



## Evaluasi Efektivitas Pengolahan Air Tercemar Limbah Tekstil Menggunakan Filter Kombinasi <sup>1</sup>

### *Evaluation of Combined Textile Wastewater Treatment Effectiveness*

Anugerah Tiffanyputri Kristiani <sup>a</sup>, Channy Saka <sup>a</sup>, Maria Kevinia Sutanto<sup>a</sup>, Vittorio Kurniawan <sup>a, 2</sup>

<sup>a</sup> Program Studi Teknik Sipil, Universitas Tarumanagara, Jl. Letjen S. Parman No. 1, Jakarta Barat 11440.

#### ABSTRAK

Salah satu polutan terbesar pada Sungai Citarum adalah limbah industri tekstil. Penelitian ini bertujuan untuk mencari alternatif untuk meningkatkan kualitas air sungai melalui kombinasi sistem pengolahan air limbah menggunakan geotekstil, karbon aktif, biji Hibiscus sabdariffa dan clinoptilolite. Material-material ini berfungsi untuk memisahkan air dari limbah padat dan limbah kimiawi terutama logam berat. Sampel air yang digunakan adalah air yang dimodifikasi untuk menyerupai mutu air Sungai Citarum yang tercemar limbah dengan penambahan bahan-bahan seperti air selokan, tanah, dan pewarna tekstil. Sampel sintetis ini dialirkan ke unit filter kombinasi dengan persentase penyisihan filter geotekstil 5,2%, kombinasi Hibiscus sabdariffa dan karbon aktif 95,1–96,67%, dan clinoptilolite sebesar 25–40%. Sampel sintetis sesudah disaring lalu diuji di laboratorium berdasarkan SNI 6989-8:2009 Air dan Air Limbah serta beberapa peraturan lainnya. Hasilnya menunjukkan pengurangan kontaminan secara signifikan sebesar 66,25–100%, sehingga kualitas air memenuhi ambang maksimum untuk berbagai keperluan. Dengan penelitian lebih lanjut, material-material ini dapat diterapkan sebagai alternatif untuk mengatasi kontaminasi air akibat limbah.

*Kata kunci: Clinoptilolite, Geotekstil, Hibiscus sabdariffa, limbah cair tekstil.*

#### ABSTRACT

Textile industry is one of the biggest pollutants of Citarum River, a very strategic river in Indonesia. This study aims to find an alternative to improving the river's water quality by the combined system of geotextile, activated carbon, Hibiscus sabdariffa seeds, and clinoptilolite. Their role is to separate water from solid waste and chemical waste, especially heavy metal. The water sample used is water modified to replicate the actual Citarum River's water quality which has been contaminated by adding sewer water, soil, and textile coloring agent. This synthetic sample is driven to the combined filtration unit by the order of geotextile, Hibiscus sabdariffa, and clinoptilolite. The post-treatment synthetic sample is examined in the laboratory referring to the SNI 6989-8:2009 on Water and Wastewater. The test reveals promising results as the filter system reduces the amount of contamination below the thresholds determined by various standards. With further research, these materials can potentially be implemented as an alternative in combating effluent contamination.

*Keywords: Clinoptilolite, geotextile, Hibiscus sabdariffa, textile wastewater.*

## PENDAHULUAN

Sungai Citarum yang membentang dari Gunung Wayang sampai ke Laut Jawa, merupakan salah satu sungai yang memiliki peranan penting dalam pembangunan ekonomi dan kesejahteraan di Provinsi Jawa Barat dan DKI Jakarta. Aliran Sungai Citarum digunakan

<sup>1</sup> Info Artikel: Received: 7 Juni 2022, Accepted: 27 Desember 2022

<sup>2</sup> Corresponding Author: Vittorio Kurniawan, Email: [vkurniawan@ft.untar.ac.id](mailto:vkurniawan@ft.untar.ac.id)



*sabdariffa*, karbon aktif, dan *clinoptilolite* dengan persentase penyisihan 95,1% – 100% sudah banyak diteliti untuk penanganan pencemaran air dari endapan atau sedimen (Lawson, 2008), pewarna sintetis dan logam berat (Hoong & Ismail, 2018; Sprynskyy et al., 2006; Tripathi & Rawat Ranjan, 2015; Yong & Ismail, 2016). Penelitian ini bertujuan untuk mencari alternatif dalam meningkatkan kualitas air sungai melalui kombinasi sistem pengolahan air limbah menggunakan geotekstil, karbon aktif, biji *Hibiscus sabdariffa* dan *clinoptilolite*.

## METODE

### Limbah Tekstil

Air limbah merupakan cairan dari kombinasi aktivitas domestik, industri, komersial atau pertanian, limpasan permukaan, dan aliran masuk saluran pembuangan (Tilley et al., 2008). Standar air di Sungai Citarum kian menurun seiring dengan peningkatan debit limbah industri, yaitu sekitar 340.000 ton/hari (Satrianegara, 2018). Kontaminan ini sebagian besar disebabkan oleh zat pewarna sintetis yang banyak digunakan di berbagai industri seperti tekstil, kertas, dan plastik. Pembuangan langsung air limbah berwarna yang mengandung logam berat seperti *kromium*, timbal, dan *kadmium* ke lingkungan dapat menyebabkan kerusakan pada daerah sekitarnya. Konsentrasi logam berat di Sungai Citarum diduga bersumber dari pabrik tekstil yang berlokasi di sepanjang bantaran sungai (Priyanto et al., 2008). Nilai satuan warna murni dari limbah tekstil sekitar 1249 TCU (Riyadi, 2019). Data dan rekapitulasi kualitas air Sungai Citarum pada Kabupaten Majalaya dapat dilihat pada Tabel 1. Kabupaten Majalaya dipilih karena banyaknya pabrik tekstil yang beroperasi di sekitar wilayah ini. Konsentrasi timbal dan kadmium di aliran Sungai Citarum hampir melampaui batas nilai maksimum dengan jumlah *kromium heksavalen* telah melampaui batasannya. Limbah cair yang dihasilkan oleh pabrik tekstil memiliki kandungan logam berat yang relatif tinggi sehingga diperlukan adanya peningkatan kualitas (Witono & Miryanti, 2015)

**Tabel 1** Data Kualitas Air Sungai Citarum

Lokasi: Kabupaten Majalaya	(Happy et al., 2012)	(Rahmani, 2018)	(Setyarini et al., 2018)	(Zalhasmy et al., 2019)	Rekapitulasi Kualitas Air
pH	6 – 8,25	7,45 – 8,03	N/A	7,38	6 – 8,25
Total Padatan Terlarut (mg/L)	N/A	N/A	N/A	800	800
Timbal (Pb) (mg/L)	0,07	N/A	<0,001	N/A	0,07; <0,001
Kadmium (Cd) (mg/L)	0,003	N/A	N/A	N/A	0,003
Kromium Heksavalen (Cr <sup>6+</sup> ) (mg/L)	N/A	<0,04	N/A	N/A	<0,04
Seng (Zn) (mg/L)	N/A	N/A	0,04	N/A	0,04
Air Raksa (Hg) (mg/L)	N/A	N/A	0,07	N/A	0,07

### Geotekstil

Geotekstil merupakan membran permeabel dengan kemampuan untuk memisahkan, menyaring, dan membuang air dari lumpur atau sedimen, serta umum digunakan untuk memisahkan air dari limbah serupa lumpur dan sedimen yang terkontaminasi karena area

kontakannya yang luas, efektivitas dalam pemisahan koloid, dan ukuran serta jumlah yang dapat disesuaikan sesuai dengan kebutuhan (Lawson, 2008). Geotekstil yang digunakan sebagai bahan pada percobaan ini merupakan geotekstil *non-woven* seperti yang dapat dilihat pada Gambar 3.

Konsentrasi akhir padatan dapat ditentukan dengan menghitung antara konsentrasi awal padatan dengan pengurangan volume yang terkandung melalui persamaan (1).

$$S_t = \frac{\left(\frac{1}{1-\Delta V_t}\right)\left(\frac{S_0}{1-S_0}\right)}{1 + \left(\frac{1}{1-\Delta V_t}\right)\left(\frac{S_0}{1-S_0}\right)} \quad (1)$$

dengan  $S_t$  = Konsentrasi padatan akhir (%),  $S_0$  = Konsentrasi padatan awal (%), dan  $\Delta V_t$  = Pengurangan volume terkandung seiring waktu (%)



**Gambar 3** Membran Geotekstil

Ketidakmampuan untuk memisahkan air dari senyawa organik dan ion logam berat menjadi salah satu kelemahan penggunaan geotekstil. Konsentrasi padatan awal dan akhir pada berbagai aliran limbah dapat dilihat pada Tabel 2.

**Tabel 2** Tipe Konsentrasi Padatan Awal dan Akhir Saat Pemisahan Berbagai Aliran Limbah dari Pengukuran dan Persamaan (1) (Lawson, 2008)

Material Limbah	Konsentrasi Padatan Awal, $S_0$ (%)	Konsentrasi Padatan Akhir, $S_t$ (%)
Biosolid	1–4	15–25
Agrikultur	2–4	20–25
Pengolahan mineral	3–10	40–70
Produk sisa perindustrian	4–10	25–75

### Hibiscus sabdariffa dan Karbon Aktif

Keberlanjutan dan keamanan lingkungan menjadi keunggulan dari penggunaan koagulan alami jika dibandingkan dengan koagulan sintetis. Biji *Hibiscus sabdariffa* mengandung protein koagulan yang terdiri dari kation peptida seperti asam glutamat, asam aspartat, dan leusin (Hoong & Ismail, 2018). Penelitian ini menggunakan koagulan alami dari biji *Hibiscus sabdariffa* yang sudah diolah dan karbon aktif sebagai pengolah kedua. Biji *Hibiscus sabdariffa* dikeringkan dalam oven pada suhu 60°C selama 2 jam untuk mengawetkan protein yang terkandung di dalamnya. Biji *Hibiscus sabdariffa* ini dicampur dengan zat pengekstraksi natrium klorida 0,5M dan dicampur dalam blender selama 2 menit. Campuran ini disaring melalui kain muslin untuk menghilangkan sisa-sisa biji dan digunakan dengan segera untuk menghindari kerusakan.

Adsorpsi merupakan metode yang baik dan menjanjikan untuk menghilangkan kandungan logam berat. Karbon aktif dari sabut kelapa memiliki kapasitas adsorpsi yang efektif, sehingga menjadi adsorben yang cocok untuk kromium dan zat pewarna dalam air limbah. Jumlah adsorben yang digunakan berkisar antara 50–150 mg/L yang meningkat seiring dengan laju penyisihan logam berat dan zat warna. Luas daerah adsorpsi juga meningkat seiring dengan jumlah adsorben yang mengakibatkan peningkatan hilangnya jumlah kontaminan. Efisiensi adsorpsi menggunakan karbon aktif relatif tinggi karena strukturnya yang mikro, luas bidang kontak yang besar, dan kapasitas adsorpsi yang tinggi (Hoong & Ismail, 2018). Untuk pengolahan tahap kedua, biji *Hibiscus sabdariffa* dan arang aktif seperti pada digunakan untuk menurunkan konsentrasi zat pewarna dan ion kromium heksavalen dari air.

Penelitian terdahulu berhasil menghilangkan zat warna sebesar 95,1–96,67 %. Proses kombinasi menggunakan 209 mg/L koagulan dan 150 mg/L adsorben yang diuji terhadap zat warna dengan konsentrasi awal 385 ppm, mampu menghilangkan zat warna sampai 96,67 % (Hoong & Ismail, 2018; Yong & Ismail, 2016). Efisiensi penyisihan kromium heksavalen dapat mencapai 99 % dalam kondisi optimum (Mohanty et al., 2014). Gabungan proses koagulasi dan adsorpsi menghilangkan zat warna yang dapat ditentukan dari persamaan (2).

$$\% \text{Penghilangan zat warna} = \frac{Abs_0 - Abs}{Abs_0} \times 100 \% \quad (2)$$

dengan  $Abs_0$  = Nilai absorbansi sebelum pengolahan dan  $Abs$  = Nilai absorbansi setelah pengolahan

### Clinoptilolite

Peningkatan konsentrasi logam berat di lingkungan menunjukkan bahaya serius bagi kesehatan manusia, sumber daya hayati, dan sistem ekologi. *Clinoptilolite* (Na, K, Ca)<sub>4</sub>Al<sub>6</sub>Si<sub>30</sub>O<sub>72</sub> · 24H<sub>2</sub>O menunjukkan selektivitas yang tinggi pada logam seperti kadmium, seng, dan tembaga sebagai hasil dari pertukaran ion. Hal ini menjadikan *clinoptilolite* bahan yang sesuai untuk mengurangi konsentrasi logam berat dalam air (Tripathi & Rawat Ranjan, 2015).

Konsentrasi logam berat dari air akan diadsorpsi ke permukaan *clinoptilolite* dan ditukar dengan kation kalsium, magnesium, natrium, dan kalium dari permukaan. Laju selektivitas *clinoptilolite* pada kondisi isoterm dapat ditunjukkan sebagai berikut:  $Pb^{2+} > Cu^{2+} > Cd^{2+} > Ni^{2+}$ . Kapasitas serapan maksimum terhadap  $Cd^{2+}$  bernilai 4,22 mg/g pada konsentrasi awal 80 mg/L terhadap  $Pb^{2+}$ ,  $Cu^{2+}$ , dan  $Ni^{2+}$  masing-masing sebesar 27,7; 25,6; dan 13,03 mg/g pada konsentrasi awal 800 mg/L. Tabel 3 menunjukkan kandungan kation yang dapat ditukar dari penelitian terdahulu (Sprynskyy et al., 2006) yang akan digunakan untuk membandingkan hasil dari pengujian pada penelitian ini.

**Tabel 3** Kandungan kation *Clinoptilolite* yang dapat ditukar dengan ion logam berat  $Pb^{2+}$ ,  $Cu^{2+}$ ,  $Cd^{2+}$ ,  $Ni^{2+}$

	$K^+$	$Ca^{2+}$	$Na^+$	$Mg^{2+}$	$Pb^{2+}$	$Cu^{2+}$	$Ni^{2+}$	$Cd^{2+}$
Kandungan kation yang dapat ditukar berdasarkan komposisi kimia <i>clinoptilolite</i>								
mmol/gram	0,65	0,43	0,34	0,22	$1 \times 10^{-4}$	$7 \times 10^{-5}$	$8 \times 10^{-5}$	$2 \times 10^{-6}$
Kandungan kation yang dapat ditukar dan logam berat yang diserap adsorpsi isoterm								
mmol/gram	ttd	ttd	ttd	ttd	0,134	0,405	0,222	0,037

Jumlah kesetimbangan adsorpsi logam dari larutan dapat dihitung menggunakan rumus (3):

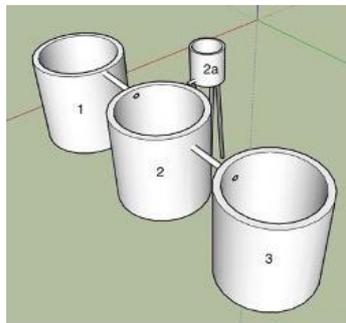
$$q_t = \frac{m_s}{m} = \frac{(C_0 - C_e)V}{m} \quad (3)$$

dengan  $q_t$  = jumlah ion logam yang teradsorpsi pada kesetimbangan (mg/g penyerap),  $m_s$  = massa logam yang teradsorpsi (mg),  $m$  = massa adsorben (g),  $C_0$  = konsentrasi awal ion logam (mg/L),  $C_e$  = konsentrasi kesetimbangan ion logam (mg/L), dan  $V$  = volume larutan tempat terjadinya adsorpsi (L).

### Desain Penelitian

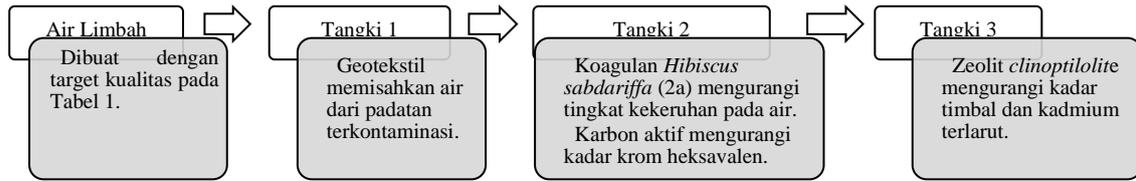
Penelitian ini menggunakan pengujian sampel sintetis dengan data mengenai sifat fisik dan kimia Sungai Citarum (Happy et al., 2012; Rahmani, 2018; Setyarini et al., 2018; Zalhasmy et al., 2019) sebagai acuan kualitas awal air di sungai dan berfokus pada jumlah total padatan terlarut, kromium heksavalen, timbal, dan kadmium. Proses pengambilan sampel air limbah tidak dapat dilakukan secara langsung akibat wabah Novel Coronavirus-19, sehingga dibuatlah limbah cair sintetis dalam penelitian ini. Benda uji yang digunakan terbuat dari air selokan, tanah, dan pewarna sintetis untuk mencapai kualitas air di Sungai Citarum berdasarkan Tabel 1.

Ilustrasi benda uji yang digunakan dalam penelitian ditunjukkan pada Gambar 4. Tangki 1, 2, 2a, dan 3 secara berturut-turut berisi membrane geotekstil yang digunakan dalam proses penyaringan mekanik, karbon aktif sebagai adsorben pertama dan koagulan *Hibiscus sabdariffa*, dan *clinoptilolite* sebagai adsorben akhir.



**Gambar 4** Ilustrasi pengaliran filter

Sesuai dengan diagram alir penelitian yang ditunjukkan pada Gambar 5, air limbah dialirkan ke tangki nomor 1 seperti yang terlihat pada Gambar 4 yang telah dilapisi oleh membran geotekstil. Selanjutnya air dialirkan ke tangki nomor 2 yang berisi karbon aktif dan ditambahkan koagulan *Hibiscus sabdariffa* yang telah diolah pada tangki 2a untuk kemudian diaduk secara konstan selama 25 menit hingga terbentuk endapan. Air dialirkan ke tangki nomor 3 yang berisi *clinoptilolite*, lalu didiamkan selama semalaman. Desain pengolahan ini mengacu pada SNI 6773:2008 tentang Spesifikasi Unit Paket Instalasi Pengolahan Air dengan komponen utama filtrasi, koagulasi, flokulasi, sedimentasi/klarifikasi. Air dari pengolahan melalui ketiga tahapan ini direncanakan untuk memenuhi baku mutu air bersih.



Gambar 5 Diagram alir penelitian

Pewarna azo tekstil merah yang umum digunakan sebagai zat pewarna tekstil digunakan untuk mensintesis air limbah. Senyawa organik ini tersusun oleh struktur kimia aromatik benzena dan memiliki gugus fungsi  $R-N=N-R$ . Penelitian ini menggunakan geotekstil *non-woven* 150 gram/m<sup>2</sup>. Geotekstil dipasang pada wadah untuk menampung air dari pengolahan pertama, air limbah dialirkan ke kain untuk dipisahkan dari tanah dan padatan lainnya. Selanjutnya air dipindahkan ke wadah lain berisi arang aktif yang telah dibersihkan untuk ditambahkan koagulan yang telah diolah. Campuran kemudian diaduk secara konstan untuk memicu pertukaran ion dan flokulasi selama 25 menit. Benda uji ditunggu hingga padatan mengendap di dasar bak untuk mempermudah proses penirisan. Air hasil pengolahan kedua dipindahkan ke wadah lain yang berisi *clinoptilolite* dan didiamkan sampai proses pertukaran ion selesai. Air limbah hasil pengolahan dibawa ke laboratorium uji kualitas air untuk diperiksa. Pemeriksaan parameter fisik dan kimia sampel sintetis dilakukan di laboratorium terpercaya dengan mengikuti prosedur sesuai dengan berbagai metode standar resmi berdasar pada Standar Nasional Indonesia (SNI) dan *American Public Health Association* (APHA) yang tercantum pada Tabel 4.

## HASIL DAN PEMBAHASAN

Hasil pengujian pada Tabel 4 dan Tabel 5 menyatakan bahwa air limbah yang diolah menunjukkan peningkatan kualitas dibandingkan dengan air limbah yang tidak diolah. Peningkatan kualitas air membuktikan manfaat pengolahan air limbah menggunakan geotekstil, biji *Hibiscus sabdariffa*, dan *clinoptilolite*, dengan satu-satunya parameter yang melebihi kriteria air tawar dan pedoman air minum adalah warna.

Tabel 4 Peningkatan Kualitas Air

Parameter	Sebelum diolah	Setelah diolah	Persentase peningkatan (%)	Metode
Total Padatan Terlarut (mg/L)	800	270	66,25	SNI 06-6989.1-2004 Air dan Air Limbah – Bagian 1: Cara Uji Daya Hantar Listrik
pH	6 – 8,25	6,8		SNI 6989-11:2019 Air dan Air limbah – Bagian 11: Cara Uji Derajat Keasaman (pH) dengan Menggunakan Alat Ph Meter
Zat Warna (Pt-Co)	1249	82	93,43	APHA 2120-C-2017 Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater
Timbal (Pb) (mg/L)	0,06	ttd	100	SNI 6989-8:2009 Air dan Air Limbah – Bagian 8: Cara Uji Timbal (Pb) dengan Spektrofotometri Serapan Atom (SSA)-Nyala
Kadmium (Cd) (mg/L)	0,003	ttd	100	SNI 6989-16:2009 Air dan Air Limbah – Bagian 16: Cara uji kadmium (Cd) dengan Spektrofotometri Serapan Atom (SSA)-nyala
Kromium Heksavalen (Cr <sup>6+</sup> ) (mg/L)	<0,04	<0,01	75	SNI 6989-71:2009 Air dan Air Limbah – Bagian 16: Cara Uji Kromium Heksavalen (Cr <sup>6+</sup> ) dengan Spektrofotometri Serapan Atom (SSA)-nyala

Parameter	Sebelum diolah	Setelah diolah	Persentase peningkatan (%)	Metode
Seng (Zn) (mg/L)	0,04	<0,002	95	SNI 6989-7:2009 Cara Uji Kadmium (Cd) dengan Spektrofotometri Serapan Atom (SSA)-Nyala
Air Raksa (Hg) (mg/L)	0,07	<0,001	98,57	APHA 3500-Hg.B-2005 Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater

**Tabel 5** Kualitas Air Sebelum dan Sesudah Pengolahan dengan Peraturan Nasional dan Internasional

Parameter	Sebelum diolah	Setelah diolah	Batasan limbah <sup>1</sup>	Standar air bersih <sup>2</sup>	Standar air minum <sup>3</sup>
Total Padatan Terlarut	800	270	T/A	1.000	500
pH	6 – 8,25	6,8	6,0 – 9,0	6,5 – 8,5	6,5 – 8,5
Zat Warna (Pt-Co)	1249	82	T/A	50	15
Timbal (Pb)	0,06	ttd	T/A	0,05	0,01
Kadmium (Cd)	0,003	ttd	T/A	0,005	0,003
Kromium Heksavalen (Cr <sup>6+</sup> )	<0,04	<0,01	0,23	0,05	0,05
Seng (Zn)	0,04	<0,002	T/A	15	3,0
Air Raksa (Hg)	0,07	<0,001	T/A	0,001	0,001

<sup>1</sup>Batasan limbah (Office of the Federal Register National Archives and Records Administration: Protection of Environment, 1996)

<sup>2</sup>Standar air bersih (Peraturan Menteri Kesehatan Republik Indonesia: Standar Baku Mutu Kesehatan Lingkungan Dan Persyaratan Kesehatan Air Untuk Keperluan Higiene Sanitasi, Kolam Renang, Solus Per Aqua, Dan Pemandian Umum, 2017; USEPA, 1994)

<sup>3</sup>Standar air minum (Peraturan Menteri Kesehatan Republik Indonesia: Persyaratan Kualitas Air Minum, 2010)

### Total Pembersihan Padatan Terlarut Menggunakan Geotekstil

Berdasarkan Tabel 4, jumlah total padatan terlarut baik sebelum dan sesudah pengolahan berada di bawah batas maksimum. Padatan mengalami penurunan jumlah dari 800 mg/L menjadi 270 mg/L setelah pengolahan. Hal ini menunjukkan bahwa sisa padatan terlarut sebesar 530 mg/L terkandung dalam geotekstil. Penurunan total padatan terlarut sesuai dengan penelitian terdahulu dimana terdapat 250 mg/L TDS sebelum filtrasi dan 237 mg/L setelah filtrasi geotekstil, sedangkan 243 mg/L TDS diperoleh melalui filtrasi konvensional (Anirudh et al., 2016). Dengan menggunakan persamaan (2) untuk menghitung konsentrasi akhir padatan yang terkandung setelah proses penirisan, dapat dinyatakan bahwa volume yang tertahan kurang lebih sama besar dengan volume padatan terlarut. Konsentrasi total padatan terlarut berbanding terbalik dengan total volume air pada pengujian, dimana dengan jumlah padatan yang sama, nilai konsentrasi yang lebih kecil mengindikasikan besarnya volume air pada pengujian dan sebaliknya.

$$S_0 = \frac{800 \times 10^{-6} \text{ kg}}{1L} \times 100 \% = 0,08 \%$$

$$\Delta V_t = \frac{1L - 0,9L}{1L} \times 100 \% = 90 \%$$

$$S_t = \frac{\left(\frac{1}{1-90\%}\right)\left(\frac{0,08}{1-0,08\%}\right)}{1 + \left(\frac{1}{1-90\%}\right)\left(\frac{0,08\%}{1-0,08\%}\right)} = 0,465 \%$$

Penelitian ini membuktikan bahwa sebagian besar zat yang lolos dari geotekstil merupakan air dimana peningkatan konsentrasi total padatan terlarut yang tertahan pada geotekstil telah sesuai dengan penelitian pada Tabel 2 yang menyatakan bahwa konsentrasi awal padatan sebelum disaring oleh geotekstil lebih kecil daripada konsentrasi akhir padatan setelah

penirisan. Namun, terdapat sedikit perbedaan antara konsentrasi akhir yang terkandung menurut perhitungan dan uji laboratorium. Berdasarkan perhitungan menggunakan persamaan (1), konsentrasi akhir padatan adalah 0,465 % dengan uji laboratorium menunjukkan adanya 0,527 % padatan tertahan. Perbedaan konsentrasi akhir padatan yang terkandung berdasarkan perhitungan rumus dan uji laboratorium dapat disebabkan oleh bahan geotekstil pada pengujian ini yang tidak identik dengan penelitian terdahulu (Anirudh et al., 2016; Lawson, 2008).

### **Penghilangan Zat Warna**

Pada Gambar 6 dapat dilihat bahwa air limbah yang telah diolah sebelumnya sangat berwarna. Berdasarkan penelitian sebelumnya (Riyadi, 2019), air limbah yang bersumber dari produksi tekstil memiliki nilai sebesar 1249 Pt-Co. Setelah proses pengolahan, unit warna air limbah berkurang menjadi 82 Pt-Co. Analisis menggunakan persamaan 2 membuktikan bahwa kombinasi perlakuan dengan koagulan alami dari biji *Hibiscus sabdariffa* dan adsorben karbon aktif mampu menghilangkan 93,43 % warna dari zat pewarna dari air. Hasil ini relatif konsisten dibanding penelitian terdahulu yang dilakukan oleh (Hoong & Ismail, 2018; Yong & Ismail, 2016) yang menyatakan bahwa penghilangan zat warna dari proses gabungan mampu mencapai 95,1–96,67 %.



**Gambar 6** Air limbah (a) sebelum diolah (b) setelah diolah

$$\% \text{Penghilangan zat warna} = \frac{1249 - 82}{1249} \times 100 \% = 93,43 \%$$

### **Penghilangan Logam Berat**

#### ***Kromium Heksavalen Terlarut***

Jumlah kromium heksavalen terlarut maksimum yang diijinkan pada air bersih menurut Peraturan Baku Mutu Air tidak boleh melebihi 0,016 mg/L. Penelitian terdahulu menunjukkan kandungan kromium heksavalen di Sungai Citarum sebesar 0,04 mg/L. Setelah pengolahan air limbah, uji laboratorium menunjukkan penurunan konsentrasi *kromium heksavalen* menjadi kurang dari 0,01 mg/L, lebih kecil dari batas maksimum yang diizinkan. Menurut (Hoong & Ismail, 2018) dan (Mohanty et al., 2014), kemungkinan penghilangan kromium heksavalen terlarut dari air limbah menggunakan kombinasi pengolahan koagulasi-adsorpsi mampu mencapai 99 % dalam kondisi optimal. Sesuai dengan penelitian sebelumnya, uji laboratorium telah membuktikan bahwa penelitian ini mampu menghilangkan 75 % *kromium heksavalen* terlarut dari air limbah.

### Timbal dan Kadmium Terlarut

Sebagaimana data yang disajikan di Tabel 4, ditemukan 0,07 mg/L timbal terlarut dan 0,003 mg/L kadmium terlarut dalam 1 liter Sungai Citarum dengan pabrik tekstil di sekitarnya. Berdasar pada Peraturan Baku Mutu Air untuk Kriteria Air Tawar berdasarkan Peraturan Baku Mutu Air, jumlah timbal terlarut tidak boleh lebih dari 0,082 mg/L dan untuk kadmium terlarut tidak boleh lebih dari 0,0039 mg/L. Pengolahan air limbah dengan *clinoptilolite* telah menurunkan konsentrasi timbal dan kadmium. Hasil pengujian menunjukkan bahwa setelah pengolahan, tidak ditemukan adanya timbal dan kadmium dalam air. Jumlah logam berat yang teradsorpsi oleh *clinoptilolite* dapat ditentukan menggunakan persamaan 3.

$$q_t (Pb) = \frac{(0,07 - 0) \times 1}{7,5} = 0,009 \text{ mg/g}$$

$$q_t (Cd) = \frac{(0,003 - 0) \times 1}{7,5} = 0,0004 \text{ mg/g}$$

Peningkatan kualitas air pada penelitian ini lebih sedikit dibandingkan penelitian terdahulu karena penggunaan jumlah larutan yang lebih banyak dan konsentrasi logam berat yang lebih kecil sehingga jumlah kontaminan yang diadsorpsi *clinoptilolite* lebih sedikit. Penurunan konsentrasi timbal dan kadmium terlarut dalam air menunjukkan konsistensi pada Tabel 3 di mana jumlah kation logam berat yang teradsorpsi sebelum pertukaran lebih sedikit dibanding dengan jumlah yang teradsorpsi setelah pertukaran. Hal ini membuktikan bahwa hilangnya kation logam berat dari air limbah karena adsorpsinya ke permukaan *clinoptilolite*.

### Efektivitas Filter Gabungan

Tabel 6 menunjukkan perbandingan efisiensi filter individual dan gabungan dalam pengolahan air yang terkontaminasi. Hasil ini bervariasi dengan adanya beberapa peningkatan dan penurunan pada kemampuan masing-masing bahan ketika digabungkan untuk meningkatkan kualitas air. Perbedaan antara penelitian sebelumnya dan penelitian ini dipengaruhi oleh pH awal larutan spesimen dan komposisi bahan yang tersedia untuk penelitian. Secara umum, sistem gabungan bekerja lebih baik dalam menghilangkan polutan daripada filter individual karena setiap komponen filter melengkapi kelebihan filter lainnya dan menutupi kekurangannya (Xin-Hui et al., 2016).

**Tabel 6** Persentase perbandingan efektivitas filter secara individual dengan filter gabungan

Efektifitas Filter (%)	Geotekstil <sup>1</sup>	<i>Hibiscus sabdariffa</i> <sup>2</sup>	Karbon Aktif <sup>3</sup>	<i>Clinoptilolite</i> <sup>4</sup>	Filter Gabungan
Total Padatan Terlarut	5,2	T/A	T/A	T/A	66,25
pH	T/A	95,1–96,67	T/A	T/A	93,43
Zat Warna (Pt-Co)	T/A	T/A	100	99	100
Timbal (Pb)	T/A	T/A	70–75	43,84 –74,44	100
Kadmium (Cd)	T/A	T/A	99	T/A	75
Kromium Heksavalen (Cr <sup>6+</sup> )	T/A	T/A	90	90	95
Seng (Zn)	T/A	T/A	99	T/A	98,57

<sup>1</sup> Kinerja membran geotekstil (Anirudh et al., 2016)

<sup>2</sup> Kinerja biji *Hibiscus sabdariffa* (Hoong & Ismail, 2018; Yong & Ismail, 2016)

<sup>3</sup> Kinerja karbon aktif (Abdel Salam et al., 2011; Agwaramgbo et al., 2013; Huang & Blankenship, 1984; Kaiser, 1970; Mohanty et al., 2014; Qadeer & Khalid, 2005)

<sup>4</sup> Kinerja *Clinoptilolite* (Asghar et al., 2013)

Peningkatan tertinggi terjadi pada parameter total padatan terlarut dimana sistem kombinasi mencapai 66,25 %, jauh lebih tinggi dari 5,2 % pada penelitian sebelumnya. Ada kemungkinan bahwa latar penelitian yang berbeda, seperti bahan polutan dan spesifikasi geotekstil, adalah alasan perbedaan kontras tersebut. Namun, keberadaan koagulan *Hibiscus sabdariffa*, karbon aktif, dan *clinoptilolite* akan menghalangi padatan yang terkandung di dalam air. Oleh karena itu sistem gabungan menyaring polutan padat lebih baik daripada geotekstil saja.

## **KESIMPULAN**

Hasil penelitian menunjukkan bahwa kombinasi sistem pengolahan air limbah menggunakan geotekstil, biji *Hibiscus sabdariffa*, karbon aktif, dan *clinoptilolite* 66,25 – 100% efektif untuk digunakan sebagai pilihan dalam mengurangi pencemaran air dari produk limbah tekstil. Pengujian air hasil filter kombinasi geotekstil, koagulan biji *Hibiscus sabdariffa* dan karbon aktif serta zeolit jenis *clinoptilolite* mengindikasikan adanya perbaikan kualitas pada air yang dibuktikan dengan perubahan warna dari merah pekat hingga hampir tak berwarna (1249 TCU menjadi 82 TCU), turunnya jumlah padatan terlarut dari 800 mg/L menjadi 270 mg/L, berkurangnya kandungan Krom heksavalen terlarut menjadi sangat kecil dari <0,04 mg/L menjadi <0,01 mg/L dan kandungan timbal dan kadmium terlarut dari 0,06 dan 0,003 mg/L menjadi tidak terdeteksi.

Hal tersebut menunjukkan bahwa sistem pengolahan air limbah menggunakan filter kombinasi ini memiliki peluang untuk digunakan sebagai alternatif dalam mengurangi dampak pencemaran air dari limbah tekstil, sehingga air yang sudah diolah memiliki potensi untuk dimanfaatkan.

Perlu dicatat bahwa penelitian ini dilakukan menggunakan sampel air limbah sintesis dan bukan air limbah asli. Namun, hasilnya prospektif dan penelitian lebih lanjut perlu dilakukan untuk menunjukkan bahwa sistem penyaringan benar-benar layak untuk diterapkan.

## **DAFTAR PUSTAKA**

- Abdel Salam, O. E., Reiad, N. A., & ElShafei, M. M. (2011). A study of the removal characteristics of heavy metals from wastewater by low-cost adsorbents. *Journal of Advanced Research*, 2(4), 297–303. <https://doi.org/10.1016/j.jare.2011.01.008>
- Affandi, N. R. D., Preynia, T., Wartono, W., & Hartawan, Y. (2018). Kampanye Sosial Sungai Citarum Guna Sukses Program Citarum Harum. *Prosiding Seminar Hasil Pengabdian Kepada Masyarakat*, 1(1), 1–7. <https://conference.upnvj.ac.id/index.php/pkm/article/view/64>
- Agwaramgbo, L., Lathan, N., Edwards, S., & Nunez, S. (2013). Assessing Lead Removal from Contaminated Water Using Solid Biomaterials: Charcoal, Coffee, Tea, Fishbone, and Caffeine. *Journal of Environmental Protection*, 04(07), 741–745. <https://doi.org/10.4236/jep.2013.47085>
- Anirudh, Sharma, S. K., Goel, E. R. K., & Jyothi, P. . (2016). Analysis of Water Quality Parameters and Discharge Rate Through Conventional and Geotextile Based Filter. *International Research Journal of Engineering and Technology*, 2066–2071.
- Asghar, N. A., Ali, R. A., Reza, H. M., Narges, S., Akhtar, A., Zeynab, S., & Marzieh, S. G. (2013). Investigation of Cadmium Removal Efficiency by Clinoptilolite from Aqueous Solutions. *Journal of Zabol University of Medical Sciences and Health Services*

- (*Journal of Rostamineh*), 5(3), 32–38. <https://www.sid.ir/en/journal/ViewPaper.aspx?id=439613>
- Cita-Citarum. (2014). *Fakta Potensi*. Citarum.Org.
- Happy, A., Masyamsir, & Dhahiyat, Y. (2012). Distribusi Kandungan Logam Berat Pb dan Cd pada Kolom Air dan Sedimen Daerah Aliran Sungai Citarum Hulu. *Jurnal Perikanan Dan Kelautan*, 3(3), 175–182.
- Hoong, H. N. J., & Ismail, N. (2018). Removal of Dye in Wastewater by Adsorption-Coagulation Combined System with Hibiscus sabdariffa as the Coagulant. *MATEC Web of Conferences*, 152. <https://doi.org/10.1051/matecconf/201815201008>
- Huang, C. P., & Blankenship, D. W. (1984). The removal of mercury(II) from dilute aqueous solution by activated carbon. *Water Research*, 18(1), 37–46. [https://doi.org/10.1016/0043-1354\(84\)90045-9](https://doi.org/10.1016/0043-1354(84)90045-9)
- Kaiser, R. (1970). Carbon molecular sieve. In *Chromatographia* (Vol. 3, Issue 1). <https://doi.org/10.1007/BF02276400>
- Peraturan Menteri Kesehatan Republik Indonesia: Persyaratan Kualitas Air Minum, Pub. L. No. No. 492 Tahun 2010, Persyaratan Kualitas Air Minum (2010).
- Peraturan Menteri Kesehatan Republik Indonesia: Standar Baku Mutu Kesehatan Lingkungan dan Persyaratan Kesehatan Air untuk Keperluan Higiene Sanitasi, Kolam Renang, Solus Per Aqua, dan Pemandian Umum, Pub. L. No. No. 32 tahun 2017, Peraturan Menteri Kesehatan Republik Indonesia 1 (2017).
- Kriteria dan Penetapan Wilayah Sungai, Pub. L. No. 04/PRT/M/2015 (2015).
- Lawson, C. R. (2008). Geotextile containment for hydraulic and environmental engineering. *Geosynthetics International*, 15(6), 384–427. <https://doi.org/10.1680/gein.2008.15.6.384>
- Mohanty, S., Bal, B., & Das, A. (2014). Adsorption of Hexavalent Chromium Onto activated carbon. *Austin J Biotechnol Bioeng.*, 1(2), 1–5. [www.austinpublishinggroup.com](http://www.austinpublishinggroup.com)
- Office of the Federal Register National Archives and Records Administration: Protection of Environment, 400 (1996).
- Priyanto, N., Dwiyoitno, D., & Ariyani, F. (2008). Kandungan Logam Berat (Hg, Pb, Cd, dan Cu) pada Ikan, Air, dan Sedimen di Waduk Cirata, Jawa Barat. *Jurnal Pascapanen Dan Bioteknologi Kelautan Dan Perikanan*, 3(1), 69–78. <https://doi.org/10.15578/jpbkp.v3i1.11>
- Qadeer, R., & Khalid, N. (2005). Removal of Cadmium from Aqueous Solutions by Activated Charcoal. *Separation Science and Technology*, 40(4), 845–859. <https://doi.org/10.1081/SS-200028819>
- Rahmani, R. Z. (2018). *Analisis Pencemaran Kromium Berdasarkan Kadar COD pada Hulu Sungai Citarum di Kecamatan Majalaya Kabupaten Bandung Jawa Barat Tahun 2018*. Universitas Islam Negeri Syarif Hidayatullah.
- Riyadi, R. W. (2019). *Karakterisasi Air Limbah Batik di Daerah Istimewa Yogyakarta dan Kabupaten Bantul dengan Parameter Tembaga (Cu), Kromium (Cr), dan Kadmium (Cd)* (Issue 07). Universitas Islam Indonesia.
- Satrianegara, R. (2018). *Citarum Dicemari Limbah Industri 349.000 Ton Setiap Hari*. CNBC Indonesia. <https://www.cnbcindonesia.com/news/20180406133932-4-9961/citarum-dicemari-limbah-industri-349000-ton-setiap-hari>
- Setyarini, N. L. S. E., Kushartomo, W., Kurniawan, V., Tajudin, A. N., & Sandjaya, A. (2018). *Laporan Akhir yang Diajukan ke Direktorat Penelitian dan Pengabdian Kepada Masyarakat: Citarum Harum*.

- Sprynskyy, M., Buszewski, B., Terzyk, A. P., & Namieśnik, J. (2006). Study of the selection mechanism of heavy metal (Pb<sup>2+</sup>, Cu<sup>2+</sup>, Ni<sup>2+</sup>, and Cd<sup>2+</sup>) adsorption on clinoptilolite. *Journal of Colloid and Interface Science*, 304(1), 21–28. <https://doi.org/10.1016/j.jcis.2006.07.068>
- Ti, N. S. (2016). *Citarum: Prioritaskan Daerah Bermasalah*. Citarum.Org. [http://citarum.org/images/DSC\\_6161\\_copy.jpg](http://citarum.org/images/DSC_6161_copy.jpg)
- Tilley, E., Ulrich, L., Lüthi, C., Reymond, P., Schertenleib, R., Morel, A., Zurbrügg, C., & Schertenleib, R. (2008). Compendium of Sanitation Systems and Technologies. In P. Donahue (Ed.), *Swiss Federal Institute of Aquatic Science and Technology (Eawag)* (2nd Revise).
- Tripathi, A., & Rawat Ranjan, M. (2015). Heavy Metal Removal from Wastewater Using Low Cost Adsorbents. *Journal of Bioremediation & Biodegradation*, 06(06). <https://doi.org/10.4172/2155-6199.1000315>
- USEPA. (1994). Appendix A: Water Quality Standards Regulation. *Water Quality Standards Handbook: Second Edition*.
- Witono, J. R. B., & Miryanti, Y. I. P. A. (2015). Activated Fly Ash Adsorbent Development for Cu<sup>2+</sup> and Cr<sup>6+</sup> Ion Reduction in Textile Industry Liquid Waste. In *Institute for Research and Community Services of Parahyangan Catholic University*.
- Xin-Hui, C., Ling, S., Low, W., Tow, T., Yee, T., Wong, S., Su, C. X.-H., Low, L. W., Teng, T. T., & Wong, Y. S. (2016). Title: Combination and hybridisation of treatments in dye wastewater treatment: A review. *Biochemical Pharmacology*. <https://doi.org/10.1016/j.jece.2016.07.026>
- Yong, M. Y., & Ismail, N. (2016). Optimisation of hibiscus sabdariffa as a natural coagulant to treat Congo red in wastewater. *Journal of Engineering Science and Technology*, 11(Special Issue onthefourtheureca2015), 153–165.
- Zalhasmy, I., Hasanah, E. M., Hidayat, A. F., Widianwari, A. M., Rahmanisa, G., Wahyunita, C., & Asjadinnisa, N. (2019). Penentuan Status Ekologis Sungai DAS Citarum pada Daerah Danau Cisanti Sampai Daerah Majalaya. In *Penelitian Kecil Proyek Ekologi SITH-ITB* (Vol. 21, Issue January). <https://doi.org/10.13140/RG.2.2.17788.59524>