Envirotek: Jurnal Ilmiah Teknik Lingkungan*, 6(1), 37-44.
- Prahastuti, Trianita F. 2013. Efektivitas Penurunan Warna Limbah Industri Batik Jetis Sidoarjo Menggunakan Hidrogen Peroksida (H₂O₂) dengan dan Tanpa Sinar UV. Thesis, Universitas Airlangga.
- Putra, Q.C.W. 2015. Penurunan Kadar Warna Air Limbah Industri Kerajinan Batik Jetis Sidoarjo Menggunakan Abu Layang Batu Bara sebagai Adsorben. Skripsi, Universitas Airlangga.
- Ramesh, A., Hasegawa, H., Maki, T., and Ueda, K. 2007. Adsorption of inorganic and organic arsenic from aqueous solutions by polymeric Al/Fe modified montmorillonite. *Separation and Purification Technology*, 56(1), 90-100.
- Ratnamala, G.M., and Brajesh, K. 2013. Biosorption of remazol navy blue dye from an aqueous solution using *pseudomonas putida*. *International Journal of Science, Environment and Technology*, 2(1), 80-89.

- Sharma, G., Pathania, D., and Naushad, M. 2015. Preparation, characterization, and ion exchange behavior of nanocomposite polyaniline zirconium (IV) selenotungstophosphate for the separation of toxic metal ions. *Ionics*, 21(4), 1045-1055.
- Swigar, A.A., and Silverstein, R.M. 1981. Monoterpenes: infrared, mass, ¹H NMR, and ¹³C NMR spectra, and Kováts indices. Aldrich Chemical Co.
- Ulfah, F., and Nugraha, I. 2014. Pengaruh Penambahan Montmorillonit Terhadap Sifat Mekanik komposit Film Karagenan-Montmorillonit. *Molekul*, 9(2), 155-165.
- Zahra, N.L., Sugiyana, D., and Notodarmojo, S. 2014. Adsorpsi zat warna tekstil Reactive Red 141 pada tanah liat lokal alami. *Arena Tekstil*, 29(2), 63-72.
- Zehhaf, A., Benyoucef, A., Quijada, C., Taleb, S., & Morallon, E. 2015. Algerian natural montmorillonites for arsenic (III) removal in aqueous solution. *International Journal of Environmental Science and Technology*, 12(2), 595-602.