

Pengolahan Air Limbah Laboratorium Menggunakan AOPs Secara Terintegrasi

Maria Siswi Wijayanti¹, Tuty Emilia Agustina^{2*}, Muhammad Hatta Dahlan², Dedi Teguh³

¹Program Magister Teknik Kimia, Universitas Sriwijaya, Jl. Srijaya Negara, Bukit Besar, Palembang 30139, Sumatera Selatan, Indonesia

²Jurusan Teknik Kimia, Fakultas Teknik, Universitas Sriwijaya, Jl. Raya Palembang – Prabumulih Km. 32 Indralaya, Ogan Ilir 30662, Sumatera Selatan, Indonesia, email: tuty_agustina@unsri.ac.id

³Program Studi Teknologi Rekayasa Kimia Industri, Jurusan Teknologi Pertanian, Jl. Soekarno Hatta, Rajabasa, Bandar Lampung 35141, Lampung, Indonesia

ABSTRAK

Pemakaian bahan-bahan kimia pada kegiatan praktikum ataupun penelitian di laboratorium tentunya akan menghasilkan air limbah. Air Limbah yang dihasilkan dari laboratorium tergolong limbah berbahaya dan/atau beracun. Berdasarkan zat yang terdapat di dalam air limbah laboratorium secara kolektif serta kurun waktu yang lama apabila langsung dibuang ke badan air akan mencemari lingkungan serta berdampak bagi makhluk hidup disekitarnya. Komposisi limbah laboratorium yang reaktif dan berbahaya karena mengandung logam berat seperti Pb, Fe, Cu dan logam berat lainnya serta COD yang tinggi sehingga sulit terurai di alam. Penelitian ini bertujuan untuk mengolah air limbah laboratorium menggunakan metode *Advanced Oxidation Processes (AOPs)* dengan *pretreatment* koagulasi dan adsorpsi. Penelitian ini diprioritaskan pada penurunan kadar logam berat Pb, Fe, Cu dengan karbon aktif sebagai adsorben dan penurunan COD menggunakan reagen Fenton. Persentase maksimum penurunan logam berat Pb, Fe dan Cu dengan proses Fenton dilanjutkan dengan proses adsorpsi berturut turut sebesar 95,67%, 99,98% dan 99,93% dengan massa optimum adsorben yang digunakan adalah 1,5 gram. Persentase penurunan COD tertinggi tercapai pada rasio molar reagen Fenton 1:1200 yaitu mencapai 99,98%. Hasil penelitian menunjukkan bahwa pengolahan air limbah laboratorium secara terintegrasi melalui serangkaian proses *pretreatment* koagulasi dan adsorpsi dilanjutkan dengan reagen Fenton dan adsorpsi kedua secara terintegrasi telah memenuhi standar baku mutu lingkungan.

Kata kunci: Air Limbah Laboratorium, Koagulasi, Adsorpsi, Reagen Fenton, Logam Berat Pb, Fe, Cu

ABSTRACT

The use of chemicals in practikum activities or research in the laboratory will of course produce wastewater. Wastewater generated from the laboratory is classified as hazardous and/or toxic waste. Based on the substances contained in wastewater collectively and for a long time if it is discharged directly into the environment and has an impact on the surrounding environment. The composition of laboratory waste is reactive and dangerous because it contains heavy metals such as Pb, Fe, Cu and other heavy metals as well as high COD which makes it difficult to decompose in nature. This study aims to treat laboratory wastewater using the *Advanced Oxidation Processes (AOPs)* method with coagulation and adsorption pretreatment. This study focused on reducing the levels of heavy metals Pb, Fe, Cu with activated carbon as adsorbent and reducing COD using Fenton's reagent. The maximum percentage reduction in heavy metals Pb, Fe and Cu with the Fenton process followed by the adsorption process was 95.67%, 99.98% and 99.93%, respectively, with the optimum mass of adsorbent used was 1.5 grams. Meanwhile, the highest percentage of COD reduction of 99,98% was achieved when using the Fenton reagent ratio of 1:1200. The research results show that the integrated wastewater treatment through the pretreatment process of coagulation and adsorption, followed by Fenton's reagent and the second adsorption process, has met the environmental quality standards.

Keywords: Laboratory Wastewater, Coagulation, Adsorption, Fenton's Reagent, Heavy Metal of Pb, Fe, Cu

Citation: Wijayanti, M. S., Agustina, T. E., Dahlan, M. H., dan Dedi, T. (2024). Pengolahan Air Limbah Laboratorium Menggunakan AOPs Secara Terintegrasi. *Jurnal Ilmu Lingkungan*. 22(1), 142-149, doi:10.14710/jil.22.1.142-149.

1. Pendahuluan

Laboratorium merupakan salah satu sarana penunjang kegiatan pendidikan dan penelitian di perguruan tinggi. Aktivitas laboratorium dapat menghasilkan air limbah yang dapat mengakibatkan terjadinya pencemaran lingkungan. Limbah laboratorium dari sisa bahan-bahan kimia yang digunakan saat praktikum dan penelitian yang sudah tidak digunakan lagi atau telah kadaluarsa menurut tanggal produksinya, bahan habis pakai yang pecah atau rusak, sisa sampel, sisa reagen reaksi-reaksi kimia, bahkan air bekas mencuci peralatan (Nurhayati, 2018). Hal ini mengakibatkan limbah yang dihasilkan cukup banyak jumlahnya dan bervariasi tergantung aktivitas yang ada pada limbah laboratorium tersebut (Niken, 2017). Sejauh ini, limbah laboratorium khususnya dari Lembaga Pendidikan langsung dibuang atau hanya ditampung pada wadah tertutup, kemudian dinetralisasi dan dibuang ke badan air. Limbah laboratorium mengandung banyak bahan organik dan anorganik (Audiana dkk., 2017). Banyaknya senyawa organik dan anorganik yang ada di dalam air limbah laboratorium jika langsung dibuang ke lingkungan dapat merusak lingkungan seperti rusaknya struktur tanah, terganggunya keseimbangan ekosistem, serta dapat menyebabkan gangguan kesehatan (Fajri, 2018).

Walaupun hasil buangan air limbah dari kegiatan praktikum terbilang kecil jika dibandingkan dengan limbah industri lainnya, namun dapat menyebabkan terjadinya akumulasi atau penumpukan jumlah residu dari hasil praktikum atau penelitian dan tentu saja hal ini membahayakan makhluk hidup serta lingkungan sekitar. Pada kuantitas tertentu, air limbah dapat mengganggu kesehatan bahkan menyebabkan kematian makhluk hidup, maka perlu ditetapkan batasan-batasan yang diperkenankan dalam lingkungan (Anggraini, 2017).

Berdasarkan Peraturan Pemerintah Republik Indonesia No. 22 tahun 2021, kandungan zat yang terdapat dalam air limbah laboratorium bisa dikategorikan ke dalam limbah bahan berbahaya dan beracun (B3). Kandungan zat organik dan anorganik yang terkandung dalam limbah laboratorium harus memenuhi baku mutu air limbah untuk dapat dibuang ke lingkungan. Kandungan organik dapat meliputi COD, BOD, DO, TSS, dan TDS, sedangkan kandungan anorganik dapat berupa kandungan nutrisi seperti Sulfat, Nitrat, Nitrit, Amoniak dan Fosfat dan logam berat seperti logam Hg, Cr, Zn, Fe, Cd, Pb, Cu, dan logam-logam berat lainnya (Angraini, 2022).

Beberapa alternatif teknologi pengolahan air dan air limbah telah banyak dikembangkan untuk mengatasi permasalahan air limbah seperti proses adsorpsi dengan menggunakan karbon aktif dari ampas tebu (Nurhayati dkk., 2018) ataupun koagulasi dengan penyaringan (Rosyidah, 2018). Pengolahan air limbah dengan metode adsorpsi mempunyai beberapa keunggulan dibandingkan metode lainnya

diantaranya prosesnya ekonomis dan fleksibel, mempunyai kinerja yang baik, ramah lingkungan, serta dapat diregenerasi. Jenis adsorben yang dapat digunakan pada metode adsorpsi cukup banyak seperti abu batu bara, karbon aktif, zeolit, dan tanah liat (Setiawan dkk., 2021).

Karbon aktif adalah bahan yang efektif untuk mereduksi logam berat pada proses pengolahan air limbah (Mariana *et al.*, 2021). Kapasitas adsorpsi yang tinggi dari karbon aktif disebabkan karena ukuran partikel yang kecil, luas permukaan internal besar, dan memiliki valensi bebas yang aktif (Angin, 2017). Karbon aktif mempunyai banyak ruang pori dengan ukuran tertentu dimana partikel dengan ukuran yang sangat halus akan tertangkap dan terjebak di dalamnya.

Salah satu metode dalam mengolah air limbah laboratorium yaitu dengan proses AOPs menggunakan reagen Fenton. Keunggulan pengolahan air limbah dengan proses Fenton yaitu tidak menimbulkan polusi udara sehingga tidak perlu pengolahan gas buang dan membutuhkan energi lebih sedikit daripada proses ozon dan sinar UV (Agustina, 2015). Oksidasi menggunakan reagen Fenton adalah metode oksidasi yang memanfaatkan hidrogen peroksida (H_2O_2) sebagai pengoksidasinya dan Fe^{2+} sebagai katalis yang memiliki kemampuan oksidasi tinggi. Semua proses oksidasi tersebut menghasilkan radikal hidroksil (OH^*) dan merupakan senyawa oksidator yang digunakan untuk mengoksidasi kontaminan yang terkandung dalam air limbah (Fauzi, 2018).

Reagen Fenton memiliki fungsi untuk mendegradasi senyawa atau kontaminan yang sulit terurai dalam suatu air limbah untuk penurunan *Chemical Oxygen Demands* (COD) pada air limbah laboratorium. *Pretreatment* dilakukan untuk menghilangkan *Total Suspended Solids* (TSS) dan logam berat Pb, Fe, dan Cu. Penelitian ini bertujuan untuk mengolah air limbah laboratorium menggunakan salah satu metode *Advanced Oxidation Processes* (AOPs), yaitu Reagen Fenton, dengan *pretreatment* koagulasi dan adsorpsi, dimana pada penelitian ini akan diprioritaskan pada penurunan kadar logam berat Pb, Fe, Cu dengan karbon aktif sebagai adsorben dan penurunan COD menggunakan reagen Fenton.

2. Tinjauan Pustaka

2.1. Air Limbah Laboratorium

Air limbah laboratorium tergolong limbah cair yang merupakan bahan pencemar yang kuat. Proses kegiatan praktikum menghasilkan air limbah dengan pH bervariasi dimana beban pencemaran bergantung dari proses dan senyawa kimia yang digunakan. Sumber utama air limbah laboratorium pada UPT Laboratorium Terpadu Universitas Sriwijaya adalah bahan berbahaya dan beracun serta warna yang pekat, hal ini dikarenakan air limbah laboratorium pada Laboratorium Terpadu ini yaitu limbah cair

dominan yang diperoleh dari proses analisa unsur, gugus fungsi (senyawa amina, asam karboksilat dan aldehid keton), pencampuran reagen dan pembentukan warna (dari amina, anilin, FeCl_3 dan natrium nitroprusida).

Adapun macam-macam limbah laboratorium yaitu terdiri dari logam berat terutama Pb, Cu, Zn, As, Cd, Cr; Pigmen, zat warna dan pelarut organik, Hidrokarbon terhalogenasi; Tensioactive; Limbah Asam; Limbah Basa.

Kandungan maksimal logam berat yang masih diizinkan dalam air limbah sebelum dibuang telah diatur sesuai Peraturan Menteri Lingkungan Hidup Republik Indonesia Nomor 5 Tahun 2014 mengenai Baku Mutu Air Limbah. Untuk air limbah laboratorium mengacu pada standar mutu air limbah bagi usaha dan atau kegiatan yang belum memiliki standar mutu air limbah yang ditetapkan. Pada bagian tersebut ditetapkan bahwa kandungan maksimal logam Pb, Fe, Cu dan COD berturut-turut adalah 0,1 mg/L, 5,0 mg/L, dan 2,0 mg/L, 100 mg/L.

2.2. Koagulasi

Koagulasi yaitu proses kimia untuk menghilangkan bahan pencemar tersuspensi dengan penambahan koagulan seperti Poly Aluminium Chloride (PAC), Aluminium Sulfat (tawas) dan Aluminium Chlorohydrate (ACH) ke dalam air baku dengan kecepatan yang tinggi dalam waktu yang singkat sehingga terjadi pengendapan (Raimon, 2017). Koagulan merupakan bahan kimia yang diperlukan oleh air umpan untuk membantu proses pengendapan partikel-partikel yang berukuran kecil yang tidak dapat mengendap secara gravitasi dengan mengkonidiskan koloid dan materi tersuspensi. Kekeruhan yang terjadi akibat partikel koloid anorganik maupun organik dapat dikurangi dengan menggunakan koagulan (Sisyanreswari, 2014).

Koagulasi bertujuan untuk menurunkan parameter TSS atau mengubah ukuran partikel padatan dalam air umpan yang tidak bisa mengendap menjadi mudah mengendap. Proses ini terjadi karena adanya pencampuran koagulan ke dalam air baku sehingga menyebabkan partikel padatan yang berukuran kecil menjadi lebih berat dan berukuran besar sehingga akan mengendap di bagian bawah.

Pada penelitian ini *pretreatment* koagulasi menggunakan koagulan tawas atau Aluminium Sulfat ($\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3$) yang akan mengendapkan partikel koloid yang ada dalam air limbah laboratorium. Ketika dalam air limbah, Aluminium Sulfat akan terdispersi menjadi dispersi koloid bermuatan positif dan akan mengikat partikel koloid lainnya yang bermuatan negatif. Dalam penjernihan air limbah, ion Al^{3+} pada tawas akan mengikat dan mengendapkan fosfat (Setyawati, 2018).

2.3. Adsorpsi

Adsorpsi merupakan proses transfer massa yang terjadi pada permukaan pori-pori dalam bentuk

butiran adsorben. Air Limbah yang mengandung Fe pada konsentrasi yang sangat rendah dapat dihilangkan melalui proses adsorpsi. Pengolahan air limbah dengan proses adsorpsi berfungsi dalam menurunkan kadar logam Fe, Cu dan logam Pb (Priambodo, 2019). Adanya interaksi ion logam dengan gugus fungsional menjadi dasar terjadinya proses adsorpsi. Proses adsorpsi dimulai dari proses interaksi pembentukan kompleks dan pada umumnya terjadi pada permukaan padatan yang memiliki gugus fungsional seperti $-\text{OH}$, $-\text{NH}$, $-\text{SH}$, dan $-\text{COOH}$ (Angraini, 2022).

Penambahan adsorben pada berbagai variasi dosis mempengaruhi proses adsorpsi (Raziah dkk, 2017). Pori-pori yang terdapat di adsorben biasanya berukuran sangat kecil, sehingga luas permukaan bagian dalam menjadi lebih besar (Widayatno, 2017). Semakin besar penambahan dosis adsorben dapat mengakibatkan terbentuknya agregat dari partikel hingga luas permukaan adsorben menurun dan efisiensi adsorpsi juga menurun (Sari, 2014).

Diantara beberapa teknik pengolahan air limbah yang mengandung logam berat, teknik adsorpsi merupakan teknik pengolahan yang paling efektif dan potensial untuk menghilangkan kandungan logam berat yang terkandung pada limbah industri (Lakherwal, 2014). Selain itu, Dula dan Nefo (2019), dalam penelitiannya juga merekomendasikan teknik adsorpsi untuk mengurangi kandungan logam berat baik dengan menggunakan adsorben kimia ataupun biologi.

2.4. Karbon Aktif

Karbon aktif merupakan salah satu adsorben yang diperoleh dari bahan yang mengandung karbon yang telah mendapatkan perlakuan khusus sehingga mempunyai daya serap yang tinggi dengan luas permukaan antara 100 – 2000 m^2/g (Angraini, 2022). Karbon aktif mempunyai kemampuan untuk mengadsorpsi gas serta senyawa-senyawa kimia secara selektif tergantung dari besarnya volume pori-pori dan luas permukaan. Karbon aktif sebagai pemucat biasanya digunakan untuk memisahkan bahan-bahan pengganggu dalam fase cair dan umumnya berbentuk serbuk halus dengan diameter pori 1000 Å. Karbon aktif sebagai penyerap uap, digunakan sebagai katalis dan untuk pemurnian gas pada fase gas. Karbon aktif ini umumnya berbentuk granul atau pelet dengan diameter pori 10-200 Å (Ramadhani dkk., 2020). Dilihat dari bentuknya, karbon aktif dibedakan menjadi 3 yaitu karbon aktif yang berbentuk serbuk, granul dan pelet (Ibrahim, 2014).

2.5. Advanced Oxidation Processes (AOPs)

AOPs secara khusus merupakan proses pembentukan dan penggunaan radikal bebas hidroksil (OH^\bullet) yang berfungsi sebagai oksidator kuat untuk menguraikan senyawa-senyawa yang tidak dapat dioksidasi oleh oksidator konvensional seperti

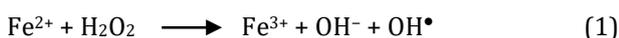
oksigen, ozon dan chlorine. Teknologi AOPs atau sering disebut juga proses oksidasi lanjut dalam arti luas merupakan rangkaian prosedur pengolahan secara kimia yang dirancang untuk menguraikan senyawa organik dalam air dan air limbah (*Chemical Oxygen Demand*) dengan proses oksidasi melalui reaksi dengan radikal hidroksil (Deng, 2015).

Aplikasi proses AOPs sering digunakan pada pengolahan air limbah dan lebih khusus mengacu pada proses kimia dan merupakan salah satu alternatif teknologi pengolahan limbah yang sederhana, ekonomis, aman, hemat tempat dan energi, biaya murah, proses pengolahan cepat, efektif, mudah dalam pengoperasiannya dan perawatannya yang tidak sulit (Mermaliandi, 2015). Kelebihan lain dari teknologi AOPs adalah mampu menguraikan kontaminan berbahaya yang bersifat sulit terurai dalam air limbah melalui proses oksidasi (Dwiasi, 2018).

AOPs berbeda dari proses pengolahan lain, dimana dalam AOPs komponen dalam air limbah didegradasi dan bukan dipindah menjadi fase lain. Pada proses ini tidak terbentuk buangan sekunder dan tidak diperlukan pembuangan atau regenerasi material, namun melibatkan pembentukan dan pemanfaatan radikal hidroksil sebagai oksidator kuat. Meningkatnya penggunaan air dan peraturan yang lebih ketat mengenai pencemaran air mengharuskan penggunaan AOPs semakin meningkat. Secara umum bila diterapkan dalam kondisi yang benar AOPs dapat mengurangi konsentrasi kontaminan dari beberapa ratusan ppm menjadi kurang dari 5 ppm dan karena itu secara signifikan dapat menurunkan nilai COD dan TOC. Salah satu metode AOPs yang terkenal adalah reagen Fenton.

2.6. Reagen Fenton

Reagen Fenton adalah campuran larutan yang terdiri dari hidrogen peroksida (H_2O_2) dan besi (Fe^{2+}) yang mempunyai kemampuan oksidasi tinggi dalam mengoksidasi polutan dalam air limbah. Reagen Fenton mampu mendegradasi polutan/kontaminan yang sukar terurai dalam suatu air limbah, dimana proses yang terjadi pada reagen Fenton merupakan proses oksidasi. Reaksi oksidasi ini adalah reaksi kompleks yang melibatkan dekomposisi H_2O_2 melalui katalis Fe^{2+} . Dimana Fe^{2+} akan menginisiasi dan mengkatalisis reaksi dekomposisi H_2O_2 sehingga terbentuk radikal hidroksil (OH^\bullet) sesuai dengan persamaan reaksi:



Radikal hidroksil (OH^\bullet) yang terbentuk bereaksi dengan cepat pada lingkungan air dalam suasana asam. Kondisi optimum pada reaksi oksidasi Fenton telah diamati berada pada lingkungan asam yaitu pada pH 3-5. Pada pH yang lebih kecil efektifitas dari penghilangan kontaminan organik akan turun karena terjadi dekomposisi H_2O_2 dan konsentrasi ion H^+ menjadi tinggi (Deng, 2015).

3. Metode Penelitian

3.1. Bahan

Bahan-bahan yang digunakan antara lain adalah tawas ($Al_2(SO_4)_3$), karbon aktif, NaOH, H_2SO_4 , H_2O_2 , $FeSO_4 \cdot 7H_2O$, $Na_2S_2O_3 \cdot 5H_2O$, kertas saring whatman, dan aquades.

Air limbah laboratorium berasal dari air limbah UPT Laboratorium Terpadu Universitas Sriwijaya.

3.2. Prosedur Penelitian

Air limbah laboratorium diuji terlebih dahulu kandungan logam berat Pb, Fe, Cu, COD, pH dan TSS.

3.2.1. Pretreatment Koagulasi

Air limbah laboratorium sebanyak 150 mL dimasukkan ke dalam gelas kimia 1 liter dan ditambahkan koagulan tawas dengan konsentrasi 80 ppm. Pengadukan dilakukan dengan putaran cepat 150 rpm dengan pengaduk mekanik selama 10 menit lalu melakukan pengadukan secara lambat dengan kecepatan 50 rpm selama 10 menit kemudian disaring. Selanjutnya analisa penurunan COD, pH, TSS, Fe, Cu, dan Pb.

3.2.2. Pretreatment Adsorpsi I

Air limbah sebanyak 150 mL dari hasil *pretreatment* koagulasi dimasukkan ke dalam gelas kimia 1 liter, kemudian dimasukkan 0,5 gr karbon aktif ke dalam gelas kimia. Dilakukan pengadukan selama 2 jam menggunakan pengaduk mekanik dengan kecepatan 200 rpm. Prosedur diulangi untuk variasi massa adsorben (1; 1,5; dan 2) gr. Selanjutnya analisa penurunan COD pH, TSS, Fe, Cu, dan Pb.

3.2.3. Reagen Fenton

Air limbah sebanyak 150 mL dari hasil *pretreatment* adsorpsi 1 dimasukkan ke dalam gelas kimia 1000 mL, pH diatur menjadi pH 3 dengan menambahkan NaOH 0,1 M atau H_2SO_4 0,1 M. Kemudian reagen Fenton sebanyak 15 ml ditambahkan dengan rasio molar $FeSO_4 \cdot 7H_2O$ dan larutan H_2O_2 adalah 1:100. Mengaduk larutan selama (0, 10, 20, 40, 60) menit dengan pengaduk mekanik. Setelah pengadukan satu jam tambahkan 1 ml $Na_2S_2O_3 \cdot 5H_2O$ 1N, kemudian disaring guna memisahkan endapan dengan menggunakan kertas saring. Melakukan prosedur yang sama untuk rasio molar reagen Fenton 1:300, 1:600, 1:900, dan 1:1200. Selanjutnya analisa penurunan COD, pH, TSS, Fe, Cu, dan Pb.

3.2.4. Proses Adsorpsi 2

Air limbah sebanyak 150 mL hasil dari proses Fenton kemudian dimasukkan ke dalam gelas kimia 1000 mL, kemudian tambahkan massa karbon aktif optimum yaitu 1,5 gr ke dalam gelas kimia. Pengadukan dilakukan selama 2 jam menggunakan pengaduk mekanik pada kecepatan pengadukan 200 rpm.

3.2.5. Analisa

Sampel hasil proses adsorpsi 2 selanjutnya dianalisa penurunan COD, pH, TSS, Fe, Cu, dan Pb. untuk menganalisa kandungan logam berat digunakan *Atomic Absorption Spectrophotometer* (AAS).

4. Hasil dan Pembahasan

4.1. Pengaruh *Pretreatment* Koagulasi Terhadap Parameter Uji

Tabel 1 menunjukkan bahwa penggunaan koagulan tawas pada konsentrasi 80 ppm secara signifikan dapat menurunkan nilai TSS dari 2000 mg/L menjadi 6 mg/L atau sebesar 99,70 %. Hal ini disebabkan karena tawas adalah koagulan yang mampu mengendapkan partikel koloid yang ada dalam air limbah. Dalam penjernihan air limbah, ion Al^{3+} pada tawas akan mengikat dan mengendapkan fosfat. Sebagai koagulan, tawas sangat efektif dalam proses pengendapan partikel koloid dan suspensi pada air limbah (Setyawati, 2018).

Tabel 1. Hasil Analisa *Pretreatment* Koagulasi pada Konsentrasi Koagulan 80 ppm

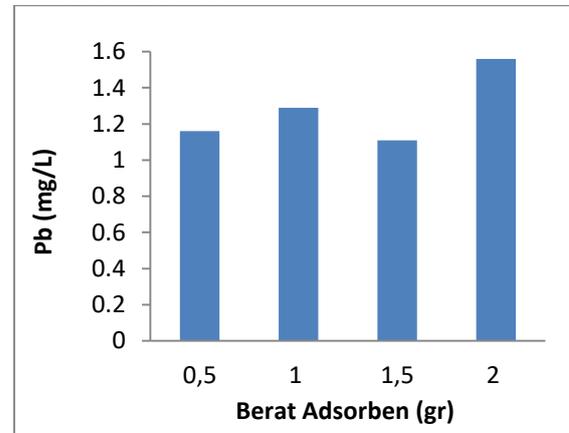
No	Parameter Uji	Baku Mutu	Analisa Awal	Hasil Analisa
1	COD (mg/l)	100 - 300	420,500	850
2	pH	6 - 9	5,26	0,68
3	TSS (mg/l)	200 - 400	2000	6
4	Pb (mg/l)	0,1 - 1	0,97	1,5
5	Fe (mg/l)	5 - 10	119,91	168,85
6	Cu (mg/l)	2 - 3	44,68	37,98

Proses ini terjadi dikarenakan adanya pencampuran koagulan ke dalam air baku sehingga mengakibatkan partikel padatan yang berukuran kecil menjadi berukuran besar dan menjadi lebih berat karena proses koagulasi bertujuan untuk menurunkan parameter TSS atau mengubah partikel padatan yang ada di dalam air proses yang tidak mampu mengendap menjadi mudah mengendap.

Parameter uji lainnya terjadi penurunan yang signifikan, seperti kandungan COD dan pH. Penurunan COD dimungkinkan karena kandungan polutan organik yang ikut terkoagulasi dan mengendap. Menurunnya pH disebabkan karakteristik tawas sendiri yang mengandung asam sulfat. Kandungan unsur logam Pb dan Fe justru mengalami sedikit kenaikan. Hal ini kemungkinan disebabkan penggunaan tawas teknis yang masih mengandung *trace* beberapa unsur logam, diantaranya Fe dan Pb. Kandungan logam Cu mengalami sedikit penurunan, karena karbon aktif sudah mencapai kesetimbangan atau dengan kata lain telah mencapai kondisi optimum, maka karbon aktif akan jenuh yang mengakibatkan terjadinya penurunan kapasitas terhadap adsorpsi logam ini (Supraptiah, 2014). Dari *pretreatment* koagulasi ini, selain COD dan pH, ketiga unsur logam yang dianalisa setelah proses koagulasi, belum sesuai dengan baku mutu sebagaimana dapat dilihat dalam Tabel 1. Oleh karenanya masih diperlukan pengolahan lebih lanjut agar hasil

treatment nantinya dapat memenuhi standar baku mutu lingkungan.

4.2. Pengaruh *Pretreatment* Adsorpsi I Terhadap Kandungan Logam Berat Pb dengan Variasi Berat Adsorben



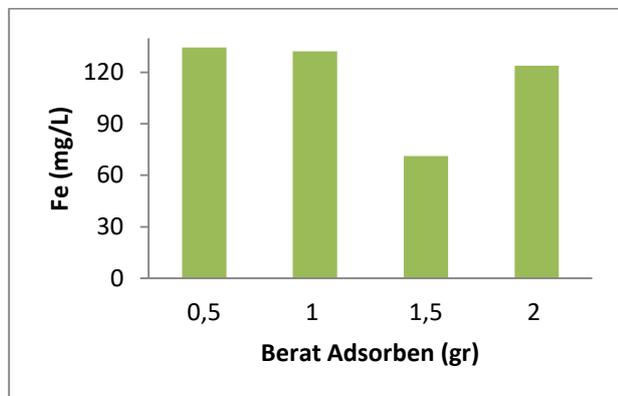
Gambar 1. Pengaruh Berat Adsorben Terhadap Kandungan Logam Berat Pb

Karbon aktif memiliki pori-pori dengan ruang pori yang sangat banyak. Pori-pori tersebut akan menyerap partikel-partikel yang berukuran sangat halus seperti logam berat dan menjebakannya pada pori-pori tersebut. Proses Penyerapan ini akan sangat efektif dalam menghilangkan kandungan logam berat. Karena logam berat akan diikat dan ditarik sehingga melekat pada permukaan pori-pori akibat adanya daya fisik dan reaksi kimia. Adsorpsi logam berat Pb akan terjadi hingga tercapai titik keseimbangan dimana proses adsorpsi tidak akan terjadi lagi atau berhenti walaupun dosis karbon aktif ditingkatkan (Alkherraz, 2020). Pada **Gambar 1** menunjukkan bahwa penurunan kandungan logam Pb optimum tercapai pada berat adsorben 1,5 gr dan pada berat adsorben 2 gr mengalami kenaikan, hal ini disebabkan karena karbon aktif sudah mencapai kesetimbangan atau dengan kata lain telah mencapai kondisi optimum maka karbon aktif akan jenuh yang mengakibatkan terjadinya penurunan kapasitas terhadap adsorpsi logam Pb (Supraptiah, 2014).

4.3. Pengaruh *Pretreatment* Adsorpsi I Terhadap Kandungan Logam Berat Fe dengan Variasi Berat Adsorben

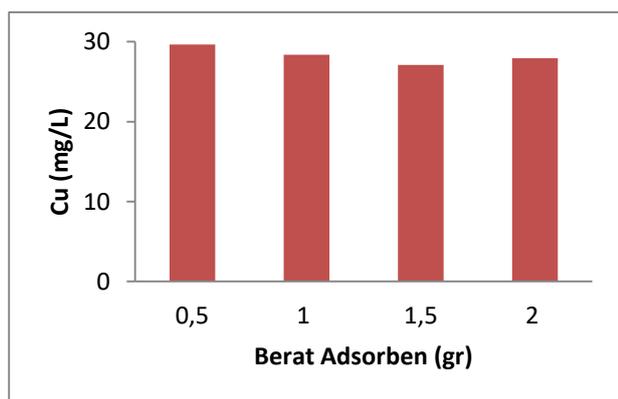
Logam berat (Fe) adalah logam dengan valensi dua dan umumnya terdapat dalam air limbah. Kandungan Logam berat (Fe) dalam air limbah dapat menyebabkan terjadinya kekeruhan, kesadahan, dan korosi pada air. Penyisihan logam berat Fe pada berbagai berat adsorben ditampilkan pada **Gambar 2**. Dari Gambar 2 dapat dilihat bahwa adsorpsi Fe terbaik dicapai pada berat adsorben 1,5 gr dan pada berat adsorben 2 gr terjadi proses desorpsi akibat permukaan adsorben yang telah jenuh (Masriatini, 2018). Penambahan sejumlah adsorben tidak lagi menyerap logam Fe atau dapat juga dikatakan bahwa

jumlah adsorben sudah jenuh terhadap adsorbat (Mandal et al., 2021). Hal ini terjadi karena semakin besar penambahan dosis adsorben dapat mengakibatkan terbentuknya agregat dari partikel hingga luas permukaan adsorben menurun dan efisiensi adsorpsi juga menurun (Sari dan Tuzen, 2014).



Gambar 2. Pengaruh Berat Adsorben Terhadap Kandungan Logam Berat Fe

4.4. Pengaruh Pretreatment Adsorpsi I Terhadap Kandungan Logam Berat Cu dengan Variasi Berat Adsorben



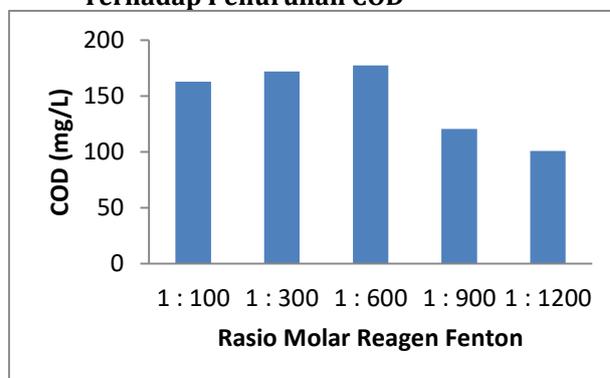
Gambar 3. Pengaruh Berat Adsorben Terhadap Kandungan Logam Berat Cu

Pada Gambar 3, Adsorpsi ion Cu^{2+} yang terbaik didapat pada penggunaan 1,5 gr adsorben. Hal ini disebabkan karena pada karbon aktif terdiri atas lapisan paralel berbentuk cincin-cincin heksagonal, dimana antar lapisan masing-masing terhubung oleh suatu gaya yang disebut dengan gaya van der Waals. Semakin banyak jumlah adsorben maka semakin besar pula pori-pori dan luas permukaan. Jumlah adsorbat yang terserap menurun terjadi pada berat adsorben 2 gr, hal ini terjadi karena situs aktif pada permukaan karbon aktif sudah jenuh, hal ini menunjukkan bahwa adanya keterbatasan adsorben dalam mengadsorpsi adsorbat yaitu logam Cu (Islamiyah, 2014).

Seiring bertambahnya waktu kontak adsorpsi, maka jumlah ion Cu akan mengalami penurunan. Hal ini terjadi karena semakin lama waktu adsorpsi maka kesempatan pengikatan logam Cu oleh karbon aktif

semakin banyak. Menurut Duan (2020), adsorpsi logam berat oleh karbon aktif terjadi karena didalam karbon aktif mengandung abu, air, nitrogen, dan sulfur. Hal ini menyebabkan karbon aktif mampu menyerap logam berat Cu lebih besar dengan bertambahnya waktu adsorpsi.

4.5. Pengaruh Rasio Molar Reagen Fenton Terhadap Penurunan COD



Gambar 4. Pengaruh Rasio Molar Reagen Fenton Terhadap Penurunan COD

Pada Gambar 4 terlihat bahwa persentase penurunan COD tertinggi tercapai pada rasio molar reagen Fenton 1:1200 yaitu mencapai 99,98 % sedangkan untuk rasio molar Fenton 1:100, 1:300, 1:600, dan 1:900, berturut-turut mencapai 90,5%, 64%, 66,67% dan 99,97% dengan waktu pengadukan 60 menit. Dari persentase penurunan COD tersebut menunjukkan bahwa semakin tinggi rasio molar Fenton maka semakin besar persentase penurunan COD yang tercapai. Hal ini terjadi karena semakin tinggi rasio molar Fenton maka semakin banyak pula radikal hidroksil (OH^\bullet) yang terbentuk melalui proses oksidasi mampu mengoksidasi polutan organik sehingga menurunkan nilai COD. Penurunan nilai COD yang tinggi terjadi karena adanya proses oksidasi oleh hidrogen peroksida (H_2O_2) yang membentuk radikal hidroksil (OH^\bullet) dengan bantuan katalis besi (Fe^{2+}), dimana radikal hidroksil (OH^\bullet) yang terbentuk akan memecah ikatan rangkap baik zat organik maupun anorganik yang terkandung di dalam air limbah menjadi karbondioksida (CO_2) dan air (H_2O) (Agustina, 2015).

4.6. Proses Fenton dengan pretreatment koagulasi dan adsorpsi dilanjutkan Adsorpsi Secara Terintegrasi

Tabel 2 menunjukkan bahwa persentase maksimum penurunan logam berat Pb, Fe, Cu serta COD pada proses Fenton dengan pretreatment koagulasi dan adsorpsi, dilanjutkan dengan proses adsorpsi kedua berturut-turut sebesar 95,67%, 99,98 %, 99,93 % dan 99,98%. Hal ini disebabkan karena kandungan logam berat sebagian besar telah berhasil disisihkan pada proses adsorpsi I kemudian dilakukan treatment lanjutan dengan proses Fenton dan adsorpsi kedua secara terintegrasi untuk memaksimalkan kembali penyisihan kandungan

logam berat tersebut. Pengolahan air limbah yang mengandung logam berat Pb, Fe, Cu, TSS dan COD dengan reagen Fenton kemudian diteruskan dengan proses adsorpsi menggunakan adsorben karbon aktif mampu menurunkan kadar Logam berat Pb, Fe, Cu, TSS dan COD pada air limbah Laboratorium Terpadu Universitas Sriwijaya. Kenaikan pH setelah proses pengolahan keseluruhan yang menyebabkan air limbah hasil *treatment* menjadi basa, dapat dinetralkan terlebih dahulu sebelum air limbah dibuang, di antaranya dengan memanfaatkan air hujan yang ditampung.

Tabel 2. Hasil Analisa Proses Fenton dengan *pretreatment* koagulasi dan Adsorpsi Secara Terintegrasi

No	Parameter Uji	Baku Mutu	Analisa Awal	Adsorpsi II
1	COD (mg/l)	100 - 300	420,500	101
2	pH	6 - 9	5,26	9,96
3	TSS (mg/l)	200 - 400	2000	6
4	Pb (mg/l)	0,1 - 1	0,97	0,04
5	Fe (mg/l)	5 - 10	119,91	0,02
6	Cu (mg/l)	2 - 3	44,68	0,03

5. Kesimpulan

Dari hasil penelitian dapat disimpulkan bahwa *pretreatment* koagulasi mampu menurunkan nilai TSS sebesar 99,70 %. *Treatment* menggunakan AOPs dengan rasio molar reagen Fenton 1:1200 mampu menurunkan COD sebesar 99,97%. Persentase maksimum penurunan logam berat Pb, Fe dan Cu dengan proses Fenton yang dilanjutkan dengan adsorpsi kedua, berturut turut sebesar 95,67%, 99,98 % dan 99,93 %. Penelitian ini menggunakan reagen Fenton yang melibatkan katalis Fe. Penggunaan katalis Fe dengan konsentrasi yang cukup tinggi akan membuka kemungkinan bertambahnya kadar Fe dalam hasil *treatment*, hal ini diatasi dengan adsorpsi tahap kedua setelah *treatment*.

6. Ucapan Terima Kasih

Penulis mengucapkan terima kasih kepada UPT Laboratorium Terpadu Universitas Sriwijaya, Laboratorium Pengujian Terpadu FMIPA Universitas Sriwijaya, dan Balai Besar Laboratorium Kesehatan Palembang. Penelitian/publikasi artikel ini dibiayai dari Anggaran DIPA Badan Layanan Umum Universitas Sriwijaya Tahun Anggaran 2021. Nomor SP DIPA023.17.2.677515/2021, tanggal 23 November 2020. Sesuai dengan SK Rektor Universitas Sriwijaya No.0014/UN9/SK.LP2M.PT/2021 tanggal 25 Mei 2021.

Daftar Pustaka

Alkherraz, A.M., Ali, A.K., and K. M. Elsharif. 2020. Removal of Pb (II), Zn (II), Cu (II) and Cd (II) from Aqueous Solutions by Adsorption onto Olive Branches Activated Carbon: Equilibrium and Thermodynamic Studies. *Chemistry International*. 6(1), 11-20.

Agustina, T. E., Mermaliandi, F., and Anugrah, Y. J. 2015. Pengaruh Konsentrasi, Waktu Reaksi, dan Rasio Molar pada Pengolahan Pewarna Sintetik Procion

Red Menggunakan Foto-Fenton. Laporan Penelitian Teknik Kimia, Universitas Sriwijaya.

Angin, D., and Sarikulce, S. 2017. The Effect of Activation Temperature on Properties of Activated Carbon Prepared from Wine Industry Pressing Waste. *Desalination and Water Treatment*. 73, 373-379.

Angraini, N., Agustina, T. E., dan Hadiyah, F. 2022. Pengaruh pH dalam Pengolahan Air Limbah Laboratorium Dengan Metode Adsorpsi untuk Penurunan Kadar Logam Berat Pb, Cu, dan Cd. *Jurnal Ilmu Lingkungan*, Program Studi Ilmu Lingkungan Sekolah Pascasarjana UNDIP, Vol. 20, Issue 2.

Anggarini, N. H. 2017. Identifikasi, Karakterisasi, Dan Solusi Alternatif Pengelolaan Limbah Laboratorium Kimia, Seminar Nasional Riset Inovatif 2017 ISBN: 978-602-6428-11-0.

Audiana, M., Apriani, I., dan Kadaria, U. 2017. Pengolahan Limbah Cair Laboratorium Teknik Lingkungan dengan Koagulasi dan Adsorpsi untuk Menurunkan COD, Fe, dan Pb. *Jurnal Teknologi Lingkungan Lahan Basah*. 5(1) 1-10.

Deng, Y. and Zhao, R. 2015. *Advanced Oxidation Processes (AOPs) in Waste Water*. Springer Internasional Publishing. USA.

Dula, T., and Nefo, T. 2019. Removal Methods of Heavy Metals from Laboratory Wastewater. *Journal of Natural Sciences Research*. 9(2).

Duan, C., Ma, T., Wang, J., and Zhou, Y. 2020. Removal of Heavy Metals from Aqueous Solution Using Carbon-Based Adsorbents: A Review. *Journal of Water Process Engineering* 37, 101339.

Dwiasi, D. W., Setyaningtyas, T., dan Riyani, K. 2018. Penurunan Kadar Metilen Biru Dalam Limbah Batik Sokaraja Menggunakan Sistem Fe₂O₃-H₂O₂-UV. *Jurnal Rekayasa Kimia dan Lingkungan* Vol. 13, No. 1, Hlm. 78 - 86, 2018 ISSN 1412-5064, e-ISSN 2356 -1661.

Fajri, A. 2018. Pengolahan Limbah Laboratorium Kimia dengan Sistem Penyaringan Sederhana. *Journal of Sainstek*.

Fauzi, A. R. dan Agung, R.T. 2018. Kombinasi Fenton dan Fotokatalis sebagai Alternatif Pengolahan Limbah Batik. *Jurnal Envirotek*, 10(1).

Ibrahim, Martin, A., dan Nasruddin. 2014. Pembuatan dan Karakterisasi Karbon Aktif Berbahan Dasar Cangkang Sawit dengan Metode Aktivasi Fisika Menggunakan Rotary Autoclave. *Jom FTEKNIK* Vol.1, No. 2.

Islamiyah, S. N., Koestiari, T. 2014. Penggunaan Karbon Aktif Granular sebagai Adsorben Logam Cu (II) di Air Laut Kenjeran. *UNESA Journal of Chemistry*, Vol. 3, No. 3.

Lakherwal, D. 2014. Adsorption of Heavy Metals: A Review. *Internasional Journal of Environmental Research and Development*. ISSN 2249-3131 4(1), 41-48.

Mandal, S., Calderon, J., Marpu, S.B., Omary, M.A., and Shi, S.Q. 2021. Mesoporous Activated Carbon as A Green Adsorbent for the Removal of Heavy Metals and Congo Red: Characterization, Adsorption Kinetics, and Isotherm Studies. *Journal of Contaminant Hydrology*. 243. 103869.

Masriatini, R. dan Fatimura, M. 2018. Pemanfaatan Karbon Aktif sebagai Penyerap ion Besi. *Jurnal Universitas PGRI*, Vol. 5.

Mariana, Khalil, A.H.P.S., Mistar, E.M., Yahya, E.B., Alfatah, T., Danish, M., and Amayreh, M. 2021. Recent Advances in Activated Carbon Modification

- Techniques for Enhanced Heavy Metal Adsorption. *Journal of Water Process Engineering*. 43. 102231.
- Mermaliandi, F. dan Yourdan, Y. J. 2015. Pengaruh Konsentrasi, Waktu Reaksi dan Rasio Molar pada Pengolahan Pewarna Sintetis Procion Red Menggunakan Foto-Fenton. Laporan Penelitian Teknik Kimia, Universitas Sriwijaya. Palembang.
- Nurhayati, I., Sugito, dan Pertiwi, A. 2018. Pengolahan Limbah Cair Laboratorium dengan Adsorpsi dan Pretreatment Netralisasi dan Koagulasi. *Jurnal Sains dan Teknologi Lingkungan*. 10(2).
- Priambodo, A. N., Wijayanto, A. A., dan Udyani, K. 2019. Pengolahan Limbah Industri Batik Tulis dengan Metode Gabungan Adsorpsi dan Elektrokoagulasi. Seminar Nasional Sains dan Teknologi Terapan VII, Institut Teknologi Adhi Tama Surabaya. ISSN (print): 2686-0023, ISSN (online): 2685-6875.
- Raimon., Said M. 2017. Laboratory effluent Treatment by Using Coagulant Alum sulphate and Poly Aluminium Chloride (PAC). *Indonesian Journal of Fundamental and Applied Chemistry*.
- Ramadhani, L.F., Nurjanah, I. M., Yulistiani, R., dan Saputro, E. A. 2020. Review: Teknologi Aktivasi Fisika pada Pembuatan Karbon Aktif dari Limbah Tempurung Kelapa. *Jurnal Teknik Kimia*. 26(2).
- Raziah, C., Putri, Z., Lubis, A.R., Sofyana, Zuhra, Suhendrayatna, dan Mulyati, S. 2017. Penurunan Kadar Logam dalam Air Kadmium Menggunakan Adsorben Zeolit Alam Aceh. *Jurnal Teknik Kimia USU*, 6 (1), 1-6.
- Rosyidah, A., Purwanti, E. 2018. Pemanfaatan Limbah Aluminium sebagai Koagulan dalam Pengolahan Limbah Cair dan Penjernihan Air. *IPTEK Journal of Proceedings Series*
- Sari, A., and Tuzen, M. 2014. Cd (II) Adsorption from Aqueous Solution by Raw and Modified Kaolinite. *Applied Clay Science* 88-89. 63-72.
- Setiawan, A., Rahmadania, A.N., dan Mayangsari, N.E. 2021. Adsorpsi Cu (II) Menggunakan Zeolit Sintetik Kombinasi Abu Terbang dan Abu Dasar dengan Variasi Waktu Aging. *Jurnal Riset Teknologi Industri* 15 (1).
- Setyawati, H. 2018, Penerapan Penggunaan Serbuk Biji Kelor sebagai Koagulan pada Proses Koagulasi Flokulasi Limbah Cair Pabrik Tahu di Sentra Industri Tahu Kota Malang. *Jurnal Teknik Industri ITN Malang*, Vol. 8, No. 1.
- Sisyanreswari, H., Oktawan, W., dan Rezagama, A. 2014, Penurunan TSS, COD, dan Fosfat pada Limbah Laundry Menggunakan Koagulan Tawas dan Media Zeolit. *Jurnal Teknik Lingkungan Universitas Diponegoro, Semarang*.
- Supraptiah, E., Ningsih, A.S., Fatria, dan Amalia, U. 2014. Penyerapan Logam Pb dengan Menggunakan Karbon Aktif dari Cangkang Kemiri sebagai Adsorben. *Jurnal Kinetika*, Volume 5 Hal 9-13, ISSN 1693-9050.
- Widayatno, T. 2017. Adsorpsi Logam Berat (Pb) Dari Limbah Cair Dengan Adsorben Arang Bambu Aktif. *Jurnal Teknologi Bahan Alam* Vol. 1 No. 1