

Proses Gabungan Koagulasi-Adsorpsi Menggunakan Material Lokal Tanah Lempung Gambut dan Adsorben Gambut untuk Menyisihkan Warna dan Organik pada Limbah Cair Sasirangan

Mahmud Mahmud, Nadya Ul-Haq Mahmud, Chairul Abdi*, Nida Luthfina dan Anita Fatimah

Program Studi Teknik Lingkungan, Fakultas Teknik, Universitas Lambung Mangkurat

*E-mail: chairulabdi@ulm.ac.id

ABSTRAK

Pengolahan LCS dengan koagulasi masih menggunakan koagulan anorganik dan belum memenuhi baku mutu untuk warna. Perlu alternatif koagulan organik yang murah dan ramah lingkungan. Pengolahan lanjutan setelah koagulasi yaitu proses adsorpsi juga perlu dilakukan untuk meningkatkan penyisihan warna. Kalimantan Selatan memiliki lahan gambut yang sangat luas, dan di dalamnya terdapat tanah lempung gambut (TLG) yang dapat digunakan sebagai koagulan organik dan gambut sebagai adsorben. Studi ini bertujuan menganalisis kemampuan koagulan TLG dan gambut pada proses gabungan koagulasi-adsorpsi dalam menurunkan warna dan organik dalam LCS. Proses koagulasi menggunakan metode Jar-Test dan adsorpsi menggunakan metode *batch*. Pengujian kandungan organik (UV_{254}) dan warna menggunakan metode spektroskopi UV-Vis, untuk warna diperlukan larutan standar PtCo. LCS diperoleh dari rumah-industri sasirangan di Pemajatan Gambut; TLG dan gambut diperoleh dari Landasan Ulin Kalimantan Selatan. Hasil penelitian menunjukkan bahwa LCS memiliki pH 8,53 atau bersifat basa; warna sangat tinggi 392,4PtCo; bahan organik dalam LCS didominasi fraksi hidrofobik dan berat molekul relatif besar. TLG memiliki pH yang sangat asam yaitu 2,52 dengan pH_{PZC} 2,91. Kondisi operasi terbaik untuk proses gabungan koagulasi-adsorpsi menggunakan koagulan TLG dan adsorben gambut diperoleh pada pH asli 8,35 (tanpa pengaturan), dosis terbaik 20g/L TLG dan 5g/L gambut, dengan penyisihan warna dan organik (UV_{254}) mencapai 87,5% dan 34,7%. Pada kondisi terbaik parameter pH, warna, dan TSS masing-masing 6,21; 76,1PtCo dan 15mg/L dan sudah memenuhi baku mutu. Kondisi operasi terbaik untuk 3 proses gabungan koagulasi-adsorpsi yang lainnya sebagai pembandingan, diperoleh pada pH koagulasi 8,53 dengan dosis 20g/L TLG+0,1g/L PAC; 0,5g/L alum+5g/L gambut dan 0,5g/L alum+0,1g/L PAC. Koagulan organik TLG dan adsorben gambut dapat digunakan sebagai salah satu alternatif untuk mengolah LCS.

Kata kunci: Adsorpsi, Gambut, Koagulasi, Limbah Cair Sasirangan, Tanah Lempung Gambut.

ABSTRACT

The Sasirangan wastewater (SWW) processing with coagulation still uses inorganic coagulants and does not meet the quality standards for color. So, it needs an alternative organic coagulant that is low-cost and eco-friendly. Further processing after coagulation, namely the adsorption process also needs to be carried out to increase color removal. South Kalimantan has a very large area of peatland, and it contains peat clay soil (PCS) and peat that can be used as organic coagulants and adsorbents. This study aims to analyze the performance of PCS and peat, in the combined coagulation-adsorption process, in reducing color and organic of the SWW. The coagulation process uses the Jar-Test method and the adsorption uses the batch method. Measurement of color and organic content (UV_{254}) using the spectroscopy method. The SWW was obtained from the Sasirangan industrial-home in Pemajatan Gambut District; PCS and peat were obtained from the Landasan Ulin, South Kalimantan. The results showed that SWW had a pH of 8.53 or was alkaline; has a very high color 392.4PtCo; organic matter in SWW is dominated by a hydrophobic fraction and relatively large molecular weight. PCS has a very acidic pH of 2.52 with a pH_{PZC} of 2.91. The best conditions for the combined coagulation-adsorption process using PCS coagulant and peat adsorbent were obtained at the original pH 8.35 (without adjustment), the best dose of 20g/L PCS and 5g/L peat, with color and organic removal reaching 87.5% and 34.7%. In the best condition, the parameters of pH, color and TSS were 6.21; 76.1PtCo; and 15mg/L and already meet the quality standards. The best-operating conditions for the other 3 combined coagulation-adsorption processes for comparison were obtained at a coagulation pH of 8.53 with a dose of 20g/L PCS+0.1g/L PAC; 0.5g/L alum+5g/L peat and 0.5g/L alum+0.1g/L PAC. PCS organic coagulant and peat adsorbent can be used as an alternative to treat SWW.

Keywords: Adsorption, Coagulation, Peat, Peat Clay Soil, Sasirangan Wastewater

Citation: Mahmud, M., Mahmud, N.U.H., Abdi, C., Luthfina, N., dan Fatimah, A. (2023). Proses Gabungan Koagulasi-Adsorpsi Menggunakan Material Lokal Tanah Lempung Gambut dan Adsorben Gambut untuk Menyisihkan Warna dan Organik pada Limbah Cair Sasirangan. *Jurnal Ilmu Lingkungan*, 21(4), 839-848, doi:10.14710/jil.21.4.839-848

1. Pendahuluan

Indonesia memiliki lahan gambut nomor 4 di dunia yaitu mencapai $\pm 15,5-18,5$ juta ha (Sudrajat dan Subekti, 2019). Lahan gambut memiliki material organik yang dapat digunakan sebagai koagulan dan adsorben berupa tanah lempung gambut (TLG) dan gambut (peat). TLG merupakan tanah lempung yang berada di bawah lapisan gambut dan sangat potensial sebagai adsorben dan koagulan organik (Mahmud dkk., 2008; Mahmud dkk., 2013). TLG mengandung gugus fungsi amina, karbonil, hidroksil dan fenolik (Mahmud dkk., 2013). Gugus-gugus fungsi tersebut menyebabkan TLG dapat bermuatan positif pada rentang pH tertentu sehingga dapat berfungsi sebagai koagulan organik yang efektif untuk menetralisasi kontaminan bermuatan negatif dalam air maupun limbah cair.

Gambut merupakan material lain selain TLG yang terkandung di dalam lahan gambut dan dapat digunakan sebagai adsorben. Gambut memiliki karakter hidrofobik dan kapasitas tukar kation (KTK) yang tinggi sehingga dapat digunakan sebagai adsorben untuk adsorpsi logam (Bartczak dkk., 2015); pewarna (dye), logam dan molekul organik (Allen dkk., 2004); zat warna air limbah (Fernandes dkk., 2010). Penelitian gambut sebagai adsorben pada pengolahan air limbah telah dilaporkan oleh beberapa peneliti untuk menyisihkan methylene blue (Fernandes dkk., 2010), basic dye (Allen dkk., 2004) dan krom heksavalen (Mulida, 2016).

Kalimantan Selatan memiliki kain khas suku Banjar yang telah diwariskan secara turun temurun yaitu kain sasirangan. Kain sasirangan dalam proses pembuatannya menghasilkan limbah cair yang disebut limbah cair sasirangan (LCS). Berdasarkan data Dinas Perindustrian dan Perdagangan Kalimantan Selatan, pada tahun 2017 terdapat 170 unit usaha industri-rumah sasirangan yang berdiri di beberapa kota/kabupaten di Kalimantan Selatan (Kusuma dkk., 2019). Sampai sekarang, masih banyak industri-rumah kain sasirangan yang membuang LCS langsung ke badan air tanpa dilakukan pengolahan terlebih dahulu. Debit LCS dari industri-rumah kain sasirangan diperkirakan mencapai $340\text{m}^3/\text{hari}$, sehingga harus dilakukan pengelolaan dengan baik, agar tidak mencemari lingkungan.

LCS merupakan salah satu jenis dari limbah cair tekstil. Limbah cair tekstil umumnya memiliki karakteristik warna, COD dan BOD yang tinggi serta pH basa (Lee dkk., 2006). Limbah cair tekstil dapat diolah dengan beberapa metode pengolahan seperti proses koagulasi (Manholer dkk., 2019; Kumar dkk., 2008), adsorpsi (Khair dkk., 2021; Turp dkk., 2020; Carvallho dkk., 2016; Kim dkk., 2004; Herawati dkk., 2018), proses gabungan koagulasi-adsorpsi (Aleem dkk., 2020; Harrelkas dkk., 2010; Furlan dkk., 2009; Papic dkk., 2004). Teknik pengolahan yang lebih efisien dan ekonomis untuk pengolahan limbah cair tekstil adalah menggunakan proses koagulasi, adsorpsi atau gabungan dari kedua proses tersebut (Aleem dkk., 840

2020). Kinerja proses gabungan koagulasi dilanjutkan dengan adsorpsi (koagulasi-adsorpsi) lebih baik daripada kombinasi adsorpsi-koagulasi pada pengolahan air limbah tekstil (Harrelkas dkk., 2009). Menurut Lee dkk. (2006), pengolahan dengan proses gabungan terbukti lebih efisien dalam menghilangkan warna pada limbah cair tekstil yaitu mencapai 99,9%.

Penelitian mengenai proses pengolahan khususnya untuk LCS telah dilaporkan oleh beberapa peneliti, diantaranya menggunakan proses koagulasi dan adsorpsi (Hakim dkk., 2016); koagulasi dan filtrasi (Irawati dkk., 2011); koagulasi, filtrasi dan adsorpsi (Muis dan Wilopo, 2011); filtrasi dan fitoremediasi (Santoso dkk., 2014); *multi soil layering* (Akhyar dkk., 2016). Namun demikian, berdasarkan literatur yang telah dipelajari, belum ditemukan hasil penelitian pengolahan LCS menggunakan proses gabungan koagulasi-adsorpsi. Pada pengolahan limbah cair tekstil demikian juga LCS, proses koagulasi umumnya menggunakan koagulan anorganik seperti aluminium sulfat (alum), *poly aluminium chloride* (PACl), besi sulfat dan besi klorida (Dwipayani dan Notodarmodjo, 2013). Koagulan anorganik merupakan koagulan yang bersifat tidak ramah lingkungan, sehingga disarankan untuk dikurangi dalam penggunaannya.

Berdasarkan Permen LHK Nomor P.16 Tahun 2019 tentang Baku Mutu Air Limbah, kualitas LCS meliputi parameter pH, warna, COD dan TSS masih melebihi baku mutu (Arifin dkk., 2017; Utami dan Nurmasari, 2007). Dari beberapa parameter tersebut, warna dan organik merupakan parameter yang paling besar melebihi baku mutu, sehingga parameter ini umumnya yang dijadikan target dalam pengolahan LCS. Parameter bahan organik dalam air dapat direpresentasikan dengan nilai absorbansi UV_{254} (Notodarmojo dkk., 2017; Mahmud dkk., 2012). Studi ini bertujuan untuk menganalisis kemampuan koagulan organik TLG dan adsorben gambut dalam menurunkan warna dan organik pada LCS menggunakan proses gabungan koagulasi dan adsorpsi.

2. Metode

2.1. Bahan

Bahan-bahan yang digunakan terdiri gambut, TLG dan LCS. Sedangkan bahan-bahan kimia yang digunakan diantaranya NaOH (0,1M dan 0,01M) dan H_2SO_4 (0,1 dan 0,01M) untuk mengatur pH, HCl 0,1M dan NaCl 0,1M untuk menentukan luas permukaan spesifik adsorben gambut dan pH_{pzc} . Koagulan anorganik aluminium sulfat $\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3 \cdot 16\text{H}_2\text{O}$ (UPT BPPTK LIPI) dan adsorben karbon aktif bubuk/*powdered activated carbon* (PAC) (Merck) sebagai pembanding untuk koagulan TLG dan adsorben gambut.

2.2. Waktu, Variabel dan Objek Penelitian

Kegiatan penelitian ini dilaksanakan sekitar 6 bulan, terdiri dari pengambilan sampel, karakterisasi, kegiatan percobaan di laboratorium dan analisis data. Variabel terikat terdiri dari 3 variabel, yaitu: 1) warna, 2) organik (UV_{254}) dan 3) rasio E_4/E_6 , sedangkan

variabel bebas terdiri dari 3 variabel yaitu: 1) pH LCS, 2) dosis koagulan TLG; dan 3) dosis adsorben gambut. Objek khusus yang diselidiki pada penelitian ini meliputi LCS, koagulan TLG dan adsorben gambut.

2.3. Pengambilan Sampel TLG, Gambut dan LCS

TLG diambil pada kedalaman ±30 cm dari lapisan gambut. Gambut dan TLG diambil di sekitar Jalan Gubernur Syarkawi, Landasan Ulin Kalimantan Selatan. LCS ±300liter diperoleh dari industri-rumah sasirangan di jalan Pemajatan Gambut.

2.4. Preparasi dan Karakterisasi Koagulan TLG, Adsorben Gambut dan LCS

Preparasi koagulan TLG mengikuti metode (Mahmud dkk., 2012; Amalia, 2018). TLG yang telah diambil dipotong kecil-kecil dan dikeringkan di udara terbuka dengan sinar matahari hingga secara visual terlihat kering. Setelah itu dioven pada suhu 105°C selama 24 jam, ditumbuk dengan mortar porselin dan disaring dengan ukuran mesh 80/100 (lolos mesh 80, tertahan mesh 100). TLG disimpan dalam desikator untuk pengujian pH, pH_{pzc} (pH muatan nol) dan gugus fungsional.

Preparasi adsorben gambut mengikuti metode Fernandes (2010) dan Mulida (2016). Gambut yang telah diambil dikeringkan pada udara terbuka hingga terlihat tampak kering, dioven pada 105°C selama 24 jam, ditumbuk dan disaring dengan mesh 80/100. Adsorben gambut yang sudah dipreparasi disimpan dalam desikator dan dilakukan pengujian pH, pH_{pzc}; luas permukaan spesifik dan gugus fungsional.

Preparasi sampel LCS, sampel LCS yang telah diambil disimpan di dalam Tandon dengan kapasitas ±300 liter. Diletakkan pada lokasi yang tidak terkena sinar matahari dan ditutup kain warna hitam. Karakterisasi LCS meliputi warna, pH, organik (UV₂₅₄),

COD dan TSS. Sampel LCS disaring dengan filter membran 0,45 µm sebelum dilakukan pengujian.

2.5. Percobaan Koagulasi LCS dengan Koagulan TLG dan Alum

Percobaan koagulasi menggunakan metode Jar-Test, rancangan percobaan koagulasi LCS menggunakan koagulan TLG ditunjukkan pada **Tabel 1**. Percobaan dilakukan dengan 2 (dua) kali pengulangan (*duplo*) dengan melakukan variasi pH dan dosis untuk kedua jenis koagulan. Penentuan variasi dosis masing-masing koagulan dan adsorben didasarkan pada hasil percobaan pendahuluan yang telah dilakukan, sehingga dapat ditentukan variasi dosis yang dipelajari.

2.6. Percobaan Proses Gabungan Koagulasi dan Adsorpsi

Rancangan percobaan proses gabungan koagulasi dan adsorpsi menggunakan koagulan TLG dan Alum serta adsorben gambut dan PAC, masing-masing variasi dengan 2 kali pengulangan (*duplo*) ditunjukkan pada **Tabel 2**. Parameter yang diukur untuk menguji kinerja dari setiap percobaan terdiri dari warna, pH, organik (UV₂₅₄) dan E₄/E₆.

2.7. Metode Analitik

Jenis analisis, metode dan peralatan yang digunakan pada penelitian ini ditunjukkan pada **Tabel 3**. Hasil perhitungan dari data-data yang telah diperoleh, kemudian disajikan dalam bentuk tabel atau grafik. Parameter E₄/E₆ merupakan nilai rasio UV₄₆₅ dengan UV₆₅₆, penyisihan parameter warna dan UV₂₅₄ dihitung menggunakan persamaan:

$$\text{Efisiensi}(\%) = \frac{(C_0 - C_t)}{C_0} \times 100\% \quad (1)$$

C₀ : konsentrasi awal (mg/L atau PtCo)

C_t : konsentrasi akhir (mg/L atau PtCo)

Tabel 1. Rancangan Percobaan Koagulasi LCS dengan Koagulan TLG dan Alum

Percobaan	pH	Dosis (g/L)	Jumlah sampel	Parameter yang diukur	Output
Variasi pH LCS (untuk koagulan TLG dan Alum)	<u>5 Variasi:</u> 5, 6, 7, 8, 9 dan 10	<u>Tetap:</u> TLG 20g/L; dan Alum 0,5g/L	10 10	Warna, pH, UV ₂₅₄ dan E ₄ /E ₆	pH terbaik (TLG dan Alum)
Variasi Dosis TLG	<u>Tetap:</u> pH terbaik TLG	<u>7 Variasi:</u> 5, 10, 15, 20, 25, 30 dan 35g/L	14	Warna, pH, UV ₂₅₄ dan E ₄ /E ₆	Dosis TLG terbaik
Variasi Dosis Alum	<u>Tetap:</u> pH terbaik alum	<u>7 Variasi:</u> 0,3; 0,4; 0,5; 0,6; 0,7; 0,8 dan 0,9g/L	14	Warna, pH, UV ₂₅₄ dan E ₄ /E ₆	Dosis Alum terbaik

Tabel 2. Rancangan Percobaan Gabungan Koagulasi-Adsorpsi Menggunakan Koagulan TLG dan Alum, serta Adsorben Gambut dan PAC dengan Waktu Kontak 360 Menit

Percobaan Gabungan	pH	Dosis Adsorben (g/L)	Jumlah sampel	Parameter yg diukur	Output
Variasi Dosis Adsorben Gambut	<u>Tetap:</u> pH setelah koagulasi TLG	<u>7 Variasi:</u> 5, 10, 15, 20, 25, 30 dan 35g/L	14	Warna, pH, UV ₂₅₄ & E ₄ /E ₆	Gabungan TLG+gambut terbaik
	<u>Tetap:</u> pH setelah koagulasi alum	<u>7 Variasi:</u> 0,1; 0,2; 0,3; 0,4; 0,5; 0,6 dan 0,7g/L	14	Warna, pH, UV ₂₅₄ & E ₄ /E ₆	Gabungan Alum+gambut terbaik
Variasi Dosis Adsorben PAC	<u>Tetap:</u> pH setelah koagulasi TLG	<u>7 Variasi:</u> 5, 10, 15, 20, 25, 30 dan 35g/L	14	Warna, pH, UV ₂₅₄ & E ₄ /E ₆	Gabungan TLG+PAC terbaik
	<u>Tetap:</u> pH setelah koagulasi alum	<u>7 Variasi:</u> 0,1; 0,2; 0,3; 0,4; 0,5; 0,6 dan 0,7g/L	14	Warna, pH, UV ₂₅₄ & E ₄ /E ₆	Gabungan Alum+PAC terbaik

Tabel 3. Jenis Analisis, Metode dan Peralatan yang Digunakan

No	Analisis	Metode	Peralatan/Instrumen
1	pH dan dosis terbaik koagulan TLG & alum	Jar Test	Flocculators Velp JLT6
2	Dosis terbaik adsorben gambut dan PAC	Batch (statis)	Daihan Shaker Digital Orbital, 350x350 SHO-2D
3	Gugus fungsi TLG dan gambut	Spektroskopi FTIR	FTIR ALPHA
4	Nilai pH	Potensiometri	pH meter Horima Laqua
5	pH dan pH _{PZC} untuk TLG dan gambut	Metode titrasi (Kuang dkk., 2020)	pH meter Horiba Laqua
6	Luas permukaan spesifik gambut	Metode Sears (Iwar, dkk., 2021)	pH meter Horiba Laqua
7	COD	Spektroskopi refluks tertutup	Reaktor COD HANNA
8	Warna (UV ₄₅₆), bahan organik (UV ₂₅₄); absorpsi UV ₄₆₅ dan UV ₆₅₆	Spektroskopi UV-Vis	UV-vis Spectrophotometer UV-VIS 100 DA-X

3. Hasil dan Pembahasan

3.1. Karakteristik Limbah Cair Sasirangan (LCS), TLG dan Gambut

Hasil karakterisasi LCS pada kondisi asli yang diambil dari Industri Rumah Sasirangan di Pemajatan Gambut Kalimantan Selatan ditunjukkan pada Tabel 4. LCS memiliki nilai pH yang tinggi atau kondisi basa yaitu 8,53. Nilai warna dan organik (UV₂₅₄) juga tinggi yaitu 392,4 PtCo dan 0,809cm-1. Parameter warna, COD dan TSS pada LCS tidak memenuhi Baku Mutu Air Limbah pada Permen LHK P.16/2019. Karakteristik LCS pada penelitian ini dibandingkan dengan hasil penelitian lain, menunjukkan adanya nilai yang mirip dan juga berbeda. Hal ini dapat disebabkan karena penggunaan pewarna dan proses pembuatan yang berbeda-beda dari setiap rumah-industri.

Nilai rasio E₄/E₆ LCS lebih kecil dari 5 yaitu 2,51, menunjukkan bahwa bahan organik yang terdapat pada LCS merupakan jenis bahan humik dengan karakter aromatik, hidrofobik dan berat molekul relatif besar (You dkk., 1999). Bahan organik dengan berat molekul besar lebih mudah disisihkan dengan proses koagulasi (Gao dan Yue, 2005; Vilge-Ritter dkk., 1999) dan adsorpsi (Gu dkk., 1995). Oleh karena itu, pengolahan LCS menggunakan proses koagulasi dan adsorpsi merupakan alternatif proses pengolahan yang tepat.

Koagulan TLG yang digunakan memiliki pH yang sangat asam yaitu 2,52 dengan pH_{PZC} 2,97; dan adsorben gambut memiliki pH 3,74 dan pH_{PZC} 3,04 serta luas permukaan spesifik 234,2g/m². Nilai pH yang sangat asam untuk TLG dan gambut

berhubungan erat dengan kandungan asam-asam organik, yaitu asam humat dan dan asam fulvat (Mahmud dkk., 2012). Bahan organik yang telah mengalami dekomposisi mempunyai gugus reaktif karboksil dan fenol yang bersifat sebagai asam lemah. Diperkirakan 85-95% sumber kemasaman tanah gambut disebabkan karena kedua gugus karboksil dan fenol tersebut.

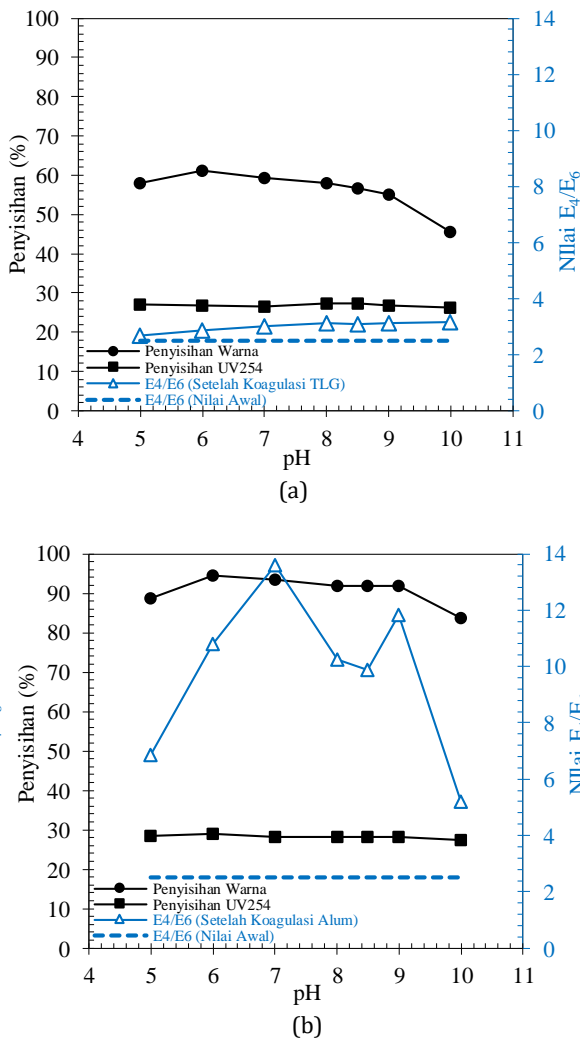
3.2. Pengaruh pH pada Koagulasi LCS dengan Koagulan TLG dan Alum

Koagulasi LCS menggunakan koagulan organik TLG dan juga koagulan anorganik yaitu aluminium sulfat Al₂(SO₄)₃.16H₂O sebagai pembanding. Pengaruh pH LCS terhadap penyisihan warna dan kandungan organik (UV₂₅₄) untuk koagulan TLG dan alum ditunjukkan pada **Gambar 1**.

Pada variasi pH 5-10, penyisihan warna LCS menggunakan koagulan TLG 20g/L menunjukkan hasil relatif sama pada kisaran pH 6 sampai pH 9, demikian juga dengan koagulan alum, tapi dengan tingkat penyisihan yang berbeda (**Gambar 1**). Demikian juga untuk warna, penyisihan paling besar untuk kedua jenis koagulan ditemukan pada pH yang sama yaitu pada pH 6. Hasil yang mirip juga telah dilaporkan Hakim dkk. (2016) yang mendapatkan penyisihan warna pada LCS berlangsung baik pada pH 6,5-7. Demikian pula dengan Irawati dkk. (2015), juga telah melaporkan pH optimum untuk koagulasi LCS menggunakan koagulan FeSO₄ adalah pada pH 8-10. Mahmud dkk. (2008) juga telah melaporkan pengolahan bahan organik alami dalam air gambut dengan koagulasi berlangsung baik pada pH 6,5.

Tabel 4. Karakteristik LCS Hasil Penelitian dan dari Sumber Lain

No	Parameter	Satuan	Hasil Penelitian	Arifin dkk. (2017)	Utami dan Nurmasari (2007)	Hakim dkk. (2016)	Santoso dkk. (2014)	Irawati dkk. (2011)	Baku Mutu
1	pH	-	8,53	8,0	10,2	-	-	10,34	6-9
2	Warna	PtCo	392,4	340,8	-	2712	-	-	200
3	TSS	mg/L	77,5	-	23,5	-	232	862	50
4	COD	mg/L	641	-	456,96	-	5329	554	150
5	UV ₂₅₄	1/cm	0,809	-	-	-	-	-	-
6	E ₄ /E ₆	-	2,51	-	-	-	-	-	-



Gambar 1. Pengaruh pH LCS Terhadap Penyisihan Warna, UV₂₅₄ dan Nilai E₄/E₆ Akhir dengan Konsentrasi Awal Warna 392,4 PtCo dan UV₂₅₄ 0,809 cm⁻¹: (a) Koagulan TLG 20g/L dan (b) Koagulan Alum 0,5g/L

Penyisihan UV₂₅₄ yang merepresentasikan bahan organik pada LCS, menunjukkan hasil yang hampir sama atau tetap pada rentang pH 5 sampai 10, untuk kedua jenis koagulan (**Gambar 1a** dan **Gambar 1b**). Penyisihan UV₂₅₄ untuk koagulan alum sedikit lebih besar daripada koagulan TLG untuk semua variasi pH. Penyisihan UV₂₅₄ untuk koagulan TLG dan alum pada variasi pH 5-10 masing-masing berkisar 26,3%-27,2% dan 27,3%-28,9%. Nilai E₄/E₆ setelah koagulasi, untuk kedua jenis koagulan menunjukkan nilai yang lebih besar daripada nilai E₄/E₆ awal. Peningkatan nilai E₄/E₆ setelah koagulasi dengan koagulan alum lebih besar dibandingkan dengan koagulan TLG. Hasil ini menunjukkan bahwa, koagulan alum lebih baik dalam menyisihkan bahan organik dengan karakter hidrofobik dan berat molekul relatif lebih besar. Gao dan Yue (2005) dan Vilge-Ritter dkk. (1999) juga telah menyatakan bahwa koagulasi bagus dalam menyisihkan bahan organik dengan berat molekul lebih besar.

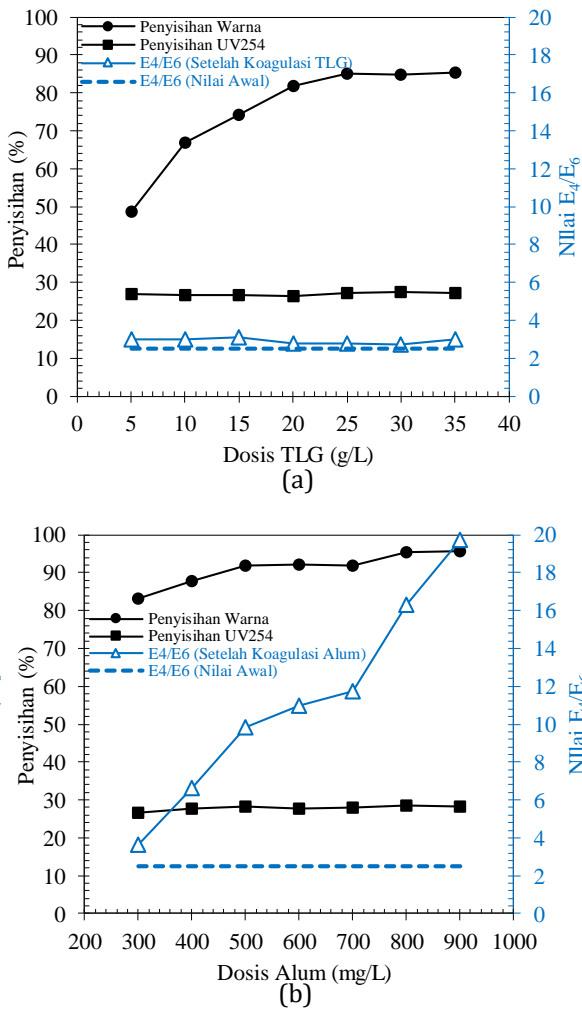
Berdasarkan pertimbangan nilai ekonomis dan kinerja koagulan TLG dan alum hampir sama pada kisaran pH 5-9, maka untuk proses percobaan penentuan dosis koagulan TLG dan alum yang terbaik digunakan pH LCS awal yaitu 8,53. Kondisi pH 6 tidak dipilih walaupun penyisihan warna sedikit lebih besar dibanding pH awal 8,53 (**Gambar 1a**). Hal ini karena energi yang digunakan untuk menurunkan pH LCS awal 8,53 menjadi pH 6 cukup besar, tidak sebanding dengan peningkatan penyisihan yang diperoleh.

3.3. Pengaruh Dosis pada Koagulasi LCS dengan Koagulan TLG dan Alum

Pengaruh dosis koagulan TLG dan alum terhadap penyisihan warna dan UV₂₅₄ pada kondisi pH 8,53 ditunjukkan pada **Gambar 2**. Penyisihan UV₂₅₄ untuk koagulan TLG pada variasi dosis 5g/L-35g/L menunjukkan nilai relatif tetap yaitu berkisar 26,5-27,4%. Demikian juga dengan koagulan alum, untuk variasi dosis 0,3g/L-0,9g/L penyisihan UV₂₅₄ relatif tetap yaitu berkisar 26,6%-28,3%. Penyisihan UV₂₅₄ untuk koagulan alum sedikit lebih baik daripada koagulan TLG.

Penyisihan warna pada variasi dosis TLG dari 5-20g/L masih menunjukkan kenaikan relatif tajam yaitu dari 48,6% menjadi 82%, namun pada dosis TLG 20-35g/L, peningkatan penyisihan warna sangat kecil yaitu dari 82% menjadi 85,3% (**Gambar 2a**). Oleh karena itu, dosis 20g/L ditetapkan sebagai dosis terbaik untuk koagulan TLG. Sedangkan untuk koagulan alum, dari dosis 0,3g/L sampai 0,5g/L peningkatan penyisihan warna relatif sedikit lebih besar daripada peningkatan dari dosis 0,5g/L sampai 0,9g/L (**Gambar 2b**). Berdasarkan hasil ini, untuk koagulan alum dapat ditetapkan dosis terbaik adalah 0,5g/L. Penyisihan warna LCS yang telah dilaporkan Hakim dkk. (2016) menunjukkan nilai yang tidak berbeda dengan hasil penelitian ini yaitu mencapai 87,1% dengan dosis koagulan *polyaluminium chloride* (PACI) 1g/L ditambah dengan abu sekam padi 58g/L.

Nilai E₄/E₆ setelah koagulasi TLG maupun alum menunjukkan nilai yang lebih besar dari nilai E₄/E₆ awal yaitu 2,51 (**Gambar 2a** dan **Gambar 2b**). Hasil ini menunjukkan bahwa bahan organik yang telah disisihkan pada proses koagulasi merupakan bahan organik yang memiliki karakter berat molekul relatif lebih besar. Namun demikian, pengaruh dosis koagulan memberikan nilai E₄/E₆ yang berbeda setelah koagulasi untuk kedua jenis koagulan. Pada rentang dosis 5g/L-35g/L, nilai E₄/E₆ setelah koagulasi TLG relatif konstan, sedangkan koagulan alum jika dosis alum dinaikkan dari 0,3g/L-0,9g/L terjadi peningkatan nilai E₄/E₆ yang cukup besar (**Gambar 2b**). Hasil ini menunjukkan bahwa, kisaran berat molekul relatif besar yang dapat disisihkan oleh koagulan alum lebih beragam daripada koagulan TLG. Perbedaan penyisihan warna dan UV₂₅₄ pada LCS, ketika dosis koagulan dinaikkan menunjukkan bahwa, bahan organik yang terdapat dalam LCS bukan merupakan kontributor utama warna LCS.



Gambar 2. Pengaruh Dosis Koagulan Terhadap Penyisihan Warna, UV₂₅₄ dan Nilai E₄/E₆ Akhir dengan Konsentrasi Awal Warna 392,4 PtCo, UV₂₅₄ 0,809 cm⁻¹ dan pH 8,5: (a) Koagulan TLG dan (b) Koagulan Alum

3.4. Proses Gabungan Koagulasi dan Adsorpsi

Pada proses gabungan koagulasi-adsorpsi digunakan adsorben gambut, dan sebagai pembanding digunakan PAC (*powdered activated carbon*). Air yang diolah pada proses adsorpsi adalah LCS yang telah dilakukan proses koagulasi dengan TLG dan alum pada kondisi terbaik yaitu pH 8,53; dosis TLG 20g/L dan alum 0,5g/L. Pada proses lanjutan yaitu adsorpsi tidak dilakukan pengaturan pH, nilai pH LCS yang dilakukan proses adsorpsi adalah nilai pH setelah koagulasi, hanya dilakukan variasi dosis adsorben saja. Hasil penyisihan warna, UV₂₅₄ dan E₄/E₆ untuk proses gabungan masing-masing koagulasi TLG 20g/L+gambut dan TLG 20g/L+PAC ditunjukkan pada **Gambar 3**.

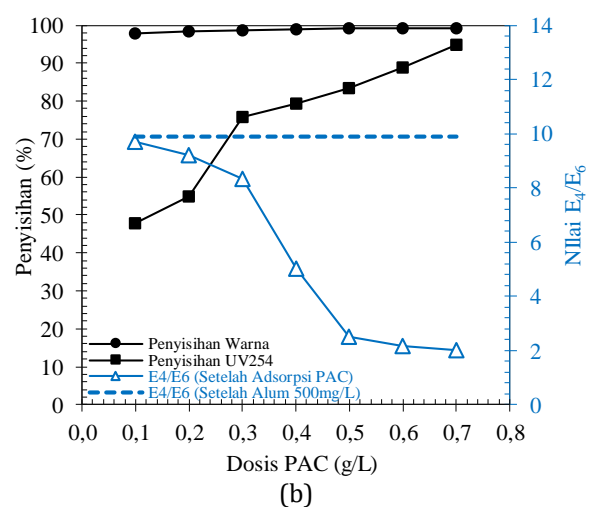
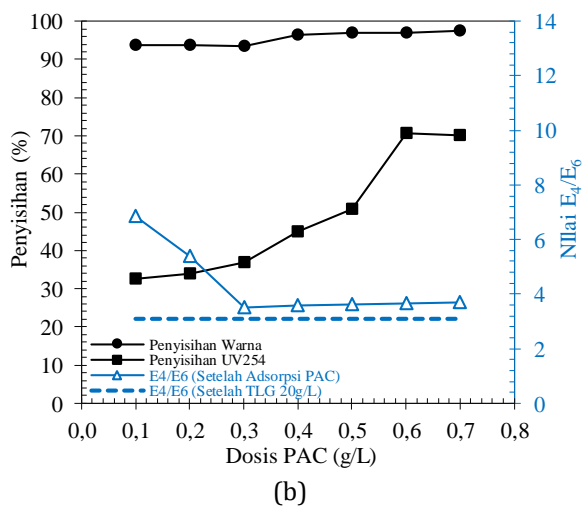
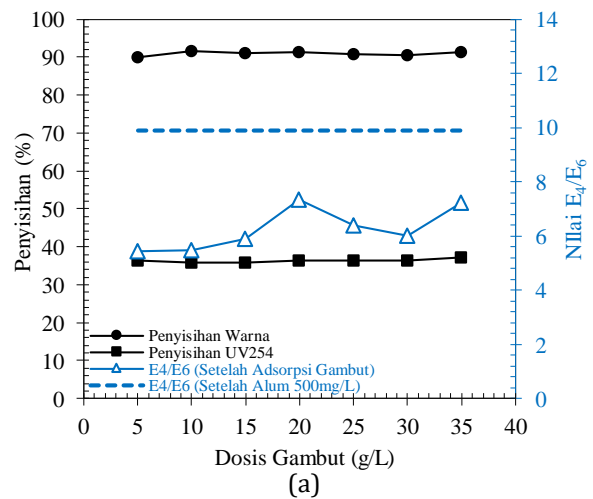
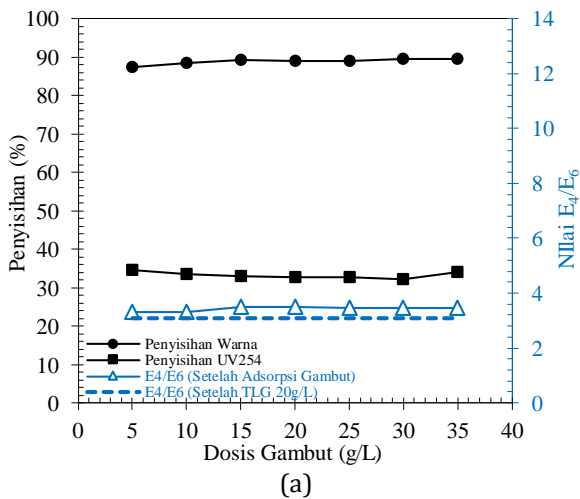
Berdasarkan **Gambar 3a**, untuk proses gabungan koagulasi-adsorpsi, penggunaan koagulan

TLG20g/L+gambut, diperoleh penyisihan warna hampir konstan pada rentang variasi dosis gambut 5g/L-35g/L yaitu berkisar 87,5%-89,6%. Hasil yang mirip ditunjukkan juga untuk proses gabungan koagulan TLG 20g/L+PAC, penyisihan warna hampir konstan pada rentang dosis PAC 0,1g/L-0,7g/L, yaitu berkisar 93,4%-97,5% (**Gambar 3b**). Namun demikian, dosis PAC yang digunakan sangat kecil dibandingkan dengan dosis gambut untuk mencapai tingkat penyisihan yang sama. Walaupun demikian, hasil ini menunjukkan juga bahwa koagulan TLG dan adsorben gambut dapat digunakan sebagai alternatif pengolahan LCS terutama dalam menyisihkan parameter warna.

Penyisihan UV₂₅₄ (organik) untuk proses gabungan TLG20g/L+gambut dan TLG20g/L+PAC menunjukkan kecenderungan yang berbeda (**Gambar 3a** dan **Gambar 3b**). Hasil penyisihan UV₂₅₄ untuk TLG20g/L+gambut, hampir konstan pada rentang dosis gambut 5g/L-35g/L yaitu berkisar 32,1%-34,7%. Sedangkan untuk TLG20g/L+PAC, penyisihan UV₂₅₄ mengalami peningkatan apabila dosis PAC dinaikkan dari 0,1g/L-0,7g/L, yaitu dari 32,6%-70,7%. Hasil ini menunjukkan bahwa adsorben PAC lebih baik menyisihkan sisa bahan organik dari hasil proses koagulasi daripada adsorben gambut.

Penyisihan UV₂₅₄ (organik) untuk proses gabungan TLG20g/L+gambut dan TLG20g/L+PAC menunjukkan kecenderungan yang berbeda (**Gambar 3a** dan **Gambar 3b**). Hasil penyisihan UV₂₅₄ untuk TLG20g/L+gambut, hampir konstan pada rentang dosis gambut 5g/L-35g/L yaitu berkisar 32,1%-34,7%. Sedangkan untuk TLG20g/L+PAC, penyisihan UV₂₅₄ mengalami peningkatan apabila dosis PAC dinaikkan dari 0,1g/L-0,7g/L, yaitu dari 32,6%-70,7%. Hasil ini menunjukkan bahwa adsorben PAC lebih baik menyisihkan sisa bahan organik dari hasil proses koagulasi daripada adsorben gambut.

Nilai rasio E₄/E₆ pada variasi dosis adsorben untuk kedua jenis proses gabungan TLG20g/L+gambut dan TLG20g/L+PAC menunjukkan nilai yang lebih besar daripada nilai E₄/E₆ awal untuk semua rentang dosis adsorben yang dipelajari (**Gambar 3a** dan **Gambar 3b**). Nilai E₄/E₆ cenderung meningkat apabila dosis adsorben gambut dan PAC dinaikkan, menunjukkan bahwa bahan organik yang tersisa di dalam air setelah adsorpsi didominasi oleh bahan organik dengan berat molekul relatif lebih kecil. Hasil ini juga menunjukkan bahwa, bahan organik dengan berat molekul yang relatif lebih besar lebih mudah disisihkan adsorben gambut dan PAC. Hasil ini juga sesuai dengan yang telah dilaporkan oleh Mahmud dkk. (2012) dan Gu dkk. (1995) bahwa proses adsorpsi lebih baik dalam menyisihkan bahan organik dengan berat molekul yang lebih besar.

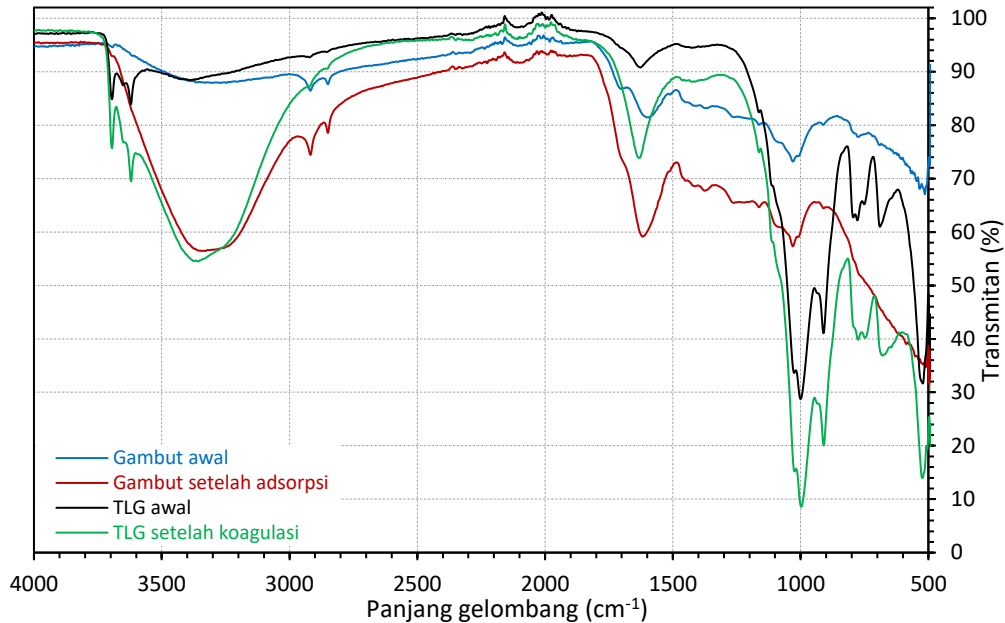


Gambar 3. Pengaruh Dosis Adsorben Terhadap Penyisihan Warna, UV₂₅₄ dan Nilai E₄/E₆ Akhir untuk Mengolah LCS dari Air Hasil Koagulasi TLG 20g/L: (a) Adsorben Gambut dan (b) Adsorben PAC

Gambar 4. Pengaruh Dosis Adsorben Terhadap Penyisihan Warna, UV₂₅₄ dan Nilai E₄/E₆ Akhir untuk Mengolah LCS dari Air Hasil Koagulasi Alum 0,5g/L: (a) Adsorben Gambut dan (b) Adsorben PAC

Hasil penyisihan warna, UV₂₅₄ dan nilai akhir E₄/E₆ untuk proses gabungan alum 0,5g/L+gambut dan alum 0,5g/L+PAC dengan variasi dosis adsorben ditunjukkan pada **Gambar 4a** dan **Gambar 4b**. Penyisihan warna dengan variasi dosis masing-masing adsorben, cenderung konstan untuk kedua proses gabungan. Tingkat penyisihan warna untuk gabungan alum 0,5g/L+PAC berkisar 97,8%-99,2%, lebih besar dibandingkan dengan alum 0,5g/L+gambut yang berkisar 90,0%-91,6%. Hasil ini menunjukkan bahwa untuk penyisihan warna LCS, proses gabungan alum 0,5g/L+PAC merupakan proses paling besar dalam menyisihkan warna dibandingkan dengan ketiga proses gabungan lainnya. Disamping itu, hasil ini juga menunjukkan bahwa, penggunaan koagulan TLG dan adsorben gambut dapat memberikan tingkat penyisihan warna yang tidak jauh berbeda dengan penggunaan koagulan anorganik alum dan adsorben PAC.

Penyisihan UV₂₅₄ (organik) untuk variasi dosis adsorben, pada proses gabungan alum 0,5g/L+gambut menunjukkan hasil yang berbeda dengan alum 0,5g/L+PAC (**Gambar 4a** dan **Gambar 4b**). Penyisihan UV₂₅₄ untuk gabungan alum 0,5g/L+gambut hampir konstan untuk variasi dosis gambut 5g/L-35g/L yaitu berkisar 36,4%-37,3%. Sedangkan untuk proses gabungan alum 0,5g/L+PAC dari dosis PAC 0,1g/L-0,7g/L, mengalami peningkatan penyisihan UV₂₅₄ dari 47,7%-94,9%. Pada kondisi terbaik, hasil pengujian parameter COD untuk proses gabungan TLG+gambut dan alum+gambut belum memenuhi baku mutu yaitu 196mg/L dan 154mg/L, sedangkan gabungan TLG+PAC dan alum+PAC sudah memenuhi, yaitu 135mg/L dan 5mg/L. Oleh karena itu, adsorben gambut perlu diaktivasi agar kapasitas adsorpsi menjadi lebih besar, sehingga proses gabungan yang menggunakan adsorben gambut dapat memenuhi baku mutu untuk parameter COD.



Gambar 5. FTIR TLG Sebelum dan Setelah Koagulasi dan Gambut Sebelum dan Setelah Adsorpsi pada Kondisi Operasi Optimal

3.5. Hasil Pengujian FTIR untuk TLG dan Gambut

Hasil pengujian FTIR untuk koagulan TLG sebelum dan setelah koagulasi dan adsorben gambut sebelum dan setelah adsorpsi pada kondisi operasi terbaik ditunjukkan pada **Gambar 5**. Hasil analisis untuk TLG awal, ditemukan puncak pada panjang gelombang $685-758\text{cm}^{-1}$ menunjukkan gugus tiol ($\text{CH}_2\text{-S}$); puncak pada $1020-1220\text{cm}^{-1}$ menunjukkan alkil amina dan ikatan C-O, puncak pada $1630-1850\text{cm}^{-1}$ menunjukkan gugus karboksil ($-\text{COOH}$) yang terdiri dari gugus karbonil ($\text{C}=\text{O}$) dan hidroksil ($-\text{OH}$), puncak $2800-2900\text{cm}^{-1}$ menunjukkan adanya gugus alkana (C-H); puncak $3300-3500\text{cm}^{-1}$ menunjukkan adanya gugus amina (N-H) dan amida ($-\text{NHCOCH}_3$) serta puncak pada $3600-3700\text{cm}^{-1}$ menunjukkan gugus fenol. Hasil FTIR untuk TLG setelah koagulasi tidak menunjukkan adanya muncul puncak baru. Hasil ini menunjukkan bahwa mekanisme proses koagulasi yang terjadi tidak didominasi oleh netralisasi muatan, tapi didominasi oleh *double layer compression* (kompresi lapisan-ganda) yang dapat disebabkan karena TLG memiliki sifat polielektrolit.

Pada hasil FTIR untuk gambut ditemukan puncak pada $1020-1220\text{cm}^{-1}$ menunjukkan alkil amina, ikatan C-O, puncak pada $1630-1850\text{cm}^{-1}$ menunjukkan gugus karboksil ($-\text{COOH}$) yang terdiri dari gugus karbonil ($\text{C}=\text{O}$) dan hidroksil ($-\text{OH}$), puncak $2800-2900\text{cm}^{-1}$ menunjukkan adanya gugus alkana (C-H); puncak $3300-3500\text{cm}^{-1}$ menunjukkan adanya gugus amina (N-H) dan amida ($-\text{NHCOCH}_3$). Hasil FTIR untuk adsorben gambut setelah adsorpsi, menunjukkan hal yang sama dengan koagulan TLG yaitu tidak ditemukan puncak baru setelah adsorpsi. Hasil ini menunjukkan bahwa mekanisme proses adsorpsi LCS

menggunakan adsorben gambut didominasi mekanisme secara fisika. Disamping itu, ditemukan juga intensitas yang tinggi untuk koagulan TLG dan adsorben gambut pada beberapa panjang gelombang setelah digunakan pada proses koagulasi dan adsorpsi. Hasil ini mengindikasikan terdapatnya peningkatan kandungan organik pada TLG setelah koagulasi dan gambut setelah adsorpsi.

4. Kesimpulan

Hasil penelitian menunjukkan LCS bersifat basa dengan pH 8,53; memiliki kandungan warna dan bahan organik yang tinggi. Bahan organik dalam LCS didominasi fraksi hidrofobik dan berat molekul relatif besar. Pada kondisi terbaik parameter pH, warna dan TSS telah memenuhi baku mutu menurut Permen LHK No:P.16/2019. Parameter COD masih belum memenuhi untuk proses gabungan TLG+gambut dan alum+gambut, sedangkan gabungan TLG+PAC dan alum+PAC sudah memenuhi. Pada proses gabungan TLG+Gambut, penyisihan warna dan organik pada kondisi optimum sedikit lebih rendah daripada 3 (tiga) proses gabungan lainnya TLG+PAC; Alum+Gambut dan Alum+PAC. Berdasarkan hasil FTIR, proses adsorpsi menggunakan adsorben gambut dan PAC pada pengolahan LCS didominasi oleh mekanisme secara fisika. Koagulan organik TLG dan adsorben gambut dapat digunakan sebagai salah satu alternatif untuk mengolah LCS. Adsorben gambut perlu dilakukan aktivasi agar kapasitas adsorpsi terhadap COD lebih besar. Pengujian lebih mendalam terkait karakter bahan organik dalam LCS yang lebih spesifik menggunakan metode resin perlu dilakukan, sehingga dapat diketahui persentase fraksi hidrofobik kuat dan lemah serta fraksi hidrofilik bermuatan dan

Mahmud, M., Mahmud, N.U.H., Abdi, C., Luthfina, N., dan Fatimah, A. (2023). Proses Gabungan Koagulasi-Adsorpsi Menggunakan Material Lokal Tanah Lempung Gambut dan Adsorben Gambut untuk Menyisihkan Warna dan Organik pada Limbah Cair Sasirangan. *Jurnal Ilmu Lingkungan*, 21(4), 839-848, doi:10.14710/jil.21.4.839-848

netral. Dengan diketahui karakter bahan organik yang lebih spesifik, maka mekanisme proses koagulasi dan adsorpsi dapat dipelajari lebih tepat.

DAFTAR PUSTAKA

- Akhyar, O., Pardede, A., & Wardani, R. R. A. A. K. (2016). Penurunan BOD dan COD pada Limbah Cair Sasirangan Menggunakan Metode Multi Soil Layering (MSL). *Media Sains*, 9(2), 162-166.
- Aleem, M., Cao, J., Li, C., Rashid, H., Wu, Y., Nawaz, M. I., Abbas, M., & Akram, M. W. (2020). Coagulation and Adsorption Based Environmental Impact Assessment and Textile Effluent Treatment. *Water, Air, & Soil Pollution*, 231(45), 1-8. <https://doi.org/10.1007/s11270-020-4400-x>
- Allen, S. J., McKay, G., & Porter, J. F. (2004). Adsorption Isotherm Models for Basic Dye Adsorption by Peat in Single and Binary Component Systems. *Journal of Colloid and Interface Science*, 280(2), 322-333. <https://doi.org/10.1016/j.jcis.2004.08.078>
- Amalia, D. (2018). Penyisihan Bahan Organik dalam Efluen IPAL Domestik dengan Proses Koagulasi Menggunakan Koagulan Tanah Lempung Gambut. *Skripsi*. Fakultas Teknik Universitas Lambung Mangkurat, Banjarbaru.
- Arifin, Karlina, A., & Khair, A. (2017). Pengaruh Dosis Kitosan Terhadap Kadar Warna Limbah Cair Industry Home Sasirangan Oriens Handicraft Landasan Ulin. *Journal of Health Science & Prevention*, 1(2), 58-67. <https://doi.org/10.29080/jhsp.v1i2.91>
- Bartczak, P., Norman, M., Klapiszewski, Ł., Karwańska, N., Kawalec, M., Baczyńska, M., Wysokowski, M., Zdarta, Ciesielczyk, F., & Jesionowski, T. (2015). Removal of Nickel(II) and Lead(II) Ions from Aqueous Solution Using Peat as a Low-Cost Adsorbent: A Kinetic and Equilibrium Study. *Arabian Journal of Chemistry*, 11(8), 1209-1222. <https://doi.org/10.1016/j.arabjc.2015.07.018>
- Carvallho, M. N., da Silva, K. S., Sales, D. C. S., Freire, E. M. P. L., Sobrinho, M. A. M., & Ghislandi, M. G. (2016). Dye Removal from Textile Industrial Effluents by Adsorption on Exfoliated Graphite Nanoplatelets: Kinetic and Equilibrium Studies. *Water Science and Technology*, 73(9), 2189-2198. <https://doi.org/10.2166/wst.2016.073>
- Dwipayandan, A. R., & Notodarmojo S. (2013). Penggunaan Lempung Sebagai Adsorben dan Coagulant Aid dalam Penyisihan COD Limbah Cair Tekstil. *Jurnal Teknik Lingkungan*, 19(2), 130-139. <https://doi.org/10.5614/jtl.2013.19.2.3>
- Fernandes, A. N., Almeida, C. A. P., Debacher, N. A., & Sierra, M. M. D. S. (2010). Isotherm and Thermodynamic Data of Adsorption of Methylene Blue From Aqueous Solution Onto Peat. *Journal of Molecular Structure*, 982(1), 62-65. <https://doi.org/10.1016/j.molstruc.2010.08.006>
- Furlan, F. R., Silva, L. G. D. M. D., Morgado, A. F., Souza, A. A. U. D., & Souza, S. M. A. G. U. D. (2010). Removal of Reactive Dyes from Aqueous Solutions Using Combined Coagulation/Flocculation and Adsorption on Activated Carbon. *Resources, Conservation & Recycling*, 54(5), 283-290. <https://doi.org/10.1016/j.resconrec.2009.09.001>
- Gu, B. J. S., Chen, Z., Liang, L., & McCarthy, J. F. 1995. Adsorption and Desorption of Different Organic Matter Fractions on Iron Oxide. *Geochimica Cosmochimica Acta*, 59(2), 219-229.
- Hakim, L. N., Syarifudin, A., & Hamzani, S. (2016). Efektivitas Abu Sekam Padi dan Poly Aluminium Chloride dalam Menurunkan Zat Warna Limbah Cair Industri Sasirangan. *Jurnal Kesehatan Lingkungan*, 13(2), 346-354.
- Harrelkas, F., Azizi, A., Yaacoubi, A., Benhammou, A., & Pons, M. N. (2009). Treatment of Textile Dye Effluents Using Coagulation-Flocculation Coupled with Membrane Processes or Adsorption on Powdered Activated Carbon. *Desalination*, 235(1-3), 330-339. <https://doi.org/10.1016/j.desal.2008.02.012>
- Herawati, D., Santoso, S. D., & Amalina, I. (2018). Kondisi Optimum Adsorpsi-Fluidisasi Zat Warna Limbah Tekstil Menggunakan Adsorben Jantung Pisang. *Jurnal Sains Health*, 2(1), 1-7.
- Irawati, U., Utami, U. B. L., & Muslima, H. (2011). Pengolahan Limbah Cair Sasirangan dengan Filter Arang Aktif Cangkang Kelapa Sawit Berlapis Kitosan Setelah Koagulasi FeSO₄. *Sains dan Terapan Kimia*, 5(1), 34-44
- Khair, R. M., Prihatini, N. S., Apriani, dan Pramaningsih, V. 2021. Efektivitas Abu Sekam Padi dan Poly Aluminium Chloride dalam Menurunkan Zat Warna Limbah Cair Industri Sasirangan. *Jurnal Kesehatan Lingkungan*. 13 (2): 346-354. DOI: <https://doi.org/10.31964/jkl.v13i2.32>
- Kim, T., Park, C., Shin, E., & Kim, S. (2004). Decolorization of Disperse and Reactive Dye Solutions Using Ferric Chloride. *Desalination*, 161(1), 49-58. [https://doi.org/10.1016/S0011-9164\(04\)90039-2](https://doi.org/10.1016/S0011-9164(04)90039-2)
- Kumar, P., Prasad, B., Mishra, I. M., & Chand, S. (2008). Decolorization and COD Reduction of Dyeing Wastewater from a Cotton Textile Mill Using Thermolysis and Coagulation. *Journal of Hazardous Materials*, 153(1-2), 635-645. <https://doi.org/10.1016/j.jhazmat.2007.09.007>
- Kusuma, A. Y., Rahmawati, & Hardiono. (2019). Uji Toksisitas Akut Air Limbah Industri Sasirangan terhadap Ikan Nila. *Jurnal Kesehatan Lingkungan*, 16(1), 733-742. <https://doi.org/10.31964/jkl.v16i1.131>
- Lee, J. W., Choi, S. P., Thiruvenkatachari, R., Shim, W. G., & Moon, H. (2006). Evaluation of The Performance of Adsorption and Coagulation Processes for The Maximum Removal of Reactive Dyes. *Dyes and Pigments*, 69(3), 196-203. <https://doi.org/10.1016/j.dyepig.2005.03.008>
- Mahmud, M., Abdi, C., & Mu'min, B. (2013). Removal natural organic matter (NOM) in peat water from wetland area by coagulation-ultrafiltration hybrid process with pretreatment two-stage coagulation. *Journal of Wetlands Environmental Management*, 1(1), 34-42.
- Mahmud, M., Mu'min, B., & Notodarmojo, S. (2008). Pengolahan air gambut menggunakan proses hibrid adsorpsi-crossflow ultrafiltrasi dengan tanah lempung gambut sebagai adsorben. *Jurnal Teknik Lingkungan*, FTSL-ITB, 14(1), 11-21.
- Mahmud, M., Notodarmojo, S., Padmi, T., & Soewondo, P. (2012). Adsorpsi Bahan Organik Alami (BOA) Air Gambut pada Tanah Lempung Gambut Alami dan Teraktivasi: Studi Kesetimbangan Isoterm dan Kinetika Adsorpsi. *Infoteknik*, 13(1), 28-38.
- Manholer, D. D., Souza, M. T. F. D., Ambrosio, E., Freitas, T. K. F. D. S., Geraldino, H. C. L., & Garcia, J. C. (2019). Coagulation/Flocculation of Textile Effluent Using

- Natural Coagulants Extracted from *Dillenia Indica*. *Water Science and Technology*, 80(5), 1-10. <https://doi.org/10.2166/wst.2019.342>
- Muis, A., & Wilopo, W. (2011). Pengolahan Limbah Cair Kain Sasirangan dengan Proses Koagulasi, Filtrasi dan Adsorpsi. *Tesis*. Fakultas Teknik Universitas Gajah Mada, Yogyakarta.
- Mulida, W. (2016). Studi Isoterm dan Kinetika Adsorpsi Krom Heksavalen (Cr^{6+}) Terhadap Adsorben Gambut dengan Sistem Batch. *Skripsi*. Fakultas Teknik Universitas Lambung Mangkurat, Banjarbaru.
- Notodarmojo, S., Mahmud, M., & Larasati, A. (2017). Adsorption of Natural Organic Matter (NOM) in Peat Water by Local Indonesia Tropical Clays Soils. *International Journal of GEOMATE*, 13 (38), 111-119. <http://dx.doi.org/10.21660/2017.38.30379>
- Papic, S. (2004). Removal of Some Reactive Dyes from Synthetic Wastewater by Combined Al (III) Coagulation/Carbon Adsorption Process. *Dyes and Pigments*, 62(3), 291-298. [https://doi.org/10.1016/S0143-7208\(03\)00148-7](https://doi.org/10.1016/S0143-7208(03)00148-7)
- Peraturan Menteri Lingkungan Hidup dan Kehutanan Republik Indonesia Nomor P.16/MENLHK/SETJEN/KUM.1/4/2019 Tentang Baku Mutu Air Limbah.
- Santoso, U., Mahreda, E. S., Shadiq, F., & Danang, B. (2014). Pengolahan Limbah Cair Sasirangan Melalui Kombinasi Metode Filtrasi dan Fitoremediasi Lahan Basah Buatan Menggunakan Tumbuhan Air yang Berbeda. *EnviroScienteeae*, 10(3), 157-170. <http://dx.doi.org/10.20527/es.v10i3.1978>
- Sudrajat, A. S., & Subekti, S. (2019). Pengelolaan Ekosistem Gambut Sebagai Upaya Mitigasi Perubahan Iklim di Provinsi Kalimantan Selatan. *Jurnal Palnologi*, 16(2), 219-237.
- Turp, S. M., Turp, G. A., Ekinci, N., & Özdemir, S. (2020). Enhanced Adsorption of Methylene Blue from Textile Wastewater by Using Natural and Artificial Zeolite. *Water Science and Technology*, 82(3), 513-523. <https://doi.org/10.2166/wst.2020.358>
- Utami, U. B. L., & Nurmasari, R. (2007). Pengolahan Limbah Cair Sasirangan Secara Filtrasi Melalui Pemanfaatan Arang Kayu Ulin Sebagai Adsorben. *Jurnal Sains MIPA*, 13(3), 190-196.
- Vilge-Ritter, A., Masion, A., Boulange, T., Rybacki, D., & Bottero, J. (1999). Removal of Organic Matter by Coagulation-Flocculation: A Pyrolysis-GC-MS Study. *Environmental Science and Technology*, 33, 3027-3032. <https://doi.org/10.2166/aqua.2005.0015>
- You, S. J., Yin, Y. J., & Allen, H. E. (1999). Partitioning of Organic Matter in Soils: Effects of pH and Water/Soil Ratio. *Science of the Total Environment*, 227, 155-160. [https://doi.org/10.1016/S0048-9697\(99\)00024-8](https://doi.org/10.1016/S0048-9697(99)00024-8)