

**PENGGUNAAN LEMPUNG SEBAGAI ADSORBEN DAN COAGULANT AID DALAM PENYISIHAN COD LIMBAH CAIR TEKSTIL****THE USE OF CLAY AS ADSORBENT AND COAGULANT AID IN COD REMOVAL FROM TEXTILE WASTEWATER****\*<sup>1</sup>Andita Rachmania Dwipayandian <sup>2</sup>Suprihanto Notodarmodjo**

Program Studi Magister Teknik Lingkungan

Fakultas Teknik Sipil dan Lingkungan, Institut Teknologi Bandung

Jl. Ganesha No. 10, Bandung 40132

e-mail: <sup>1</sup>andita.rachmania@gmail.com, <sup>2</sup>suprihanto@ftsl.itb.ac.id

**Abstrak:** Terdapat dua sub penelitian yang dilakukan dalam penelitian ini, yang keduanya dilakukan secara batch pada temperatur kamar. Sub penelitian pertama adalah uji adsorpsi terhadap kemampuan masing-masing lempung dalam menyisihkan parameter COD air limbah. Dalam penelitian ini, variabel yang diteliti antara lain pH air limbah, dosis lempung, dan waktu kontak. Air limbah yang digunakan berasal dari efluen unit produksi tekstil dengan konsentrasi COD pada rentang 230-285 mg/L. Tujuan penelitian adalah memperoleh kondisi optimum penelitian pada kemampuan kedua jenis lempung untuk menyisihkan parameter COD air limbah. Setelah didapat kondisi optimum, dilakukan analisis terhadap kinetika penyisihan COD menggunakan model isotherm Langmuir dan Freundlich. Kondisi optimum pada penggunaan lempung sawah dan coklat antara lain pada pH 7, dosis lempung sebesar 15 gr/L dan 30 mg/L. Penyisihan COD mencapai stagnan ketika waktu kontak mencapai 120 menit. Pada kondisi ini, penyisihan COD yang terjadi pada lempung sawah dan coklat mencapai 48,5% dan 26,65%. Faktor yang mempengaruhi kemampuan adsorben lempung terkait dengan sifat morfologi lempung yang digunakan. Sub penelitian yang kedua adalah studi mengenai potensi lempung sebagai coagulant aid. Variabel penelitian yang dilakukan yaitu variasi dosis lempung dan pH air limbah. Pada penggunaan koagulan alum sebesar 30 mg/L, penambahan dosis lempung sawah sebanyak 30 mg/L mampu meningkatkan efisiensi penyisihan COD dari 12,07% menjadi 13,2%. Namun efisiensi ini belum bisa mengimbangi efisiensi penyisihan COD dengan penggunaan alum sebesar 40 mg/L, yaitu 17,24%.

**Kata kunci:** adsorpsi, coagulant aid, lempung, COD, limbah cair tekstil.

**Abstract:** There are two sub researches that are conducted in this research, both researches were done batch at the room temperature. The first sub research is analysis of adsorption capability of clays for organic compounds removal (COD) from textile wastewater. In this research, the variables that examined were wastewater pH level, dosages of clays, and contact time on adsorption process. The wastewater that used were originated from effluents of textile production units with concentration of COD approximately 230-285 mg/L. The purpose of this research was to obtain the optimum conditions for the ability of both kinds of clays to remove COD parameter of waste water. After the optimum condition was obtained, analysis then carried out to the determination of adsorption kinetics for COD removal, using Langmuir and Freundlich isotherm models. Optimum conditions on the use of field and brown clays were at pH 7 and the dose of clays of 15 gr/L and 30 mg/L. COD removal reaches its stagnant level at the contact time of 120 minutes. At this condition, COD removal for field and brown clay reach 48.5% and 26.65%. Factors that affect the clay's capability as adsorbent are associated by the morphological properties of clay. The second sub research is clay's potential as coagulant aid for COD removal. The research variables that were conducted were variation of dosages of clay and wastewater pH level. For the use of 30 mg/L of alum coagulant, the addition of 30 mg/L of field clay was able to improve the COD removal efficiency from 12.07% to 13.2%, while the use of brown clays generate the COD removal to 16,98%. But this COD removal efficiency level was still lower than one with the use of 40 mg/L of alum, that is 17.24%.

**Keywords:** adsorption, coagulant aid, clays, COD, textile wastewater.

**PENDAHULUAN**

Industri tekstil merupakan salah satu bidang industri penting dalam perekonomian Indonesia. Proses produksi industri tekstil terdiri dari proses pencucian, pemerasan, pengeringan, dan pewarnaan. Proses pewarnaan kain tekstil menghasilkan limbah yang telah diketahui mengandung senyawa kimia, surfaktan, *dissolved solids*, dan kemungkinan mengandung logam berat seperti Cr, Ni, dan Cu

(Kannan, *et al.*, 2001). Senyawa-senyawa tersebut dapat terkandung pada air limbah dalam bentuk terlarut maupun tersuspensi.

Pada umumnya, pengolahan limbah dapat dilakukan secara fisik, kimia, dan biologi. Pengolahan-pengolahan tersebut umumnya dilakukan untuk menyisahkan senyawa yang terlarut dalam air limbah, karena senyawa tersuspensi dapat dilakukan dengan cara pengendapan maupun sentrifugasi. Namun pengolahan kimia, fisik, maupun biologi yang biasa diterapkan seringkali dirasa menjadi kurang efektif karena semakin kompleksnya limbah yang dihasilkan dan biaya operasional yang tinggi (Sugiarto, 2002 dalam Hadiwidodo, *et al.*, 2009).

Salah satu pengolahan fisik yang umum diaplikasikan adalah proses koagulasi dan flokulasi. Proses koagulasi dan flokulasi mencakup penambahan senyawa kimia dan proses agitasi sehingga terjadi destabilisasi partikel koloid yang pada akhirnya menghasilkan partikel flok yang mampu terendapkan. Senyawa kimia yang ditambahkan disebut koagulan. beberapa contoh senyawa kimia anorganik yang umum digunakan sebagai koagulan antara lain: alum, kalsium hidroksida (*lime*), ferri klorida, dan ferro sulfat (Tchobanoglous, 2004).

Untuk meningkatkan performa proses koagulasi, biasanya dapat dilakukan penambahan senyawa lain, yang disebut *coagulant aid*. *Coagulant aid* kimia yang umum digunakan adalah senyawa jenis polimer. Selain berfungsi meningkatkan performa koagulasi, penambahan *coagulant aid* juga bertujuan mengurangi penggunaan koagulan yang dibutuhkan. Namun, senyawa polimer yang paling banyak digunakan sebagai *coagulant aid* memiliki harga jual yang tinggi di pasaran.

Adsorpsi merupakan proses yang memiliki prospek yang baik dalam mengolah limbah cair tekstil (Robinson, *et al.*, 2001; Kamel, *et al.*, 1991; dalam Mumin, *et al.*, 2007). Adsorpsi adalah proses pemusatan molekul atau ion adsorbat pada lapisan permukaan adsorben, baik secara fisik atau kimia (Muhdarina, *et al.*, 2010). Pada beberapa tahun terakhir, banyak penelitian dilakukan dengan tujuan mencari material dengan harga murah, tersedia secara lokal, dan efektif bekerja sebagai adsorben, seperti biopolymer dan *clay minerals* (Errais, *et al.*, 2012).

Jenis lempung yang paling banyak digunakan sebagai nano-adsorben adalah lempung montmorilonite/smectite dan lempung kaolinit (Liu, *et al.*, 2007). Penelitian terdahulu yang dilakukan Adebowale, *et al.* (2006) mengenai adsorpsi ion logam oleh lempung menunjukkan bahwa tingkat adsorpsi logam meningkat dengan penambahan konsentrasi awal, pH, dan dosis adsorben (Al-Jlil, *et al.*, 2009).

Penelitian ini bertujuan melakukan studi mengenai prospek lempung lokal sebagai *coagulant aid* khususnya dalam penyisihan senyawa organik yang terdapat dalam limbah. Penelitian mengenai kombinasi antara proses koagulasi-adsorpsi telah dilakukan, salah satunya oleh Shen dan Chaung (1998). Dalam penelitian ini, digunakan koagulan *polydiallyl dimethyl ammonium chloride* (PPDAC) dan adsorben dari karbon teraktivasi (*activated carbon*) berukuran 100 mesh.

Kesimpulan penelitian yang dilakukan adalah bahwa penambahan adsorben karbon pada proses koagulasi terbukti efektif dalam penyisihan senyawa organik karbon terlarut karena masing-masing proses mampu melengkapi kekurangan satu sama lain. Senyawa organik yang disisihkan oleh proses koagulasi merupakan senyawa dengan berat molekul yang tinggi dan memiliki muatan negatif. Sementara penggunaan karbon aktif lebih efektif untuk mengadsorpsi senyawa dengan berat molekul yang kecil dan tidak bermuatan.

## **METODOLOGI**

Penelitian ini terdiri dari dua sub penelitian yang dalam pelaksanaannya mencakup beberapa tahapan, yaitu karakterisasi awal limbah tekstil dan analisa morfologi lempung, analisa kemampuan adsorpsi lempung, dan analisa lempung sebagai *coagulant aid*.

### **Karakterisasi awal limbah dan analisa morfologi lempung**

Tahapan ini terdiri dari analisis terhadap kandungan mineral dan morfologi tanah lempung, dan kualitas limbah cair tekstil. Parameter yang diukur untuk kualitas limbah cair terutama parameter-parameter dalam baku mutu SK Gub-Jabar No. 6 Tahun 1999 tentang baku mutu limbah industri tekstil. Parameter-parameter tersebut antara lain: BOD, COD, TSS, Fenol, Kromium Total (Cr), Minyak dan Lemak, dan pH. Sementara analisa kandungan mineral dan morfologi lempung salah satunya adalah analisis XRD.

### Analisis kemampuan adsorpsi lempung

Proses adsorpsi dilakukan secara *batch* terhadap kedua jenis lempung. Uji adsorpsi dilakukan terhadap variasi pH air limbah, dosis lempung, dan waktu kontak yang dilakukan secara bertahap. Lempung yang digunakan ditumbuk dan diayak terlebih dahulu sehingga didapat lempung dengan ukuran yang diinginkan (40-100 mesh). Tujuan analisa ini adalah menentukan kondisi optimum penelitian pada kemampuan kedua jenis lempung untuk menyisihkan parameter COD air limbah.

### Analisis lempung sebagai *coagulant aid*

Penelitian ini bertujuan membandingkan efisiensi penyisihan COD dengan dan tanpa penambahan lempung ke dalam sistem koagulasi. Variabel penelitian yang diambil antara lain: variasi jenis lempung yang digunakan dan variasi dosis lempung. Dari variabel-variabel tersebut, dicari kondisi optimum penggunaan lempung sebagai *coagulant aid* untuk kemudian dibandingkan dengan koagulasi tanpa penambahan lempung.

### Analisis data

Untuk mendeskripsikan mekanisme adsorpsi, dapat digunakan model isoterm Langmuir dan Freundlich (Fair, *et al.*, 1968). Bentuk isoterm Langmuir ditampilkan pada **Persamaan 1**, sedangkan isoterm Freundlich pada **Persamaan 2**.

$$\frac{C_e}{q_e} = \left( \frac{1}{q_m K_L} \right) + \frac{1}{q_m} C_e \quad \text{(Persamaan 1)}$$

$$\log q_e = \log K_f + \left( \frac{1}{n} \right) \log C_e \quad \text{(Persamaan 2)}$$

$q$  adalah massa zat teradsorpsi per satuan berat sorbent (mg/g),  $C_e$  adalah konsentrasi zat pada keadaan setimbang,  $K_L$  adalah konstanta Langmuir,  $K_f$  adalah konstanta Freundlich, dan  $\frac{1}{n}$  adalah faktor heterogenitas. Isoterm Freundlich telah digunakan secara luas oleh peneliti sebagai cara sederhana untuk menganalisis adsorpsi senyawa organik (Joseph, *et al.*, 2012).

## HASIL DAN PEMBAHASAN

### Karakteristik air limbah

Limbah yang digunakan berasal dari efluen unit produksi suatu industri tekstil di Bandung (PT. X). Analisa kualitas limbah awal dilakukan dengan berpedoman pada baku mutu limbah tekstil yang diatur dalam SK Gubernur Jawa Barat No. 6 Tahun 1999. Hasil analisa ditampilkan pada **Tabel 1**.

Tingginya nilai parameter organik, yaitu COD dan BOD mengindikasikan bahwa air limbah memiliki kandungan organik yang tinggi, yang kemungkinan berasal dari zat warna yang digunakan dalam proses produksi. Selain dari proses pewarnaan, tingginya konsentrasi pencemar organik berasal dari proses basah dalam produksi kain, yang mencakup proses penghilangan kanji (*desizing*), pengelantangan (*bleaching*), dan pelepasan wax (*scouring*) (Komarawidjaja, 2007).

**Tabel 1.** Hasil analisa kualitas air limbah tekstil.

| No | Parameter Analisis | Satuan | Metoda                    | Kadar Maksimum* | HasilAnalisa |
|----|--------------------|--------|---------------------------|-----------------|--------------|
| 1  | BOD                | mg/L   | SMEWW 5210-B              | 60              | 125          |
| 2  | COD                | mg/L   | SMEWW 5220-B              | 150             | 281,6        |
| 3  | TSS                | mg/L   | SMEWW 2540-D              | 50              | 102          |
| 4  | Fenol              | mg/L   | SMEWW 5530-C              | 0,5             | 0,214        |
| 5  | Kromium total (Cr) | mg/L   | SMEWW 3500-Cr             | 1,0             | 0,088        |
| 6  | Minyak & Lemak     | mg/L   | SMEWW 5520-D              | 3,0             | 12,4         |
| 7  | pH                 | -      | SMEWW 4500-H <sup>+</sup> | 6,0 – 9,0       | 7,38         |

\*Baku mutu mengacu kepada SK GUB-JABAR No. 6 Tahun 1999.

### Karakteristik adsorben

Analisa karakteristik lempung yang dilakukan mencakup analisa morfologi dan kandungan mineral pada lempung. Komposisi mineral lempung sawah dan lempung coklat hasil analisa XRD ditampilkan pada **Tabel 2** dan **3**.

**Tabel 2.** Jenis mineral pada lempung coklat.

| Jenis mineral | Rumus kimia  |
|---------------|--|
| Quartz        | SiO <sub>2</sub>   |
| Kaolinite     | Al <sub>2</sub> Si <sub>2</sub> O <sub>5</sub> (OH) <sub>4</sub> |
| Muscovite     | (K, Na) Al <sub>2</sub> (Si, Al) <sub>4</sub> O <sub>10</sub>    |

**Tabel 3.** Jenis mineral pada lempung sawah.

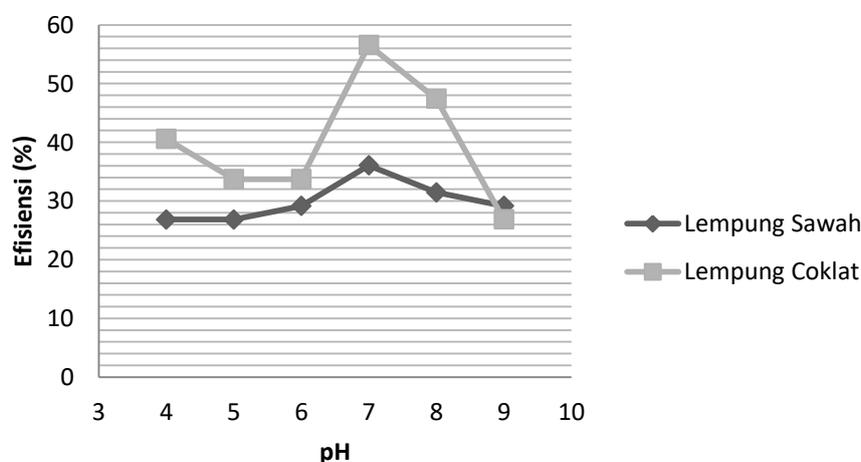
| Jenis mineral           | Rumus kimia   |
|-------------------------|---|
| Kaolinite               | Al <sub>2</sub> Si <sub>2</sub> O <sub>5</sub> (OH) <sub>4</sub>            |
| Albite, calcian, ordere | (Na, Ca) Al (Si, Al) <sub>3</sub> O <sub>8</sub>                            |
| Muscovite               | (K, Na) Al <sub>2</sub> (Si, Al) <sub>4</sub> O <sub>10</sub>               |
| Cristobalite            | SiO <sub>2</sub>  |
| Montmorillonite         | CaO <sub>2</sub> (Al, Mg) <sub>2</sub> Si <sub>4</sub> O <sub>10</sub> (OH) |

Analisa mineral lempung secara umum bersifat monoton: kaolinite, gibbsite, hematite, goethite, maghemite, dan Ti mineral (biasanya ilmenite dan anatase) adalah kelompok mineral yang menonjol yang terdapat pada fraksi lempung (Schaefer, *et al.*, 2008). Terlihat bahwa secara umum kedua jenis lempung yang digunakan memiliki mineral jenis kaolinit. Menurut Kogure, dkk (2010), senyawa kaolinit merupakan senyawa yang mampu membentuk senyawa dispersi yang stabil.

Grup kaolin mempunyai sifat diantaranya: mudah mengembang atau mengerut dan sulit dihancurkan (stabil) (Notodarmojo, 2005). Selain grup kaolin, terdapat pula kandungan montmorillonite yang termasuk ke dalam grup mineral smektite. Mineral smektit mempunyai muatan negatif yang menyebabkan mineral ini sangat reaktif (Nilawati, 2013).

### Pengaruh pH terhadap adsorpsi senyawa organik

Pada tahap percobaan ini dilakukan analisis efisiensi penyisihan parameter zat organik (COD) terhadap variasi pH air limbah, yaitu pada pH 4, 5, 6, 7, 8, dan 9. Adsorben ditambahkan sebanyak 2,5 gr/L untuk kedua jenis lempung. Proses adsorpsi dilakukan secara *batch* selama 120 menit. Hasil penelitian ditampilkan pada **Gambar 1**.



**Gambar 1.** Pengaruh pH terhadap efisiensi penyisihan COD pada air limbah tekstil melalui proses adsorpsi menggunakan lempung sawah dan lempung coklat.

Pada penggunaan lempung sawah, variasi pH air limbah yaitu 4, 5, 6, 7, 8, dan 9 menghasilkan efisiensi penyisihan COD sebesar 26,84%; 26,84%; 29,14%; 36,06%; 31,45% dan 29,14%. Sementara untuk penggunaan lempung coklat, efisiensi penyisihan COD terhadap variasi pH berturut-turut sebesar 40,57%, 33,71%; 33,71%; 56,57%; 47,72%; dan 26,85%.

Bentuk kurva penentuan pH optimum yang ditampilkan pada **Gambar 1** adalah *bell-shaped*. Hal ini menunjukkan bahwa terdapat suatu nilai optimum dari keseluruhan variasi yang dilakukan. Untuk penggunaan lempung sawah dan lempung coklat, pH yang menghasilkan penyisihan COD terbaik ada pada pH 7. Terlihat bahwa dari pH 5 dan 6 terdapat peningkatan nilai efisiensi yang mencapai titik optimumnya pada pH 7. Namun pada derajat pH lebih dari pada 7, efisiensi penyisihan COD mengalami penurunan.

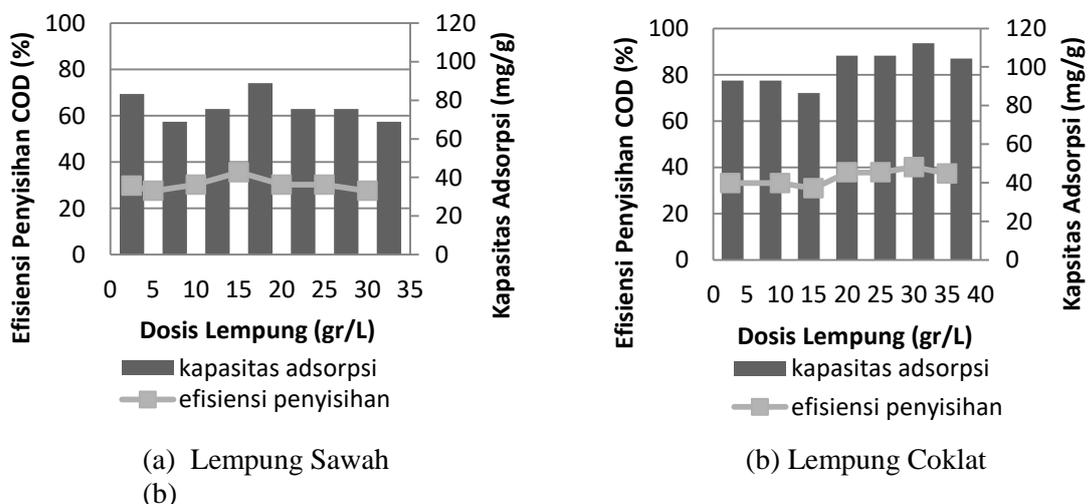
Hampir semua proses adsorpsi dipengaruhi oleh pH larutan (Mahmud, 2012). Hal ini terjadi karena pH mempengaruhi sifat elektrokimia larutan dan muatan permukaan partikel atau koloid tanah. Pada umumnya proses adsorpsi akan berlangsung lebih baik pada larutan dengan pH rendah (Eckenfelder dalam Viariawan, 2004 dalam Eldya, 2009). Namun pH optimum sangat spesifik untuk tiap senyawa, sehingga larutan dengan pH rendah tidak selalu dapat dipastikan mampu menghasilkan proses adsorpsi yang baik.

### Pengaruh dosis lempung terhadap adsorpsi senyawa organik

Penelitian pengaruh dosis lempung terhadap adsorpsi dilakukan pada pH optimum yang didapat dari hasil percobaan sebelumnya. Penelitian dilakukan secara *batch* selama 120 menit dengan variasi dosis lempung sebesar 2,5; 5; 10; 15; 20; 25; 30; dan 35 gr/L. Analisa dilakukan terhadap kapasitas adsorpsi lempung dan efisiensi penyisihan COD yang dihasilkan. Hasil percobaan ditampilkan pada **Gambar 2**.

Untuk penggunaan lempung sawah, variasi dosis lempung sebanyak 2,5; 5; 10; 15; 20; 25; 30; dan 35 gr/L memberikan hasil efisiensi penyisihan COD sebesar 29,7%; 27,51%; 30,2%; 35,5%, 30,2%; 30,2%, dan 27,51%. Hasil optimumnya dicapai pada penggunaan lempung sebanyak 15 mg/L dengan kapasitas adsorpsi per-dosis yang ditambahkan yaitu: 83,17; 68,79; 75,5; 88,92; 75,5; 75,5; dan 68,79 mg/g. Sedangkan pada penggunaan lempung coklat, penambahan dosis sebanyak 2,5; 5; 10; 15; 20; 25; 30; dan 35 gr/L memberikan hasil efisiensi penyisihan COD secara berturut-turut sebesar 33,18%; 33,18%; 30,87%; 37,78%; 37,78%; 40,09%, dan 37,28% dengan kapasitas adsorpsi per-dosis yang ditambahkan yaitu: 92,9; 92,9; 86,45; 105,8; 105,8; 112,25; dan 104,38 mg/g.

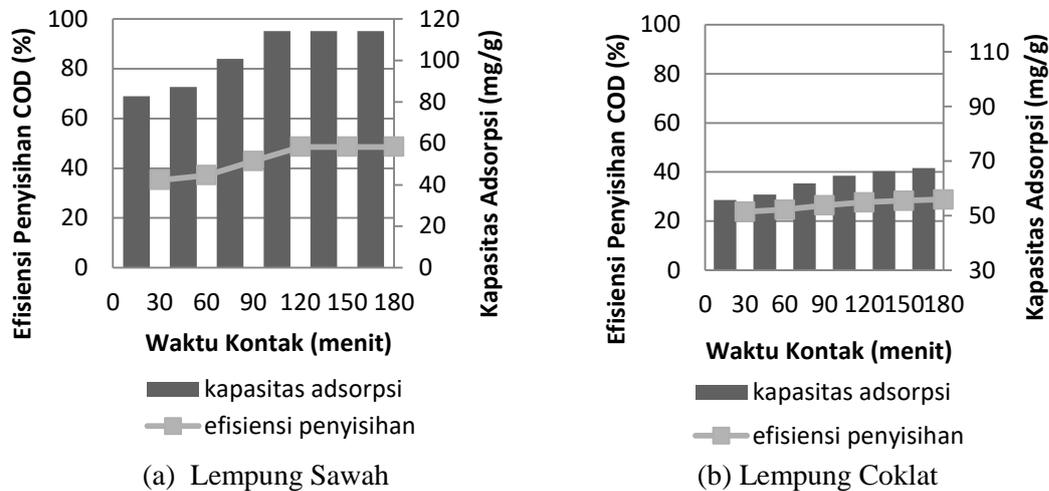
Adsorpsi *interfacial* dari molekul organik meningkat seiring dengan *surface activity* dan ukurannya. Mekanisme adsorpsi *interfacial* tergantung pada struktur adsorben, dan tidak hanya ukuran relatif dari area interfacial yang dimiliki. Adsorben dengan ukuran pori yang lebih besar, semestinya mampu mengadsorpsi molekul maupun partikel koloid lebih baik (Fair, *et al.*, 1968).



**Gambar 2.** Grafik pengaruh dosis lempung terhadap efisiensi penyisihan COD dan kapasitas adsorpsi.

### Pengaruh waktu kontak terhadap adsorpsi senyawa organik

Dalam suatu proses adsorpsi, proses akan terus berlangsung selama belum tercapai titik kesetimbangan. Oleh karena itu, untuk menentukan distribusi kesetimbangan antara adsorben dengan adsorbat dilakukan percobaan dengan variasi waktu kontak. Penentuan waktu kesetimbangan dilakukan untuk mengetahui kapan suatu bahan penyerap mengalami kejenuhan sehingga proses adsorpsi terhenti (Nilawati, 2013).



**Gambar 3.** Grafik pengaruh waktu kontak terhadap efisiensi penyisihan COD dan kapasitas adsorpsi.

Pada penelitian ini, dilakukan analisa kemampuan adsorpsi pada kondisi-kondisi optimal yang telah didapat sebelumnya ( $\text{pH}=7$ , dosis lempung sawah = 15 gr/L, dan dosis lempung coklat = 30 gr/L. Selanjutnya pada masing-masing kondisi tersebut, dilakukan analisa terhadap variasi waktu kontak, yaitu selama 30, 60, 90, 120, 150, dan 180 menit. Hasil analisa pengaruh waktu kontak ditampilkan pada **Gambar 3**.

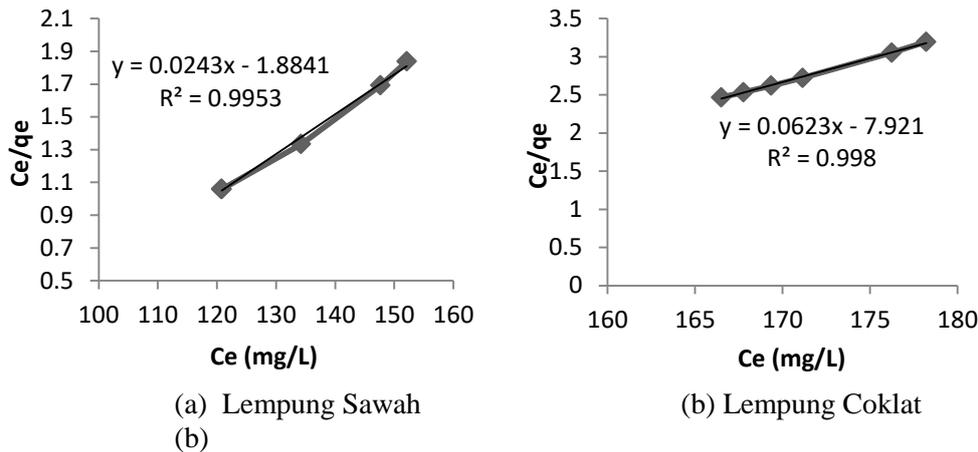
**Gambar 3** menunjukkan bahwa semakin lama waktu kontak antara adsorbat dengan adsorben, maka semakin banyak adsorbat yang teradsorpsi. Hal ini terlihat dari peningkatan kapasitas adsorpsi pada kedua lempung yang digunakan. Untuk kedua jenis lempung, terdapat titik optimum dimana efisiensi penyisihan COD mencapai stagnansi (keseimbangan).

Untuk penggunaan lempung sawah, efisiensi penyisihan COD pada menit ke-30, 60, 90, 120, 150, dan 180 berturut-turut antara lain: 35,23%; 37,14%, 42,85%, 48,57%; 48,57%; dan 48,57%. Dari hasil tersebut, terlihat bahwa penyisihan COD mulai stagnan pada menit ke-120. Sedangkan untuk penggunaan lempung coklat, efisiensi penyisihan COD pada menit ke-30, 60, 90, 120, 150, dan 180 berturut-turut antara lain: 23,83%; 24,67%; 26,43%; 27,63%; 28,3%; dan 28,84%. Perubahan efisiensi penyisihan COD per waktu pada penggunaan lempung coklat tidak terlihat terlalu signifikan jika dibandingkan dengan penggunaan lempung sawah. Oleh karena itu, kesimpulan tentang waktu tercapainya titik keseimbangan adsorpsi dapat diperkirakan terjadi pada menit ke-120.

Kemungkinan mekanisme adsorpsi dengan lempung coklat terjadi pada waktu yang lebih singkat daripada dengan penggunaan lempung sawah (kurang dari 30 menit), sehingga pada menit ke-30 sampai 120 perubahannya tidak lagi terjadi secara signifikan. Proses sorpsi umumnya berjalan dengan cepat pada tahap awal, kemudian perlahan-lahan akan menurun, yang disebut kondisi *keseimbangan* (Notodarmojo, 2005). Keseimbangan yang dimaksud yaitu dimana laju sorpsi sama dengan laju desorpsi, walaupun nyatanya pada beberapa larutan hampir tidak pernah tercapai, karena proses yang terjadi adalah proses kinetik (Notodarmojo, 2005).

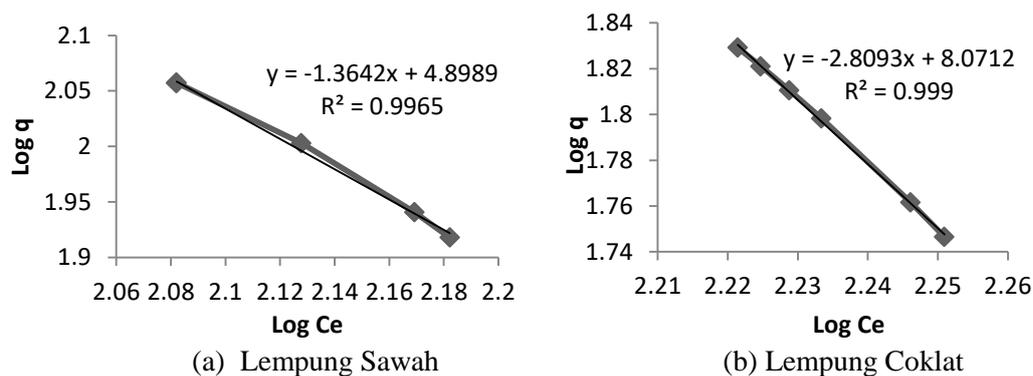
### Penentuan model isoterm proses adsorpsi

Penentuan model isoterm adsorpsi senyawa organik dilakukan pada kondisi optimum masing-masing lempung. Analisa isoterm Langmuir mengikuti persamaan pada **pers 1**. Dari kurva linier hubungan antara  $C/m$  versus  $C$ , dapat ditentukan nilai  $Q_m$  dari kemiringan (*slope*) dan  $K_L$  dari intercept kurva. Model isoterm Langmuir untuk masing-masing lempung ditampilkan pada **Gambar 4**.



**Gambar 4.** Isoterm langmuir proses adsorpsi.

Persamaan Freundlich merupakan persamaan empiris yang digunakan untuk menggambarkan sistem heterogen, dimana hal ini ditandai oleh faktor heterogenitas,  $1/n$  (Wicaksono dan Effendi, 2012). Persamaan isoterm Freundlich diperoleh dengan membuat plot antara nilai  $\log q$  dan  $\log C_e$ . Hasilnya ditampilkan pada **Gambar 5**. Nilai koefisien masing-masing persamaan ditampilkan pada **Tabel 4**.



**Gambar 5.** Isoterm freundlich proses adsorpsi.

Dalam menggambarkan mekanisme adsorpsi COD menggunakan lempung coklat dan lempung sawah, model isoterm Freundlich mampu mendeskripsikannya lebih baik dibandingkan dengan model isoterm Langmuir. Hal ini terlihat dari nilai koefisien determinasi ( $R^2$ ) isoterm Freundlich yang lebih mendekati nilai 1 daripada isoterm Langmuir. Nilai  $K_L$  yang negatif pada isoterm Langmuir menunjukkan bahwa data percobaan yang diperoleh pada proses adsorpsi COD menggunakan lempung coklat dan lempung sawah tidak memiliki kesesuaian dengan model isoterm Langmuir.

Nilai  $1/n$  yang kurang dari satu menunjukkan bahwa adsorben telah jenuh dengan molekul adsorbat ketika energi adsorpsi menurun terhadap kerapatan permukaan. Hal ini karena harga  $1/n$  berhubungan dengan besarnya gaya dorong (*driving force*) adsorpsi dan distribusi situs-situs energi pada adsorben (Karanfil, *et al.*, 1999 dalam Mahmud, 2012).

**Tabel 4.** Nilai  $K_L$ ,  $Q_m$ ,  $K_F$ ,  $1/n$  dan  $R^2$  dari model isoterm langmuir dan freundlich proses adsorpsi lempung sawah dan coklat terhadap penyisihan COD.

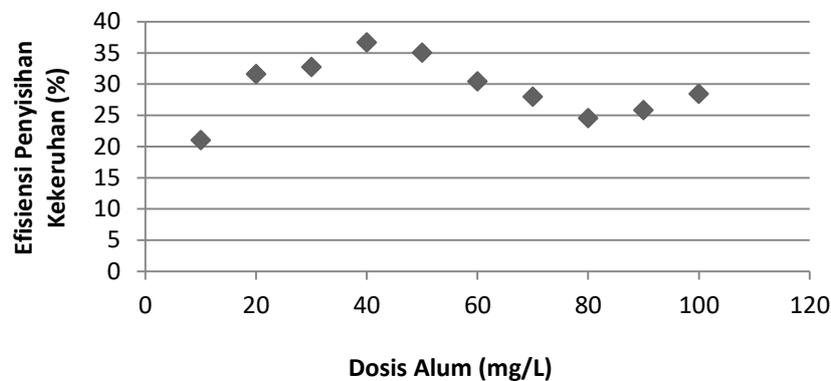
| Lempung | Isoterm Langmuir |              |       | Isoterm Freundlich                    |        |       |
|---------|------------------|--------------|-------|---------------------------------------|--------|-------|
|         | $K_L$<br>(L/mg)  | $Q_m$ (mg/g) | $R^2$ | $K_F$<br>(mg/g)/(mg/L) <sup>1/n</sup> | $1/n$  | $R^2$ |
| Sawah   | -0,01274         | 41,6667      | 0,995 | $7,9 \times 10^4$                     | -1,364 | 0,996 |
| Coklat  | -0,00783         | 16,12903     | 0,998 | $1,17 \times 10^8$                    | -2,809 | 0,999 |

### Pengaruh dosis penambahan lempung sebagai *coagulant aid* terhadap penyisihan COD

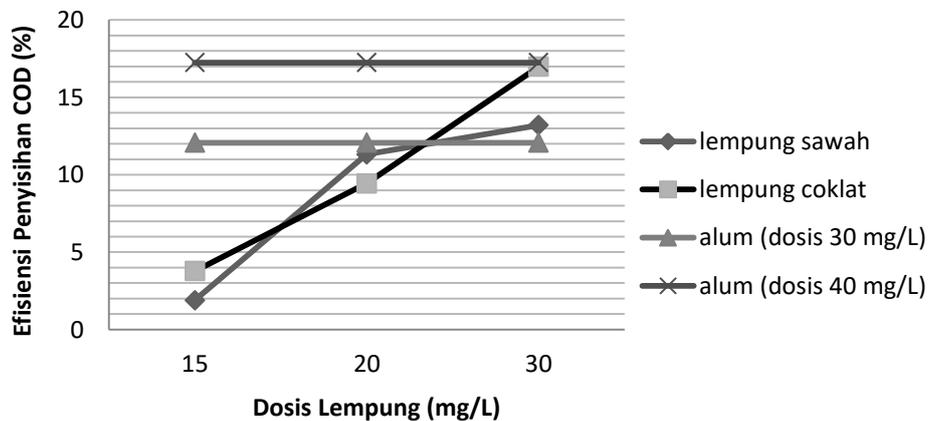
Percobaan dilakukan dengan terlebih dahulu menentukan dosis optimum koagulan (alum) melalui percobaan *jar test*. Variasi dosis koagulan yang ditambahkan adalah sebesar 10, 20, 30, 40, 50, dan 60 mg/L alum. **Gambar 6** menunjukkan hasil *jar test* terhadap dosis optimum alum.

Dari **Gambar 6**, dapat disimpulkan bahwa penyisihan COD tertinggi terjadi pada penambahan alum sebanyak 40 mg/L, yaitu sebesar 17,24%. Setelah diketahui dosis optimum alum, dilakukan percobaan dengan penambahan lempung ke dalam proses koagulasi-flokulasi. Dosis alum yang digunakan bukan merupakan dosis optimum, melainkan sebanyak satu level dibawah dosis optimum, yaitu sebesar 30 mg/L. Hal ini dilakukan mengingat tujuan penelitian adalah membuktikan hipotesa bahwa penambahan lempung sebagai *coagulant aid* mampu mengurangi kebutuhan koagulan kimia dalam proses koagulasi-flokulasi.

Selanjutnya, dengan dosis alum sebesar 30 mg/L, diambil variasi dosis lempung dengan dosis maksimumnya adalah sebanyak dosis alum yang digunakan, yaitu sebanyak 15, 20, dan 30 mg/L lempung. **Gambar 7** menunjukkan hasil koagulasi-flokulasi setelah dilakukan penambahan *coagulant aid* lempung.



**Gambar 6.** Grafik efisiensi penyisihan kekeruhan pada variasi penambahan koagulan alum.



**Gambar 7.** Grafik pengaruh penambahan lempung pada koagulasi-flokulasi menggunakan alum.

Penggunaan lempung sebagai *coagulant aid* dilakukan untuk membandingkan efisiensi yang dicapai terhadap proses koagulasi-flokulasi dengan alum pada dosis 30 mg/L dan 40 mg/L. Untuk penggunaan lempung sawah, penambahan dosis sebanyak 15, 20, dan 30 mg/L lempung menghasilkan efisiensi sebesar 1,88%; 11,3%; dan 13,2%, sementara untuk lempung coklat, efisiensinya berturut-turut sebesar 3,77%; 9,43%; dan 16,98%.

Dari hasil tersebut, dapat disimpulkan bahwa penambahan dosis lempung yang lebih banyak mampu menghasilkan efisiensi penyisihan COD lebih tinggi, baik dalam penggunaan lempung sawah maupun lempung coklat. Hal ini terjadi karena lempung mampu bertindak sebagai adsorben bagi

senyawa organik, sehingga efisiensi penyisihan senyawa organiknya sebanding dengan dosis lempung yang ditambahkan.

Efisiensi maksimum pada variasi dosis 15, 20, dan 30 mg/L lempung sawah dan lempung coklat dengan penggunaan alum sebanyak 30 mg/L adalah sebesar 13,2% dan 16,98%. Nilai ini lebih besar daripada koagulasi dengan hanya menggunakan alum sebanyak 30 mg/L (efisiensi mencapai 12,06%). Hal ini terjadi karena kombinasi koagulasi-adsorpsi mampu melengkapi kekurangan satu sama lain. Senyawa organik yang disisihkan oleh proses koagulasi merupakan senyawa dengan berat molekul yang tinggi dan memiliki muatan negatif. Sementara penggunaan lempung lebih efektif untuk mengadsorpsi senyawa dengan berat molekul yang kecil dan tidak bermuatan (Shen dan Tai-Hua, 1998). Namun ternyata hasil tersebut masih lebih rendah dibandingkan efisiensi penyisihan COD dengan penggunaan alum pada dosis optimumnya (40 mg/L), yaitu sebesar 17,24%.

## KESIMPULAN

Kedua jenis lempung yang digunakan memiliki kemampuan sebagai adsorben terhadap konsentrasi zat organik dalam air limbah. Kondisi optimum pada penggunaan lempung sawah dan coklat antara lain pada pH 7, dosis lempung sebesar 15 gr/L dan 30 mg/L. Penyisihan COD mencapai stagnan ketika waktu kontak mencapai 120 menit untuk penggunaan lempung sawah, dan sekitar menit ke 90 pada penggunaan lempung coklat. Pada kondisi ini, penyisihan COD yang terjadi pada lempung sawah dan coklat mencapai 48,5% dan 26,65%. Model isoterm yang cocok menggambarkan mekanisme adsorpsi organik oleh lempung adalah Isoterm Freundlich.

Penggunaan lempung sebagai *cogulant aid* mampu menghasilkan efisiensi yang lebih tinggi daripada koagulasi tanpa penambahan alum. Untuk penggunaan lempung sawah dan lempung coklat efisiensinya mencapai 13,2% dan 16,98% yaitu pada penambahan sebanyak 30 mg/L lempung. Namun ternyata hasil tersebut masih lebih rendah dibandingkan efisiensi penyisihan COD dengan penggunaan alum pada dosis optimumnya (40 mg/L), yaitu sebesar 17,24%.

## Daftar Pustaka

- Al-Jilil, Saad A., dan Alsewailem, Fares D. A. 2009. Lead Uptake by Natural Clay. *Jurnal of Applied Sciences* 9 (22): 4026-4031, 2009.
- Baku Mutu SK Gub-Jabar No. 6 Tahun 1999 tentang limbah industri.
- Errais, Emna., Duplay, J., Elhabiri, M., Khodja, M., Ocampo, R., Baltenweck-Guyot, R., Darragi, F. 2012. Anionic RR120 Dye Adsorption onto Raw Clay: Surface Properties and Adsorption Mechanism. *Colloids and Surfaces A: Physicochem. Eng. Aspects* 403 (2012) 69-7B.
- Fair, Gordon Maskew., John Charles Geyer, Daniel Alexander Okun. 1968. "Water & wastewater engineering Vol. 2 Water purification & wastewater treatment and disposal". USA: John Wiley & Sons, Inc
- Hadiwidodo, Mochtar., Huboyo, H. S., Indriasarimmawati. 2009. Penurunan Warna, COD, dan TSS Limbah Cair Industri Tekstil Menggunakan Teknologi Dielectric Barrier Discharge dengan Variasi Tegangan dan Flow Rate Oksigen. *Jurnal Presipitasi Vol. 7 No. 2 September 2009*.
- Joseph, Lesley., Flora, Joseph R.V., Park, Yong-Gyun., Badawy, M., Saleh, H., Yoon, Y. 2012. Removal of Natural Organic Matter from Potential Drinking Water Sources by Combined Coagulation and Adsorption Using Carbon Nanomaterials. *Separation and Purification Technology* 95 (2012) 64-72.
- Kannan, Nagarethinam., Sundaram, M. M. 2001. Kinetics and Mechanism of Removal of Methylene Blue by Adsorption on Various Carbons – a Comparative Study. *Dyes and Pigments* 51 (2001) 25-40.
- Kogure, Toshihiro., Elzea-Kogel, J., Johnston, C. T., Bish, D. L. 2010. Stacking Disorder in a Sedimentary Kaolinite. *Clays and Clay minerals, February 2010 Vol. 58 No. 1 p. 62-71*.
- Liu, Peng., Zhang, L. 2007. Adsorption of Dyes from Aqueous Solutions or Suspensions with Clay Nano-Adsorbents. *Separation and Purification Technology* 58 (2007) 32-39.
- Mahmud. 2012. Analisis dan Karakterisasi Bahan Organik Alami (BOA) Air Gambut dan Mekanisme Penyisihan BOA Menggunakan Tanah Lempung Gambut (TLG) sebagai Adsorben dan Koagulan. Bandung: Disertasi Program Studi Teknik Lingkungan Institut Teknologi Bandung.
- Muhdarina., Muhammad, A. W., Muchtar, A. 2010. Prospektif Lempung Alam Cengar sebagai Adsorben Polutan Anorganik di dalam Air: Kajian Kinetika Adsorpsi Kation Co (II). *Reaktor, Vol. 13 No. 2, Desember 2010, Hal. 81-88*.
- Mumin, M. A., Khan, M. M. R., Akhter, K. F., Uddin, M. J. 2007. Potentiality of Open Burnt Clay as an Adsorbent for the Removal of Congo Red from Aqueous Solution. *Int. J. Environ. Sci. Tech., 4 (4): 525-532*.

- Nilawati, Dewi. 2013. "Adsorpsi Nitrogen pada Limbah Urin Manusia dengan Menggunakan Tanah Diatomit". Bandung: Tesis Program Studi Teknik Lingkungan ITB.
- Notodarmojo, Suprihanto. 2005. "Pencemaran Tanah dan Air Tanah". Bandung: Penerbit ITB.
- Schaefer, C. E. G. R., Fabris, J. D., Ker, J. C. 2008. Minerals in The Clay Fraction of Brazilian Latosols (Oxisols): a Review. *Clay minerals, March 2008 Vol. 43 No. 1 p 137-154.*
- Shen, Yun-Hwei., Tai-Hua, C. 1998. Removal of Dissolved Organic Carbon by Coagulation and Adsorption From Polluted Source Water in Southern Taiwan. *Environment International, Vol. 24, No. 4 pp. 497-503.*
- Tchobanoglous, George. 2004. "Wastewater Engineering Treatment and Reuse". Singapore: McGraw Hill.
- Wicaksono, Imanudin., Agus Jatnika Effendi. 2012. "Adsorpsi Logam Krom dari Larutan Krom (III) Sulfat Menggunakan Electric Arc Furnace Slag (EAFS)". Program Magister Teknik Lingkungan ITB.