

## **Intensifikasi Pengolahan Limbah Cair Laboratorium Melalui Proses Koagulasi dan Adsorpsi Studi Pengolahan Limbah Cair Laboratorium dengan Metode Kombinasi Fisika-Kimia**

**Rifqi Sufra<sup>1</sup>, Jabosar R.H Panjaitan<sup>1</sup>, Misbahudin Alhanif<sup>1</sup>, Mustafa<sup>1</sup>, Fauzi Yusupandi<sup>1</sup>, Endi Adriansyah<sup>2</sup>, Gustia Rahmadini<sup>1</sup>, M. Rayhan Raqin<sup>1</sup>, Peppy Herawati<sup>2</sup>, Asih Suzana<sup>2</sup>**

<sup>1</sup>Fakultas Teknologi Industri, Institut Teknologi Sumatera, Jl. Terusan Ryacudu, Way Hui, Jati Agung, Lampung Selatan 35365, Indonesia

<sup>2</sup>Fakultas Teknik, Universitas Batanghari, Jl. Slamet Riyadi No.1, Sungai Putri, Danau Sipin, Kota Jambi, Jambi 36122, Indonesia

\*Correspondence: rifqi.sufra@tk.itera.ac.id

**Abstrak.** Laboratorium merupakan salah satu penghasil limbah cair berbahaya yang berasal dari zat-zat kimia yang digunakan saat praktikum dan penelitian. Limbah tersebut sangat berbahaya ketika dibuang ke lingkungan bisa mempengaruhi konstruksi bangunan karena zat pencemar yang terkandung didalamnya. Perlu dilakukan pengolahan terhadap limbah tersebut sebelum dibuang ke lingkungan untuk meminimalisir dampak pencemaran yang disebabkan oleh limbah. Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui perbandingan efektifitas adsorben zeolit dan karbon aktif dalam menurunkan kadar COD, TSS, dan logam berat Cr. Pengolahan limbah dilakukan dengan metode koagulasi dan adsorpsi. Proses koagulasi menggunakan koagulan PAC yang dapat mengendapkan partikel-partikel halus dalam limbah yang tidak dapat difiltrasi dengan mudah. Proses adsorpsi dilakukan dengan menggunakan dua jenis adsorben yaitu zeolit dan karbon aktif. Penelitian ini dilakukan dengan memvariasikan massa adsorben pada waktu pengadukan selama 120 menit secara *batch*. Variasi massa adsorben yang digunakan 3, 5, 7, dan 10 gram. Hasil dari penelitian menunjukkan semakin banyak adsorben yang digunakan maka semakin tinggi mereduksi kadar pencemar. Penggunaan adsorben karbon aktif sebanyak 10 gram mampu menurunkan kadar pencemar TSS 92%, COD 95%, kadar logam Cr 65%, dan pH 5,0-6,38. Sedangkan dengan adsorben zeolit mampu menurunkan kadar pencemar TSS 80%, COD 93%, kadar logam Cr 40%, dan pH 5,0-6,0.

**Kata Kunci:** Adsorpsi; Air limbah laboratorium; Karbon aktif; Koagulasi; Zeolit

**Abstract.** Laboratory is one of the generators of hazardous liquid waste derived from chemicals used in practice and research. The waste is very dangerous when discharged into the environment because of the pollutants it contains. Therefore, it is necessary to treat the waste before it is disposed of to minimize the impact of pollution caused by the waste. The study aims to compare the effectiveness of zeolite adsorbents and activated carbon in reducing COD, TSS, and Cr heavy metals. Waste treatment is carried out by coagulation and adsorption methods. The adsorption process is performed using two types of adsorbents: zeolite and activated carbon. This study was carried out by varying the mass of the adsorbents at the time of complaining for 120 minutes in batches. Variations in the masses of the used 3, 5, 7, and 10 grams of adsorbents. The results of the study showed that the more adsorbents used, the higher the reduction of pollutant levels. The use of 10 grams of activated carbon adsorbents can reduce TSS pollutants levels of 92%, COD 95%, Cr 65%, and pH 5,0-6,38.

**Keywords:** Adsorption, activated carbon, coagulation, laboratory wastewater, zeolite.

### **PENDAHULUAN**

Limbah adalah hasil kegiatan yang dapat menimbulkan dampak buruk bagi lingkungan dan juga makhluk hidup tanpa adanya pengolahan lebih lanjut. Limbah cair laboratorium memiliki tingkat bahaya yang tinggi karena mengandung senyawa kimia berbahaya, seperti logam berat, senyawa organik dan anorganik. Limbah cair laboratorium berasal dari kegiatan praktikum dan penelitian. Limbah tersebut biasanya ditampung dalam wadah penampungan tanpa pengolahan. Limbah laboratorium yang dihasilkan mengandung senyawa berbahaya dalam konsentrasi yang cukup tinggi dan apabila dibiarkan dalam jangka waktu lama tanpa adanya pengolahan dapat menimbulkan kerusakan lingkungan dan konstruksi, seperti kerusakan tanah, air, udara, maupun kesehatan makhluk hidup. Beberapa unsur yang ditemukan dalam limbah cair laboratorium meliputi senyawa organik, anorganik dan logam berat.

Karakteristik limbah dipengaruhi oleh beberapa faktor seperti ukuran partikel, sifat dinamis, luas penyebaran, dan dampak yang dihasilkan (Hindarti 2018).

Hasil analisis limbah cair laboratorium sebelum diolah menunjukkan adanya kandungan senyawa organik berbahaya dan logam berat yang cukup tinggi. Limbah tersebut memiliki pH sebesar 6,07; kandungan Kromium (Cr) sebesar 28,512 mg/L; *Chemical Oxygen Demand* (COD) sebesar 2331,30 mg/L; dan *Total Suspended Solid* (TSS) sebesar 486 mg/L. Berdasarkan Peraturan Menteri Negara Lingkungan Hidup No. 5 tahun 2014 tentang baku mutu limbah cair, limbah tersebut belum memenuhi syarat untuk dilepaskan langsung ke lingkungan, sehingga perlu adanya pengolahan lebih lanjut untuk mengurangi atau bahkan menghilangkan kandungan senyawa berbahaya pada limbah. Pengolahan limbah cair dapat dilakukan melalui beberapa metode, antara lain metode fisika, kimia, atau kombinasi. Salah satunya melalui proses pemisahan, seperti koagulasi, flokulasi, dan adsorpsi. Proses koagulasi dan flokulasi ditujukan untuk mengurangi kadar COD, sementara adsorpsi bertujuan untuk menurunkan konsentrasi logam berat (Ariani and Rahayu 2016). Proses koagulasi menggunakan *Poly Aluminium Chloride* (PAC) pada rentang pH 5,0 - 8,0 bertujuan untuk mengurangi tingkat kekeruhan (turbiditas) air limbah dan total padatan tersuspensi (TSS) hingga 97,69% dan 99,24% (Husaini et al. 2018).

Limbah yang mengandung kromium (Cr) termasuk dalam kategori limbah B3 atau limbah berbahaya. Kromium (Cr) adalah satu jenis logam berbahaya yang memiliki dampak negatif terhadap lingkungan perairan. Kromium bersifat karsinogenik dan tidak mudah terdegradasi yang membuatnya memiliki kemampuan untuk bertahan dalam jangka waktu yang cukup lama di lingkungan perairan (Paramita, Wardhani, and Pharmawati 2017). Ion krom dapat menimbulkan dampak berbahaya seperti kerusakan fungsi hati, gangguan pernapasan dan ginjal, hingga risiko kanker paru-paru (Sy et al. 2016).

Zeolit dikategorikan sebagai mineral aluminosilikat yang memiliki struktur berongga dan mampu membentuk kerangka tiga dimensi. Manganese zeolit adalah contoh zeolit sintesis (NH<sub>4</sub>-ZSM5, NH<sub>4</sub>-Y, Na-Y) dengan permukaan yang dilapisi oksida mangan (Najfach, Almquist, and Edelmann 2021). Manganese zeolit atau yang dikenal juga dengan sebutan K<sub>2</sub>Z, MnO, Mn<sub>2</sub>O<sub>7</sub> memiliki kemampuan untuk mengoksidasi kandungan besi, mangan, serta hidrogen sulfida dalam air (Al, 2021). Zeolit banyak diaplikasikan sebagai adsorben karena memiliki luas permukaan spesifik yang sangat besar, kapasitas penukar kation yang tinggi, cadangannya melimpah, biaya relatif rendah dan telah banyak digunakan sebagai adsorben dalam berbagai aplikasi seperti pembuatan gas metana, reduksi NO<sub>x</sub> dari emisi kendaraan, pemurnian bahan bakar, adsorpsi logam kation Pb<sup>2+</sup>, Cr<sup>2+</sup>, Cd<sup>2+</sup> dan Zn<sup>2+</sup>, adsorpsi zat warna, dan lainnya (Najfach, Almquist, and Edelmann 2021; Purnomo et al. 2017; Rhodes 2010). Karbon aktif dan zeolit perlu dilakukan aktivasi untuk membuka pori-pori yang tertutup oleh pengotor, sehingga mampu meningkatkan kapasitas adsorpsi (Widihati, Mahaputra, and Suarsa 2022).

Karbon aktif menjadi pilihan yang umum dalam teknologi pemisahan untuk penjernihan air, karena karakteristiknya sebagai adsorben dengan luas permukaan pori besar (Sembiring 2003). Karbon aktif masuk dalam kategori karbon yang memerlukan proses aktivasi untuk membuka pori-pori dalam strukturnya agar dapat diaplikasikan sebagai adsorben (Masthura, 2018). Keberhasilan proses adsorpsi dipengaruhi oleh beberapa parameter, seperti luas permukaan adsorben, konsentrasi adsorben, temperatur, pH, waktu kontak, dan kecepatan pengadukan (Syauqiah, Amalia, and Kartini 2011). Hasil penelitian lain menunjukkan bahwa penggunaan zeolit non-aktivasi, karbon aktif, dan ijuk sabut kelapa dapat mengurangi konsentrasi kromium (Cr) hingga 93%, dalam waktu 15 menit (Audiana, Apriani, and Kadaria 2017).

Dalam penelitian sebelumnya, pengolahan limbah cair dilakukan dengan metode netralisasi, koagulasi, dan adsorpsi menggunakan karbon aktif ampas tebu dan zeolit non-aktivasi. Proses ini dilakukan pada debit 140 ml/L dan mampu mengurangi konsentrasi kromium (Cr) sebesar 93%, dari 5,37 ppm menjadi 0,36 ppm dalam 15 menit. Namun, pada menit ke-30 hingga ke-120, terjadi peningkatan yang signifikan dalam konsentrasi kromium (Nurhayati, Sugito, and Pertiwi 2018). Oleh karena itu, perlu adanya penelitian lanjutan untuk meningkatkan kapasitas adsorpsi dan mencegah jenuhnya adsorben, melalui penggunaan adsorben teraktivasi dengan metode *batch* dan pengadukan dengan memvariasikan massa adsorben untuk mengetahui pengaruhnya terhadap polutan yang ada. Tujuan penelitian ini yaitu mengetahui pengaruh penggunaan adsorben zeolit dan karbon aktif dalam menurunkan kadar COD, TSS, dan logam Cr.

## METODE

Penelitian ini dilakukan dalam skala laboratorium dengan metode batch. Pengolahan data dilakukan dengan metode kuantitatif untuk mengetahui efisiensi terhadap penurunan kadar kromium, COD, TSS, dan penetralan pH. Sampel yang digunakan adalah air limbah Laboratorium berasal dari limbah penelitian dan praktikum. Media adsorpsi yang digunakan yaitu zeolit dan karbon aktif. Variabel penelitian adalah variasi massa dari adsorben 3, 5, 7 dan 10 g dan waktu operasi. Adapun prosedur pengambilan data yang dilakukan adalah sebagai berikut:

### Alat dan Bahan Penelitian

Alat yang digunakan dalam penelitian ini, yaitu gelas beaker 500 ml, botol sample, erlenmeyer 100 ml, neraca analitik, jartest, batang pengaduk, oven, pH meter, pipet ukur, aluminium foil, desikator, corong kaca, thermostat reactor DRB200, calorimeter Hach DR900, Spektrofotometer Serapan Atom (AAS). Bahan yang digunakan dalam penelitian ini, yaitu sampel limbah, karbon aktif, zeolit, PAC (*Poly Aluminium Chloride*), kertas saring, NaOH 5N, H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>, aquades, reagen HR COD.

### Aktivasi Adsorben

Adsorben terdiri dari karbon aktif dan zeolit yang diperoleh secara komersil. Berikut merupakan tahapan dalam proses aktivasi adsorben.

1. Aktivasi zeolit diawali dengan pengecilan ukuran dan pengayakan (Maryudi et al. 2021). Kemudian direndam dalam larutan asam sulfat (H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>) 2N dengan pengadukkan 80 menit (Nurhayati, Vigiani, and Majid 2020). Setelah itu dicuci dengan aquades sampai pH mendekati netral, lalu dioven pada suhu 300°C selama 2 jam (Aidha 2013).
2. Karbon aktif yang digunakan diperoleh secara komersil, proses aktivasi dilakukan dengan cara dioven pada temperatur 150°C selama 120 menit lalu disimpan dalam desikator (Nurhayati, Vigiani, and Majid 2020).

### Pretreatment

Sebelum diolah konsentrasi limbah laboratorium diturunkan terlebih dahulu untuk meminimalisir konsentrasi pencemarannya agar proses pengolahan lebih efektif. Proses pengenceran dilakukan dengan cara mencampurkan limbah cair yang bersifat asam, basa dan B3. Dari pencampuran ini maka akan menyebabkan terjadinya pengenceran dari konsentrasi senyawa yang terkandung dalam limbah. Kemudian dilakukan pengujian awal terhadap limbah untuk mengetahui nilai pH, TSS, COD, dan kadar logam Cr.

### Koagulasi dan Flokulasi

Sebelum melakukan proses koagulasi dan flokulasi tidak dilakukan proses netralisasi terlebih dahulu karena diketahui pH dari sampel sudah netral dan bisa dilanjutkan ke proses koagulasi dan flokulasi. Koagulan yang digunakan dalam proses koagulasi ini ada *Poly Aluminium Chloride* (PAC). Nilai pH mempengaruhi kerja dari PAC, yang mana PAC bekerja secara efektif sebagai koagulan berkisar diantara 5-10 (Hartini and Yuantari 2011).

Penentuan koagulan yang digunakan dilakukan dengan memvariasikan konsentrasi dari 150, 225 dan 300 mg/l. Kemudian jumlah konsentrasi dari koagulan yang paling efektif berdasarkan penurunan TSS dan penetralan pH akan digunakan untuk proses adsorpsi selanjutnya. Proses koagulasi berlangsung selama 75 menit dengan kecepatan pengadukkan 200 rpm menggunakan jartest (Nurhayati, Sugito, and Pertiwi 2018). Dilanjutkan ke tahap flokulasi yang berlangsung selama 5 menit dengan kecepatan pengadukkan 50 rpm lalu didiamkan selama 20 menit. Kecepatan pengadukkan mempengaruhi proses terbentuknya flok – flok, sehingga diperlukan kontrol kecepatan agar flok yang terbentuk tidak pecah (Nurhayati, Vigiani, and Majid 2020).

### Adsorpsi

Proses adsorpsi dilakukan terhadap adsorben zeolit dan karbon aktif kemudian dilakukan perbandingan terhadap kedua adsorben tersebut. Konsentrasi dari setiap adsorben akan divariasikan dengan massa yang sama.

1. Karbon Aktif, sampel yang telah melalui proses koagulasi dan flokulasi disiapkan dan dimasukkan ke dalam gelas beaker sebanyak 100 ml. Kemudian masukan karbon aktif yang telah diaktivasi

kedalam setiap sampel dengan variasi massa yang berbeda yaitu 3, 5, 7, dan 10 gram. Lalu lakukan pengadukan dengan jartest selama 90 menit dengan kecepatan pengadukan 60 rpm. Lakukan penyaringan terhadap sampel yang telah diaduk dengan kertas saring dan hasil dari penyaringan dianalisis sesuai dengan parameter yang akan diuji.

2. Zeolit, sampel yang telah melalui proses koagulasi dan flokulasi disiapkan dan dimasukkan ke dalam gelas beaker 500 ml yang berbeda sebanyak 100 ml. Kemudian masukan zeolit yang telah diaktivasi kedalam setiap sampel dengan variasi massa yang berbeda yaitu 3, 5, 7, dan 10 gram. Lalu lakukan pengadukan dengan jartest selama 120 menit dengan kecepatan pengadukan 60 rpm (Febrina, Noviana, and Ni'mah 2021). Lakukan penyaringan terhadap sampel yang telah diaduk dengan kertas saring dan hasil dari penyaringan dianalisis sesuai dengan parameter yang akan diuji.

### Penentuan Efisiensi Pengolahan Limbah Laboratorium

Perhitungan persentase penurunan kadar TSS, COD, dan logam Cr dalam limbah cair laboratorium sebagai berikut:

$$\text{Kadar (\%)} = \frac{\text{konsentrasi awal} - \text{konsentrasi akhir}}{\text{konsentrasi awal}} \times 100\% \quad (1)$$

Analisis TSS, COD dan logam Cr dilakukan pada limbah cair laboratorium sebelum diolah (*treatment*) dan sesudah diolah. Masing-masing parameter dianalisis sesuai dengan metode analisis masing-masing.

### Analisis TSS (*Total Suspended Solid*)

Penentuan kadar TSS dalam sampel dilakukan dengan metode gravimetri, dengan meletakkan kertas saring pada alat filtrasi yang telah dilengkapi pompa vakum. Kemudian disaring dengan 20 ml aquades dan dioven selama 1 jam pada suhu 105°C. Setelah itu timbang kertas saring tersebut dan didapatkan nilai dari A. Kemudian Pipet sampel sebanyak 10 ml, saring dengan kertas saring yang telah disiapkan diawal. Setelah itu keringkan kertas saring tersebut di dalam oven selama 1 jam pada suhu 105°C. Setelah itu timbang kertas saring tersebut dan didapatkan nilai dari B. Kemudian lakukan perhitungan untuk mendapatkan nilai TSS menggunakan persamaan dibawah ini:

$$\text{mg TSS per liter} = \frac{A - B}{\text{volume sampel, (mL)}} \times 1000 \quad (2)$$

Dimana A adalah massa kertas saring + residu kering (mg) dan B adalah massa kertas saring (mg).

### Analisis COD (*Chemical Oxygen Demand*)

Penentuan kadar COD yang terkandung pada sampel air limbah laboratorium menggunakan alat colorimeter Hach DR 900 yang mengacu pada DOC 316.53.01099. Ambil 2 ml sampel yang telah disiapkan menggunakan pipet volumetric dan masukan kedalam vial yang berisi reagen COD dan lakukan pengadukan secara perlahan dengan vortex sampai homogen dan siapkan sampel blanko. Kemudian lakukan pemanasan terhadap sampel dan blanko dengan DRB 200 HACH pada suhu 150°C selama 2 jam, lalu diamkan sampel hingga suhu ruang. Setelah itu cek parameter COD menggunakan alat colorimeter Hach DR 900 dan catat parameter yang muncul pada layar colorimeter Hach DR 900.

### Analisis Logam Cr

Untuk analisis logam Cr diserahkan ke pihak ketiga. Pengecekan logam Cr ini menggunakan alat Spektrofotometer Serapan Atom (SAA) yang mengacu pada SNI 6989.7:2009.

### Analisis pH

Penentuan nilai pH dilakukan menggunakan pH meter, dengan cara memasukan pH meter ke dalam sampel limbah cair.

### HASIL

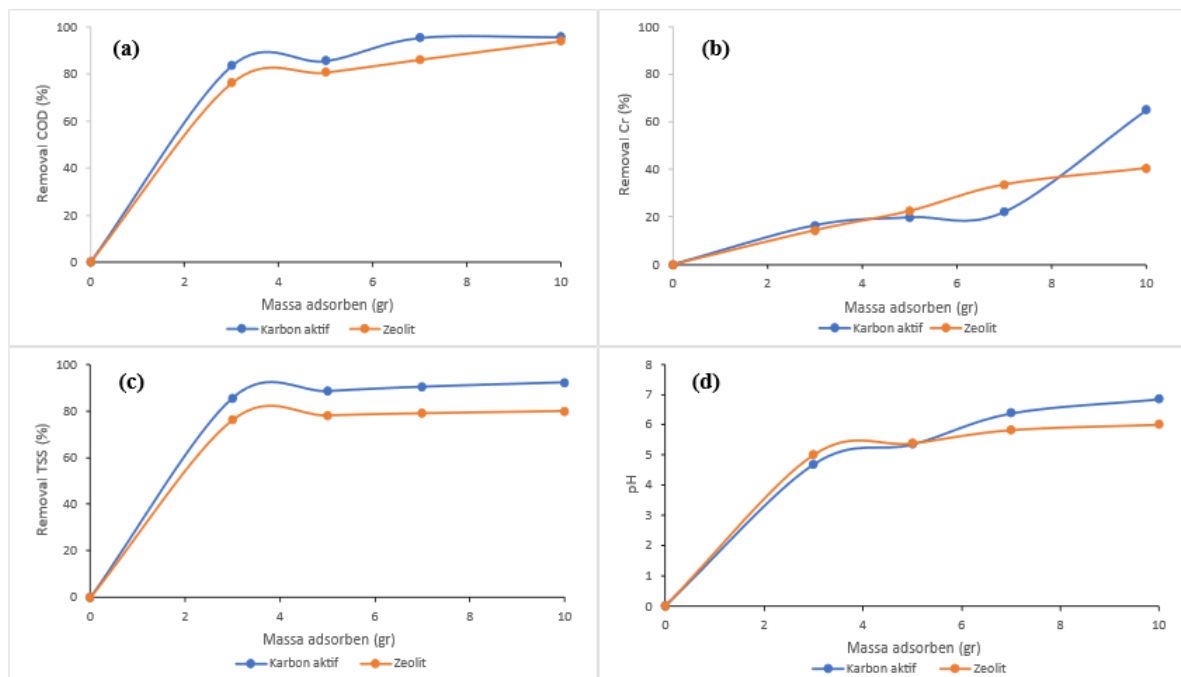
Berikut adalah hasil analisis kandungan dalam sampel limbah cair laboratorium, sebelum dan setelah pengolahan.

**Tabel 1.** Karakteristik awal air limbah laboratorium

Parameter	Satuan	Kadar Awal	Baku mutu (mg/L)
COD	Mg/l	2331,30	300
pH	-	6,07	6,0-9,0
TSS	Mg/l	305,59	400
Cr	Mg/l	64,59	0,5

**Tabel 2.** Pengaruh massa koagulan PAC (*Poly Alum Chloride*) terhadap TSS dan pH

Parameter	Massa PAC (mg/L)		
	150	225	300
pH	3.44	3.51	3.8
TSS	52	40	21
Warna	Keruh	Sedikit keruh	jernih



**Gambar 1.** Pengaruh massa adsorben terhadap (a) *Removal COD (%)*, (b) *Removal Cr (%)*, (c) *Removal TSS (%)*, (d) *pH*

## Pembahasan

### Karakteristik Awal Limbah Laboratorium

Secara fisik, air limbah laboratorium berwarna kuning kecoklatan dengan aroma yang menyengat, akibat dari banyaknya kandungan senyawa kimia yang bercampur limbah laboratorium mempengaruhi konstruksi bangunan. Berdasarkan Tabel 1, terlihat bahwa kadar COD dalam limbah sangat tinggi karena terjadi oksidasi dari senyawa kimia yang terkandung di dalamnya. Nilai awal pH yang diperoleh adalah 3,65, menunjukkan bahwa air limbah tersebut bersifat asam dan korosif. Pada pH kurang dari 4, sebagian besar tumbuhan air tidak dapat bertahan hidup pada kondisi pH rendah, sehingga dapat menimbulkan kerusakan ekosistem (Susana 2009). Kadar TSS dalam air limbah sudah memenuhi baku mutu, namun masih tergolong tinggi. Kekeruhan air limbah disebabkan oleh tingginya TSS atau total padatan tersuspensi, yang disebabkan oleh adanya partikel padatan tidak larut yang sulit mengendap. Total TSS dan logam Cr dalam limbah laboratorium berasal dari bahan kimia yang digunakan ketika praktikum dan penelitian.

### Pengaruh Massa Koagulan Terhadap Kualitas Air Limbah

Sampel air limbah yang digunakan memiliki pH awal yaitu 6,07 yang mana pH tersebut bersifat netral sehingga tidak perlu dilakukan proses netralisasi. Proses koagulasi dilakukan dengan penambahan PAC (*Poly Aluminium Chloride*) sebagai koagulan, hal ini dikarenakan PAC bekerja

efektif pada rentang pH 5-8 (Husaini et al. 2018). Proses pengolahan limbah cair menggunakan PAC mampu menurunkan kadar TSS dan menetralkan pH. Pengolahan limbah dengan proses koagulasi dimulai dengan mengevaluasi massa optimum dari koagulan dengan variasi massa 150, 225 dan 300 mg/L. Setelah dilakukan pengadukan menggunakan jartest dari sampel tersebut akan terbentuk flok-flok kecil. Kemudian dilanjutkan dengan pengadukan lambat atau flokulasi untuk pembentukan flok-flok yang lebih besar. Pengaruh massa koagulan PAC terhadap TSS dan pH dapat dilihat pada tabel pada Tabel 2. Setelah proses koagulasi tingkat kekeruhan dan aroma menyengat dari limbah mengalami penurunan secara perlahan, diikuti dengan munculnya flok-flok dilapisan atas. Dari ketiga parameter tersebut penurunan tertinggi semua terjadi pada proses koagulasi dengan penambahan PAC 225 mg/L. Penambahan massa PAC dapat meningkatkan persentase pemisahan TSS dan pH dari limbah. Semakin banyak PAC yang ditambahkan ke dalam limbah dapat mempercepat proses terbentuknya flok karena partikel koloid dalam limbah destabilisasi (Adriansyah et al., 2023). Ini terjadi karena koagulan yang ditambahkan ke dalam limbah terurai menjadi ion positif dan negatif, yang kemudian dapat menetralkan partikel koloid dan mengikatnya, menyebabkan kekeruhan limbah berkurang (Sutapa 2014).

Pada limbah cair Laboratorium Teknik Lingkungan, PAC dengan konsentrasi 300 mg/l dapat menghilangkan konsentrasi Cr hingga 98,50% dan COD hingga 95,2%. Namun, ini masih di atas standar yang ditetapkan, jadi perlu dilakukan tindakan lebih lanjut (Nurhayati, Vigiani, and Majid 2020). Pengendapan zat organik selama proses koagulasi dengan koagulan PAC dan flokulasi. Proses ini menggabungkan partikel organik dari flokul kecil, yang membuat penurunan lebih cepat dan sempurna. Semakin banyak massa PAC yang ditambahkan, semakin banyak persentase pemisahan logam. Namun, dalam penyisihan ion-ion logam dengan koagulasi, pH berpengaruh. Ion-ion logam yang disingkirkan dengan koagulasi paling baik disingkirkan pada pH 10, dan kelarutan Cr meningkat lebih lanjut pada pH yang lebih tinggi (Suprihatin and Indrasti 2011).

Dalam penelitian ini, proses koagulasi dilakukan pada pH 6,07—suatu kondisi di mana tidak semua ion logam dapat dihilangkan. Ion logam yang terkandung masih tinggi karena ion logam yang tidak tersisihkan tetap larut dalam air. Penambahan PAC akan menurunkan pH larutan; semakin banyak PAC yang ditambahkan, semakin rendah pHnya. Karena PAC bersifat asam, penurunan pH ini akan membuat ion logam mudah larut kembali ke dalam perairan (Nugraheni 2012). pH awal sampel adalah 6,07 tetapi setelah PAC ditambahkan, pH turun menjadi 3,4–3,8. Oleh karena itu, sampel harus dinetralkan sebelum proses adsorpsi dimulai. Setelah koagulasi, flokulasi, dan penambahan NaOH, air limbah laboratorium menjadi endapan dan berwarna kuning. Jika endapan terbentuk mengandung logam berat dan warna yang tidak jernih, itu menunjukkan bahwa jumlah zat organik dalam limbah masih tinggi dan memerlukan pengolahan tambahan melalui proses adsorpsi.

### **Pengaruh Massa Adsorben Terhadap Kadar COD**

Efisiensi penurunan COD dalam proses adsorpsi dapat terlihat pada Gambar 1 (a). Hasil tersebut menunjukkan bahwa proses adsorpsi efektif dapat menurunkan COD air limbah. Berdasarkan hasil pengukuran kadar COD terlihat bahwa semakin tinggi massa adsorben yang digunakan akan semakin tinggi efisiensi penurunan COD. (Adriansyah, dkk., 2019) Peningkatan efisiensi penurunan COD disebabkan oleh kemampuan adsorben dalam menyerap kandungan senyawa organik dalam air limbah. Dari proses adsorpsi, penurunan COD optimum diperoleh pada penggunaan adsorben karbon aktif sebesar 10 gram dengan persen penurunan hingga 95%. penggunaan adsorben zeolit optimum pada massa 10 gram dengan persen penurunan sebesar 93%.

Penyerapan kadar organik meningkat dengan bertambahnya massa adsorben yang digunakan. Hal tersebut dikarenakan semakin banyak adsorben maka akan semakin besar daya serapnya. Penyerapan kadar organik terbanyak pada adsorben karbon aktif sebanyak 10 gram yang mampu menurunkan nilai COD dari 2331,3 mg/L menjadi 101 mg/L. Untuk massa adsorben 3, 5, 7, dan 10 gram, perbedaan kapasitas penyerapan tidak signifikan karena selisih massa adsorben yang digunakan tidak terlalu besar. Proses pengadukan selama adsorpsi meningkatkan terjadinya kontak antara adsorben dan zat organik sehingga permukaan adsorben memiliki kesempatan lebih besar untuk bersinggungan dengan zat organik dan menyerap zat organik dalam pori-pori karbon aktif dan zeolit. Hal serupa juga dilakukan oleh Nurhayati, Vigiani, and Majid (2020) dalam penyisihan zat organik COD limbah laboratorium limbah x menggunakan karbon aktif dan zeolit secara kontinyu efektif dalam menurunkan kadar zat organik (COD) dari 35.485 mg/L menjadi 286 mg/L dengan efisiensi 99,19% (Sufra, dkk., 2022).

### **Pengaruh Massa Adsorben Terhadap Kadar Logam berat *Chrom* (Cr)**

Hasil penelitian penurunan kadar logam berat Cr dalam limbah laboratorium X disajikan pada Gambar 1 (b). Berdasarkan uji yang dilakukan, hasil menunjukkan bahwa proses adsorpsi efektif dalam menurunkan kadar Cr air limbah laboratorium. Terlihat hubungan antara massa adsorben terhadap efisiensi penurunan Cr, di mana semakin tinggi massa adsorben yang digunakan maka akan semakin tinggi efisiensi dari penurunan Cr. Peningkatan efisiensi tersebut disebabkan karena kemampuan adsorben dalam menyerap kadar ion logam Cr yang terkandung dalam air limbah. Dari proses adsorpsi, penurunan Cr tertinggi diperoleh dari penggunaan adsorben karbon aktif 10 gram dengan persen penurunan 65%. Penurunan kadar Cr terendah terdapat pada massa adsorben karbon aktif 3 gram sebesar 10,671 mg/L (16,52%). Sedangkan pada adsorben zeolite, penurunan tinggi kadar Cr terjadi pada massa 10 gram dengan persen penurunan sebesar 40%. Hasil penurunan Cr terendah juga berada pada massa adsorben zeolit 3 gram sebesar 9,324 mg/L (14,44%).

Penurunan kadar logam Cr menggunakan proses adsorpsi cukup efektif. Namun, kadar akhir yang diperoleh masih berada diatas standar baku mutu sehingga perlu dilakukan proses pengolahan lanjut untuk menyisihkan kadar Cr yang masih tinggi. Kandungan Cr yang relatif tinggi menyebabkan kejenuhan pada adsorben sehingga proses penyerapan menjadi berkurang. Kondisi ini dapat disebabkan oleh pori adsorben yang telah dipenuhi oleh pencemar sehingga tidak mampu secara optimal menyerap ion logam Cr dalam limbah. Adsorben yang telah jenuh perlu dilakukan regenerasi untuk menghilangkan pengotor pada permukaan adsorben (Handayani et al. 2012). Selain itu, tingkat kepekatan sampel air limbah laboratorium yang tinggi menyebabkan banyaknya pencemar yang harus dihilangkan. Lebih lanjut, rendahnya proses adsorpsi logam Cr pada air limbah laboratorium juga disebabkan adanya efek inhibisi ion logam. Jenis logam lainnya memengaruhi efisiensi penurunan logam Cr; logam dapat disingkirkan dengan mudah dalam sistem ion tunggal (Suprihatin and Indrasti 2011). Penyisihan logam Cr dengan proses adsorpsi juga dipengaruhi oleh pH. Adsorpsi logam akan mengalami peningkatan pada kondisi pH yang lebih tinggi, dan akan konstan dalam keadaan netral. Akan tetapi, pH yang terlalu tinggi menyebabkan terbentuknya endapan logam hidroksida yang mempengaruhi proses adsorpsi. Disisi lain, pada pH rendah konsentrasi ion  $H^+$  menjadi tinggi yang menyebabkan terjadinya gaya tolak-menolak antara ion hidrogen dengan ion logam terhadap daerah pertukaran kation yang bermuatan positif, sehingga kemampuan adsorpsi menjadi rendah (Handayani et al. 2012).

Hasil serupa didapatkan oleh Nurhayati, Vigiani, and Majid (2020) pada penyisihan kadar logam Cr dalam limbah laboratorium menggunakan karbon aktif dan zeolit secara kontinyu efektif dalam menurunkan kadar Cr dengan efisiensi 99,18% dari 48,35 mg/L menjadi 0,39 mg/L. Persen penyisihan yang diperoleh pada penelitian tersebut lebih besar dibandingkan pada penelitian ini karena proses perlakuan awal (*pretreatment*) yang berbeda. Pada penelitian tersebut proses netralisasi dilakukan untuk meningkatkan pH dan berfungsi dalam mengendapkan logam melalui proses presipitasi.

### **Pengaruh Massa Adsorben Terhadap Kadar TSS**

Proses adsorpsi dalam penurunan *Total Suspended Solid* (TSS), efisiensi penurunan TSS dapat terlihat pada Gambar 1 (c). Dari grafik dapat dilihat hubungan antara massa adsorben dengan efisiensi penurunan TSS, dimana semakin tinggi massa adsorben yang digunakan maka akan semakin tinggi efisiensi penurunan TSS. Peningkatan efisiensi tersebut disebabkan karena semakin banyak adsorben yang digunakan maka akan semakin besar kapasitas serapnya. Pada proses adsorpsi, penurunan tertinggi dari adsorben karbon aktif yaitu pada massa 10 gram dengan persen penurunan 92%. dengan adsorben zeolit penurunan tertinggi pada massa 10 gram dengan persen penurunan sebesar 80%. (Adriansyah, dkk., 2019)

TSS adalah jumlah padatan (mg/L) yang tidak larut atau tersuspensi, biasanya padatan berpasir atau lumpur. Padatan tersuspensi muncul dalam air limbah karena tingkat kekotoran atau kekeruhan yang tinggi. Karena kemampuan zat adsorben untuk menyerap zat tersuspensi, kadar TSS dapat menurun. Pada penelitian, Ramadhani, Sutanhaji, and Widiatmono (2013) melakukan penambahan PAC dalam proses koagulasi sebelum dilakukan proses adsorpsi. Hasilnya, kadar TSS menurun sebesar 55,53%. Penurunan kadar TSS akan semakin meningkat dengan dilanjutkan proses adsorpsi lanjut melalui penggunaan adsorben sebagai media penyerap zat pencemar. (Viareco, dkk., 2023).

### **Pengaruh Massa Adsorben Terhadap Penetralan pH**

Hasil pengamatan nilai pH selama proses adsorpsi dapat terlihat pada Gambar 1 (d). Selama proses adsorpsi, nilai pH cenderung meningkat seiring dengan semakin banyak adsorben yang digunakan. Massa adsorben yang digunakan sangat mempengaruhi nilai pH akhir air limbah. pH air limbah sebelum dilakukan proses adsorpsi sebesar 6,07. Setelah proses adsorpsi, pH mengalami sedikit peningkatan dan penurunan akibat adanya pengaruh dari adsorben yang digunakan. Proses adsorpsi dengan karbon aktif menyebabkan pH berada pada rentang antara 4,69 hingga 6,85, bergantung pada massa adsorben. Semakin banyak adsorben yang digunakan maka pH akan meningkat, dan sebaliknya. Hal ini disebabkan karena karbon aktif bersifat netral (pH 7), dan akan mempengaruhi nilai pH dari sampel. Pada adsorben zeolit juga terjadi penurunan nilai pH dari 6,07 menjadi 5,0 hingga 6,0. Fenomena lain yang dapat diamati adalah seiring meningkatnya massa zeolit, nilai pH juga meningkat.

Penurunan pH juga disebabkan karena proses koagulasi dengan koagulan *Poly Aluminium Chloride* (PAC). Penambahan PAC akan menyebabkan penurunan pH larutan akibat PAC yang bersifat asam. Semakin banyak massa PAC yang digunakan maka akan semakin besar pula penurunan pH (Asmadi 2012). Hasil tersebut sesuai dengan penelitian Nurhayati, Sugito, and Pertiwi (2018) pada pengolahan limbah laboratorium dimana penambahan PAC pada proses koagulasi sebelum proses adsorpsi menurunkan pH dari 6,1 menjadi 5,25-5,57. Parameter pH termasuk salah satu parameter pencemaran limbah, karena pH yang tinggi ataupun rendah yang tidak sesuai dengan baku mutu akan berdampak buruk bagi lingkungan.

### **SIMPULAN**

Berdasarkan hasil penelitian pengolahan air limbah laboratorium dengan kombinasi metode fisika dan kimia melalui proses koagulasi dan adsorpsi diperoleh kesimpulan bahwa penggunaan koagulan PAC sebanyak 225 mg/L efektif menurunkan kadar TSS sebesar 90%. Hal ini dikarenakan semakin banyak koagulan PAC yang digunakan maka akan semakin tinggi pengurangan zat pencemaran TSS karena terjadi pengendapan. Akan tetapi, penggunaan PAC dalam jumlah besar menyebabkan penurunan nilai pH karena bersifat asam. Proses adsorpsi secara batch efektif dalam penurunan kadar limbah, semakin banyak massa adsorben yang digunakan maka akan semakin tinggi penurunan kadar pencemar karena daya serapnya akan lebih besar. Kondisi adsorpsi terbaik diperoleh pada penggunaan adsorben karbon aktif sebanyak 10 gram yang efektif dalam menurunkan kadar pencemar TSS sebesar 92%, COD 95%, kadar logam Cr 65%, dan penetralan pH 5,0 sampai 6,38. Penggunaan zeolit memiliki kemampuan lebih rendah dibandingkan karbon aktif dengan nilai penurunan kadar TSS sebesar 80%, COD 93%, kadar logam Cr 40%, dan penetralan pH 5,0 sampai 6,0. Limbah yang sudah diolah aman untuk dibuang ke badan air penerima atau lingkungan dan aman bagi konstruksi bangunan.

### **Ucapan Terima Kasih**

Terima kasih kepada Fakultas Teknologi Industri, Institut Teknologi Sumatera, sebagai sumber dana riset dan penelitian ini.

### **DAFTAR PUSTAKA**

- Adriansyah, E., Kasman, M., Prabasari, I.G., dan Permana, E (2019). "Korelasi Parameter Pencemar Fisika dan Mikrobiologi Dalam Leachate Dengan Response Surface Methodology. *Jurnal Teknik Kimia*, 25(3). 86-89 <https://doi.org/10.36706/jtk.v25i3.132>
- Adriansyah, E., Agustina, T. E., & Arita, S. (2019). Leachate Treatment of TPA Talang Gulo, Jambi City by Fenton method and adsorption. *Indonesian Journal of Fundamental and Applied Chemistry*, 4(1), 20–24. <https://doi.org/10.24845/ijfac.v4.i1.20>
- Adriansyah, E., Herawati, P., Suzana, A., & Pratama, A. I. (2023). *Decreasing pH, COD and TSS of Domestic Liquid Waste Using Photocatalysis TiO<sub>2</sub> (Titanium Dioxide)*. 3(2), 11–15.
- Aidha, N. N. 2013. "Aktivasi Zeolit Secara Fisika Dan Kimia Untuk Menurunkan Kadar Kesadahan (Ca Dan Mg) Dalam Air Tanah." *Jurnal Kimia dan Kemasan* 35(1): 58.
- Ariani, M. D., and D. Rahayu. 2016. "Review Artikel: Penyisihan Logam Berat Dari Limbah Cair Laboratorium Kimia." *Farmaka* 14(4): 89–97.
- Asmadi, S. 2012. *Dasar-Dasar Teknologi Pengolahan Air Limbah*. Gosityen Publishing.
- Audiana, M., I. Apriani, and U. Kadaria. 2017. "Pengolahan Limbah Cair Laboratorium Teknik

- Lingkungan Dengan Koagulasi Dan Adsorpsi Untuk Menurunkan COD, Fe, Dan Pb.” *Jurnal Teknologi Lingkungan Lahan Basah*: 1–10.
- Febrina, L., L. Noviana, and U. Ni'mah. 2021. “Analisis Penurunan Kadar Krom (Cr) Limbah Laboratorium Menggunakan Zeolit Dan Karbon Aktif.” *Sustainable Environmental and Optimizing Industry Journal* 1(1): 1–13.
- Handayani, D. S., Jumina, D., dan Siswanta, and Mustofa. 2012. “113292-Adsorpsi-Ion-Logam-Pbii-Dan-Criii-Oleh-P-D0a6Cac4.” *Journal Manusia dan Lingkungan* 19(3): 218–25.
- Hartini, E., and MG. C. Yuantari. 2011. “Pengolahan Air Limbah Laboratorium Dengan Menggunakan Koagulan Alum Sulfat Dan Poly Alum Chloride Di Laboratorium Kesehatan Universitas Dian Nuswantoro Semarang.” *Jurnal DIAN* 11(2): 150–59.
- Hindarti, F. 2018. “Pengaruh Variasi Konsentrasi Limbah Terhadap Penurunan Kandungan Tembaga Pada Pengolahan Limbah Cair Proses Etching Dengan Metode Elektrolisis.” *Jurnal Teknologi Technoscintia* 10(2): 146–145.
- Husaini, H., S. S. Cahyono, S. Suganal, and K. N. Hidayat. 2018. “Perbandingan Koagulan Hasil Percobaan Dengan Koagulan Komersial Menggunakan Metode Jar Test.” *Jurnal Teknologi Mineral dan Batubara* 14(1): 31.
- Maryudi, A. Rahayu, R. Syauqi, and M. K. Islami. 2021. “Teknologi Pengolahan Kandungan Kromium Dalam Limbah Penyamakan Kulit Menggunakan Proses Adsorpsi: Review.” *Jurnal Teknik Kimia dan Lingkungan* 5(1): 90–99.
- Najfach, A. J., C. B. Almquist, and R. E. Edelmann. 2021. “Effect of Manganese and Zeolite Composition on Zeolite-Supported Ni-Catalysts for Dry Reforming of Methane.” *Catalysis Today* 369(July): 31–47. <https://doi.org/10.1016/j.cattod.2020.07.058>.
- Nugraheni, I. K. U. B. U. I. 2012. “Aplikasi Arang Akif Cangkang Kelapa Sawit Terlapis Kitosan Sebagai Filter Dalam Pengolahan Limbah Cair Sasirangan Setelah Koagulasi Dengan poly Aluminium Chloride.” *Jurnal Teknologi Dan Industri* 2(1): 9–18.
- Nurhayati, I., S. Sugito, and A. Pertiwi. 2018. “Pengolahan Limbah Cair Laboratorium Dengan Adsorpsi Dan Pretreatment Netralisasi Dan Koagulasi.” *Jurnal Sains & Teknologi Lingkungan* 10(2): 125–38.
- Nurhayati, I., S. Vigiani, and D. Majid. 2020. “Penurunan Kadar Besi (Fe), Kromium (Cr), COD Dan BOD Limbah Cair Laboratorium Dengan Pengenceran, Koagulasi Dan Adsorpsi.” *ECOTROPHIC: Jurnal Ilmu Lingkungan* 14(1): 74–87.
- Paramita, R., E. Wardhani, and K. Pharmawati. 2017. “Kandungan Logam Berat Kadmium (Cd) Dan Kromium (Cr) Di Air Permukaan Dan Sedimen: Studi Kasus Waduk Saguling Jawa Barat.” *Jurnal Online Institut Teknologi Nasional Oktober* 5(2): 1–12. <https://doi.org/10.26760/rekalingkungan.v5i2.%25p>.
- Purnomo, A. et al. 2017. “Synthesis of Zeolite from Rice Husk Ash Waste of Brick Industries as Hydrophobic Adsorbent for Fuel Grade Ethanol Purification.” *Journal of Physics: Conference Series* 909(1).
- Ramadhani, S., A. T. Sutanahaji, and R. Widiatmono. 2013. “Perbandingan Efektivitas Tepung Biji Kelor ( Moringa Oleifera Lamk ), Poly Aluminium Chloride ( PAC ), Dan Tawas Sebagai Koagulan Untuk Air Jernih Effectiveness Comparison of Moringa Seed Flour ( Moringa Oleifera Lamk ), Poly Aluminium Chloride ( PAC ), A.” 1(3): 186–93.
- Rhodes, C. J. 2010. “Properties and Applications of Zeolites.” *Science Progress* 93(3): 223–84.
- Sembiring, M.T. 2003. *Arang Aktif (Pengenalan Dan Proses Pembuatannya)*. Digitized By Usu Digital Librar.
- Suprihatin, S., and N. S. Indrasti. 2011. “Penyisihan Logam Berat Dari Limbah Cair Laboratorium Dengan Metode Presipitasi Dan Adsorpsi.” *MAKARA of Science Series* 14(1).
- Sufra, R., Latifah, L., Susilo, N. A., Adriansyah, E., Wati, L. A., Yulia, A., Syaiful, M., Viareco, H., Marhadi, M., Ghony, M. A., & Herawati, P. (2023). Pemanfaatan Sisa Kulit Kayu sebagai Karbon Aktif dalam Pengolahan Air Lindi Industri Pulp and Paper. *Jurnal Civronlit Unbari*, 8(1), 17. <https://doi.org/10.33087/civronlit.v8i1.106>
- Susana, T. 2009. “Tingkat Keasaman (PH) Dan Oksigen Terlarut Sebagai Indikator Kualitas Perairan Sekitar Muara Sungai Cisdane.” *Indonesian Journal of Urban and Environmental Technology* 5(2): 33.
- Sutapa, I. D.A. 2014. “Perbandingan Efisiensi Koagulan Poly Alumunium Chloride (Pac) Dan

- Alumunim Sulfat Dalam Menurunkan Turbiditas Air Gambut Dari Kabupaten Katingan Provinsi Kalimantan Tengah.” *Jurnal Riset Geologi dan Pertambangan* 24(1): 13.
- Sy, S. et al. 2016. “Adsorpsi Ion Cr (VI) Menggunakan Adsorben Dari Limbah Padat Lumpur Aktif Industri Crumb Rubber.” *Jurnal Litbang Industri* 6(2): 135.
- Syauqiah, I., M. Amalia, and H. A. Kartini. 2011. “Analisis Variasi Waktu Dan Kecepatan Pengaduk Pada Proses Adsorpsi Logam Berat Dengan Arang Aktif.” *Info Teknik* 12(1): 11–20.
- Viareco, H., Adriansyah, E., & Sufra, R. (2023). Potential Sequencing Batch Reactor in Leachate Treatment for Organic and Nitrogen Removal Efficiency. *JURNAL KESEHATAN LINGKUNGAN*, 15(2), 143–151. <https://doi.org/10.20473/jkl.v15i2.2023.143-151>
- Widihati, I. A. G., G. S. U. Mahaputra, and I. W. Suarsa. 2022. “Pemanfaatan Zeolit-Bentonit Sebagai Adsorben Fosfat Dalam Air.” *Jurnal Kimia* 16(2): 198.