

PENURUNAN KADAR BESI (Fe), KROMIUM (Cr), COD DAN BOD LIMBAH CAIR LABORATORIUM DENGAN PENGECERAN, KOAGULASI DAN ADSORPSI

Indah Nurhayati*, Sela Vigiani, dan Dian Majid

Fakultas Teknik Sipil dan Perencanaan, Universitas PGRI Adi Buana Surabaya

*Email: indahnurhayati@unipasby.ac.id

ABSTRACT

REDUCTION OF IRON, CHROMIUM, COD, AND BOD CONCENTRATIONS OF LABORATORY LIQUID WASTE WITH DILUTION, COAGULATION, AND ADSORPTION

The aims of this work is to perform the effect of flowrate and operating time on decreasing of Fe, Cr, COD, BOD concentrations, assessing the quality of wastewater after being treated with dilution, neutralization, coagulation and adsorption techniques, especially for parameters such as Cr, Fe, COD, BOD and pH. The variables in this study are the waste water flow that is 100 mL / min and 140 mL / min, with operating time for 60 min. The adsorption process is carried out continuously with down flow. Adsorbents in the form of activated zeolite and activated carbon are arranged in stages in a PVC reactor. The results of this study are 100 ml/min discharge can reduce most of Fe concentration. The discharge of 100 ml/min can reduce Fe by 99.94% from $1,768 \pm 1.14$ mg / L to 0.98 ± 0.03 mg/L and chrome by 99.07% from 48.35 ± 0.49 mg/L to 0.39 ± 0.00 mg/L, COD 99.17% from 35.455 ± 2.1 mg/L to 286 ± 1.4 mg/L, BOD 99% from 15.052 ± 13.5 mg/L to 149.5 ± 2.1 mg/L, pH 7.05 - 7.25. The discharge of 140 ml/min can reduce Fe by 99.94% from $1,768 \pm 1.14$ mg/L to 0.99 ± 0.03 mg/L and chrome 99.07% from 48.35 ± 0.49 mg/L to 0.45 ± 0.00 mg/L, COD 99.08% from 35.485 ± 2.1 mg/L to 325.25 ± 2.12 mg/L, BOD 98% from 15.052 ± 13.5 mg/L to 160.5 ± 0.70 mg/L, pH 6.95 - 7.25. The quality of wastewater after being treated have met the quality standard in accordance with the Minister of Environment Regulation No. 5 of 2014.

Keywords: Adsorption; Coagulation; Dilution; Laboratory Waste.

1. PENDAHULUAN

Laboratorium dalam suatu lembaga pendidikan merupakan tempat untuk melakukan praktikum, penelitian dan pengujian sampel. Kegiatan di dalam laboratorium mulai dari persiapan penelitian, praktikum dan pengujian sampel menggunakan reagen kimia. Reagen kimia yang sering digunakan adalah zat yang mengandung senyawa organik, anorganik, logam berat, bersifat asam, basa, iritatif, reaktif dan bersifat racun (Nurhayati *et al.*, 2018).

Laboratorium Teknik Lingkungan masih sedikit yang melakukan pengolahan sehingga zat kimia yang digunakan di dalam laboratorium langsung dibuang menjadi

limbah cair laboratorium. Limbah cair laboratorium jika dilihat dari jumlahnya sedikit tetapi termasuk kategori limbah B3 (Nurhayati *et al.*, 2018). Senyawa yang terkandung dalam limbah cair laboratorium antara lain Timbal (Pb), Krom (Cr), Besi (Fe), Perak (Ag). Hasil penelitian pendahuluan, menunjukkan bahwa limbah laboratorium TL UNIPA khususnya limbah cairnya mempunyai karakteristik sebagai berikut, kandungan Fe = $1.810 \pm 0,21$ mg/L, Cr = $50,7 \pm 0,21$ mg/L, Pb = $6,06 \pm 1,4$ mg/L, *Total Dissolved Solid* (TDS) = $14.874 \pm 1,14$ mg/L, pH = $2,60 \pm 00$, *Total Suspended Solid* (TSS) = $601 \pm 1,14$ mg/L, *Chemical Oksigen Demand* (COD) $37.669 \pm 2,1$ mg/L dan *Biological Oksigen Demand* (BOD) $16.502 \pm 1,14$ mg/L. Dilihat dari karakteristiknya, limbah cair Laboratorium TL UNIPA Surabaya belum

memenuhi PerRMen LH No. 5 Tahun 2014 mengenai baku mutu air limbah. Jika tidak dilakukan proses pengolahan limbah cair laboratorium lebih lanjut maka dapat mencemari lingkungan sekitar (Raimon, 2011).

Limbah cair yang mengandung besi terlarut dalam bentuk Ferro (Fe^{2+}). Besi dalam bentuk Ferro mudah teroksidasi menjadi besi dalam bentuk Ferri (Fe^{3+}) dengan adanya oksigen di udara (Febrina and Ayuna, 2015). Bakteri *Crenothrix* dan *Gallionella* dapat memanfaatkan Fe^{2+} sebagai sumber energi dalam pertumbuhannya dan dapat mengendapkan Fe^{3+} . Semakin tinggi kadar Fe^{2+} menjadikan pertumbuhan bakteri sangat cepat yang berakibat tersumbatnya saluran pipa (Febrina and Ayuna, 2015). Logam besi yang berada di dalam tanah mudah mengalami oksidasi dan reduksi. Dengan adanya reaksi biologis dari bakteri pada kondisi anaerob, maka unsur Fe dalam tanah akan tereduksi sehingga menjadi besi yang terlarut. Persitiwa oksidasi dan reduksi besi di dalam tanah menyebabkan besi akan masuk ke dalam irigasi. Kelarutan Fe juga dipengaruhi oleh pH. Kelebihan kandungan besi dalam lingkungan dapat mengakibatkan air tanah terkontaminasi dan mengganggu kelangsungan makhluk hidup lainnya. Logam Fe di dalam tanah akan diserap oleh tanaman melalui akar. Kadar Fe yang tinggi di dalam tanah akan menyebabkan tanaman mengakumulasi Fe di dalam tubuhnya sehingga menyebabkan keracunan (Apriyanti and Candra, 2018).

Tingginya kadar besi yang berada dalam tubuh manusia akan mengakibatkan penyakit seperti keracunan, kanker, liver dan hemokromatis (Jenti and Nurhayati, 2014). Dalam tubuh, besi diperlukan sebagai pembentukan hemoglobin. Dalam dosis yang cukup tinggi, besi dapat merusak jaringan dinding usus (Febrina and Ayuna, 2015).

Limbah yang mengandung logam krom termasuk kategori limbah B3. Krom termasuk logam berat, dan masuk ke dalam kelompok 16 besar substansi berbahaya oleh *Agency for Toxic Substances and Disease Registry* (ATSDR) (Sy *et al.*, 2016). Krom bersifat bioakumulasi di dalam makhluk hidup,

melalui rantai makanan (Kristianto, Wilujeng and Wahyudiarto, 2017), di dalam tubuh akan sulit untuk dikeluarkan sehingga kadarnya akan meningkat di dalam tubuh organisme (Prastyo *et al.*, 2016). Krom merupakan logam yang berbahaya bagi kehidupan. Logam krom merupakan logam yang sulit didegradasi sehingga dapat bertahan lama dalam perairan (Paramita *et al.*, 2017). Kandungan senyawa kromium dalam lingkungan yang paling banyak ditemui adalah dalam krom trivalen (Cr^{3+}) dan krom heksa valen (Cr^{6+}). Krom heksavalen merupakan senyawa krom yang sangat berbahaya, karena dianggap sangat beracun, karsinogen, mutagenik. Ion krom dapat menyebabkan kerusakan hati, kerusakan saluran pernapasan, kerusakan ginjal, kanker paru-paru. (Sy *et al.*, 2016), mutasi gen, bersifat karsinogen dan teratogenic (Kristianto *et al.*, 2017).

Pengolahan air limbah yang mengandung logam berat dapat dilakukan secara fisika, kimia atau kombinasi fisika dan kimia. Penyisihan logam berat dalam limbah cair biasanya dilakukan dengan presipitasi, koagulasi, adsorpsi (Ariani and Rahayu, 2016), filtrasi atau kombinasi dari semuanya. Metode kombinasi presipitasi dan adsorpsi dapat menyisahkan logam berat pada limbah laboratorium hingga 98,09 – 99,99% (Ariani and Rahayu, 2016).

Air limbah yang mengandung logam berat dapat diolah dengan menggunakan teknologi presipitasi (pengendapan). Teknologi presipitasi dapat dilakukan dengan penambahan zat tertentu sehingga akan mengubah logam yang mudah larut menjadi logam yang sukar larut. NaOH merupakan senyawa alkali yang bersifat basa, mudah larut dalam air dan cepat mengendapkan Fe dan logam yang lain (Apriastuti *et al.*, 2017), larutan NaOH juga berfungsi untuk menaikkan pH air limbah. Pengendapan logam berat dalam air limbah sangat dipengaruhi pH (Ariani and Rahayu, 2016).

Poly Aluminium Chloride (PAC) merupakan koagulan dari garam dari aluminium klorida yang sering diaplikasikan dalam pengolahan air limbah maupun air bersih karena mempunyai daya koagulasi dan

flokulasi lebih kuat jika dibandingkan dengan tawas. PAC efektif bekerja pada rentang pH 5,0 – 8,0. PAC dapat menurunkan turbidity 97,69% dan TSS 99,24% air limbah (Husaini *et al.*, 2018). PAC konsentrasi 300 mg/L dapat meremoval TDS 13,7%; Cr 97% dan Pb 93,5% pada air limbah laboratorium (Nurhayati *et al.*, 2018).

Zeolit alam merupakan adalah senyawa terhidrat dari aluminosilikat yang terdiri dari dar ikatan SiO_4 dan AlO_4 terhidrat yang dihubungkan dengan oksigen (Utami, 2017). Zeolit banyak dimanfaatkan sebagai adsorben, *ion exchange*, katalis pada industry (Anggoro, 2017). Katalis zeolit menyebabkan reaksi lebih cepat, efisien, sehingga mengurangi penggunaan energy dan pengolahan limbah. Zeolit banyak diaplikasikan dalam proses adsorbansi polutan karena mempunyai rongga struktur kristal alumina silika yang berisi ion logam (Aidha, 2013). Zeolit mampu menurunkan logam Fe sebesar 62,78% dari 12,668 mg/L menjadi 1,948 mg/L yang terkandung dalam air lindi (Larasati *et al.*, 2016). Penggunaan zeolit tanpa aktivasi, karbon aktif dan ijuk sabut kelapa dapat menurunkan Cr 93% dari 5,37 mg/L menjadi 0,36 mg/L dalam waktu pengoperasian 15 menit (Nurhayati *et al.*, 2018). Proses adsorpsi akan lebih efektif apabila air limbah memiliki pH netral. Kombinasi koagulasi dan adsorpsi dapat menurunkan logam Fe dengan tingkat keberhasilan sebesar 62,25% dari kadar awal 194 ppm menjadi 7,324 ppm (Audina *et al.*, 2017).

Adsorpsi merupakan salah satu proses pengolahan limbah yang sederhana dan dapat menggunakan adsorben bahan alam yang tidak terpakai (Widayatno *et al.*, 2017). Karbon aktif merupakan karbon yang diaktivasi untuk membuka pori-pori sehingga berfungsi sebagai adsorben. Aktivator yang digunakan biasanya gas CO_2 , uap air atau zat kimia (Polii, 2017). Aktivasi karbon dengan pemanasan berfungsi untuk memperluas permukaan, menghilangkan kotoran yang mudah menguap, tar dan hidrokarbon pengotor (Masthura and Putra, 2018). Karbon yang diaktivasi asam phospat dapat menurunkan *Chemical Oksygen*

Demand (COD) limbah industri krisotil sebesar 63% (Yuliasuti and Cahyono, 2018).

Keberhasilan proses adsorpsi dipengaruhi oleh beberapa faktor yaitu karakteristik adsorben, meliputi luas permukaan, ukuran partikel (Sirajuddin and Harjanto, 2018), waktu kontak, pH, suhu, konsentrasi adsorbat (Arisna *et al.*, 2016). Waktu kontak yang diperlukan proses adsorpsi untuk mencapai equilibrium tidak sama, waktu kontak akan dicapai apabila tidak terjadi perubahan konsentrasi adsorbat pada solute (Sirajuddin and Harjanto, 2018).

Pada penelitian terdahulu, pengolahan limbah cair dilakukan dengan cara netralisasi, koagulasi dan adsorpsi menggunakan karbon aktif ampas tebu dan zeolit yang tidak diaktivasi, dengan debit 140 ml/L, pada menit ke-15 dapat menurunkan konsentrasi krom sebesar 93% dari 5,37 ppm menjadi 0,36 ppm, tetapi pada menit ke-30 sampai menit ke-120, konsentrasi krom mengalami kenaikan yang signifikan (Nurhayati *et al.*, 2018). Oleh karena itu perlu adanya penelitian lanjutan supaya adsorben tidak cepat jenuh dan dapat menurunkan polutan lebih besar dengan menggunakan adsorben diaktivasi dan memvariasikan debit waktu operasi. Tujuan dari penelitian ini adalah mengkaji pengaruh debit aliran dan waktu operasi terhadap penurunan Fe, Cr COD, dan BOD. Menganalisa kualitas limbah cair setelah diolah dengan pengenceran, netralisasi, koagulasi dan adsorpsi terutama untuk parameter Cr, Fe, COD, BOD dan pH.

2. METODOLOGI

Penelitian ini dilakukan secara kontinyu dengan skala laboratorium. Variable penelitian adalah debit aliran yaitu 100 ml/menit dan 140 ml/menit dan waktu operasi yaitu 15 menit, 30 menit, 45 menit dan 60 menit.

2.1 Alat dan Bahan

Limbah yang diolah adalah limbah laboratorium Teknik Lingkungan yang diambil yang diambil langsung dari dari wastafel. Reaktor adsorpsi berupa berupa pipa dengan diameter 4 inci dan panjang pipa 145

cm. Adsorben yang digunakan zeolit teraktivasi dan karbon aktif, masing-masing sebanyak 5 L.

2.2 Aktivasi Adsorben

Aktivasi zeolit dilakukan dengan cara zeolit direndam ke dalam larutan H_2SO_4 2 N selama 80 menit kemudian dibilas dengan aquades. Selanjutnya direndam kembali ke dalam larutan NaOH 4 N selama 80 menit dan bilas dengan aquades. Zeolit dikeringkan menggunakan oven dengan suhu $300^\circ C$ selama 2 jam (Aidha, 2013) Untuk menjaga daya adsorpsi agar tetap baik zeolit disimpan ke dalam wadah yang tertutup rapat. Karbon yang digunakan berbentuk yang diaktivasi dengan cara dipanaskan menggunakan oven padan temperatur $150^\circ C$ selama 120 menit. Agar karbon aktif tetap dalam keadaan baik, disimpan dalam desikator yang tertutup rapat.

2.3 Pengenceran

Sebelum diolah, limbah laboratorium dilakukan pengenceran dengan tujuan konsentrasi pencemar berkurang sehingga proses adsorpsi dapat lebih efektif. Pengenceran dilakuakn menggunakan aquades dengan perbandingan air limbah : aquades adalah 1:2

2.4 Netralisasi

Dari hasil penelitian pendahuluan air limbah mempunyai $pH = 2,60 \pm 00$, oleh karena itu dilakukan netralisasi supayaaa proses koagulasi dan adsorpsi lebih efektif menurunkan polutan. Netralisasi dilakukan samapi pH sekitar 7 menggunakan NaOH 5N.

2.5 Koagulasi dan Flokulasi

Proses koagulasi menggunakan koagulan PAC dengan dosis 300 mg/L. Pengadukan dilakukan dengan jar test berkecepatan 204 rpm (Nurhayati *et al.*, 2018), selama 2 menit kemudian flokulasi dengan pengadukan lambat 50 rpm selama 5 menit (Yuanita, 2015), dengan harapan akan terbentuk flok yang sempurna. Pengadukan yang terlalu lambat pada saat koagulasi menyebabkan terbentuknya flok juga lambat, sedangkan pada saat flokulasi pengadukan harus lambat supaya flok yang terbentuk tidak tidak pecah (Rahimah *et al.*, 2016).

2.6 Adsorpsi

Proses adsorpsi Dilakukan secara kontinyu dengan aliran *down flow* dengan debit yang divariasikan yaitu 140 ml/menit dan 100 ml/menit dan waktu operasi yaitu 15 menit, 30 mneit, 45 menit dan 60 menit. Parameter yang diukur adalah Cr, Fe, BOD, COD dan pH. Penentuan kadar Cr menggunakan Spektrofotometer Serapan Atom (SAA) (SNI 6989,17:2009), kadar Fe menggunakan SAA (SNI 6989,4), konsenrasi BOD menggunakan metode SNI 6989.72:2009, konsentrasi COD menggunakan metode SNI 6989.2:2009 dan pH menggunakan pH meter

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

3.1 Karakteristik Limbah Cair Laboratorium

Hasil pengamatan secara visual limbah cair laboratorium berwarna coklat tua, berbau menyengat dan keruh. Karekteristik awal limbah cair dijelaskan dalam Tabel 1.

Tabel 1. Karekteristil Limbah Cair Laboratorium TL Sebelum Diolah

Parameter	Satuan	Hasil uji	Baku Mutu Air limbah*
pH	-	$2,70 \pm 0,0$	6,0 – 9,0
Fe Total	Mg/L	$1.768 \pm 1,41$	5
Cr Total	Mg/L	$48,35 \pm 0,49$	0,5
COD	Mg/L	$35.485 \pm 2,1$	300
BOD	Mg/L	$16.052 \pm 3,5$	150

*) PerMen LH No. 5 Tahun 2014

Dari Tabel 1 menyajikan mengenai limbah cair Laboratorium TL berada diatas ambang batas kualitas air limbah di Indonesia. Air limbah laboratorium dapat mencemari lingkungan melalui peresapan air ke dalam tanah (Raimon, 2011). Limbah cair Laboratorium TL memiliki pH yang rendah yaitu $2,70 \pm 00$ dan bersifat sangat asam. Limbah yang bersifat sangat asam, $pH < 3$ (PP No. 101 Tahun 2004) bersifat korosif dan termasuk kategori limbah B3, sehingga dapat merusak properti serta mengganggu organisme. Perairan dengan $pH < 4$, tidak dapat ditoleransi oleh tumbuhan sehingga dapat menyebabkan tumbuhan air mati (Nurhayati *et al.*, 2018). Oleh sebab itu limbah cair yang akan dibuang untuk diolah terlebih dahulu.

Kadar Cr total dan Fe total air limbah sangat tinggi, hal ini disebabkan karena penelitian mahasiswa dan dosen banyak yang menganalisis parameter COD dan *Biological Oxygen Demand* (BOD) yang mana menggunakan Cr dan Fe. Reagent yang digunakan dalam analisis COD adalah kalium dikromat (K_2CrO_7) dan Ferro ammonium sulfat ($(NH_4)_2Fe(SO_4)_2$). Analisis BOD salah satunya menggunakan reagen Feri klorida ($FeCl_3$).

Kromium heksavalen (Cr^{6+}) biasanya dalam bentuk kromat (CrO_4^{2-}) merupakan logam yang berbahaya bagi lingkungan (Kurniawati *et al.*, 2017), menimbulkan iritasi pada kulit, menimbulkan keracunan sistemik (Asmadi *et al.*, 2009), sehingga dapat menimbulkan kematian organisme akuatik (Setiyono and Gustaman, 2017).

Fe termasuk logam esensial, yaitu sangat dibutuhkan makhluk hidup dalam jumlah tertentu, tetapi dengan kadar yang melebihi baku mutu dapat menimbulkan efek racun (Kamarati *et al.*, 2018), dan merusak dinding usus (Febrina and Ayuna, 2015). Febrina melaporkan, kelarutan Fe diatas 10 ppm mengakibatkan air tersebut berbau telur busuk (Febrina and Ayuna, 2015).

Tingginya kadar BOD dan COD air limbah menunjukkan air limbah laboratorium mengandung zat organik yang sulit

terdegradasi maupun yang mudah terdegradasi yang tinggi. Kadar BOD dan COD yang tinggi menunjukkan juga menunjukkan kadar oksigen terlarutnya dalam air limbah kecil oleh karena itu jika dibuang ke perairan akan membahayakan mikroorganisme akuatik.

3.2 Pengenceran, Netralisasi dan Koagulasi

Air limbah sebelum diolah mempunyai kadar polutan yang sangat tinggi. sehingga menyebabkan adsorben mudah mengalami kejenuhan (Nurhayati *et al.*, 2018). Untuk mengurangi beban pencemar tersebut air limbah diencerkan terlebih dahulu. Pada penelitian ini sampel air limbah Laboratorium diencerkan sebanyak dua kali menggunakan aquades.

Proses netralisasi air limbah menggunakan larutan NaOH 5N, karena limbah bersifat asam dengan $pH 2,70 \pm 00$. Peningkatan pH seiring dengan penambahan NaOH. Selain itu penambahan NaOH juga menyebabkan beberapa logam mengendap dalam bentuk logam hidroksida (Adli, 2012). pH juga dapat mempengaruhi kelarutan logam (Said, 2010).

Penambahan NaOH akan mengendapkan logam seperti kromium sebagai Kromium hidroksida $Cr(OH)_3$. Kromium hidroksida merupakan senyawa yang sukar larut pada pH antara 8.5 – 9.5, dan akan larut pada pH rendah atau suasana asam. Krom hexavalen merupakan senyawa yang mudah larut oleh karena itu untuk menghilangkan senyawa tersebut harus direduksi menjadi Cr^{3+} (Asmadi *et al.*, 2009).

Limbah cair setelah ditambah NaOH menyebabkan ion Fe^{2+} terikat dengan OH^- dari NaOH membentuk endapan $Fe(OH)_2$ yang berwarna putih. Pada proses pengendapan terjadi koloid yang akan saling mengikat membentuk endapan (Apriastuti *et al.*, 2017).

Setelah dilakukan netralisasi air limbah menjadi berwarna hitam pekat, hal ini karena terbentuknya endapan logam logam yang ada

di dalam limbah. Endapan logam yang terbentuk berwarna hitam, terjadi karena peningkatan nilai pH akan mengubah senyawa karbonat menjadi senyawa hidroksida yang berbentuk partikel kecil dalam limbah (Nurhayati *et al.*, 2018). Penambahan pH juga bertujuan supaya kerja PAC sebagai koagulan lebih efektif. Koagulan PAC akan bekerja lebih efektif pada pH 5,0 – 8,0 (Husaini *et al.*, 2018).

Proses koagulasi air limbah laboratorium menggunakan PAC dengan

konsentrasi 300 mg/L. Koagulan PAC konsentrasi 300 ppm dapat menghilangkan konsentrasi Cr hingga 93,47% pada limbah cair Laboratorium TL (Nurhayati *et al.*, 2018). Karakteristik air limbah setelah dilakukan pengenceran, netralisasi dan koagulasi dapat disajikan pada Tabel 2. Secara organoleptis air limbah setelah dilakukan koagulasi flokulasi berwarna hijau, jernih bagian atas dan bagian bawah terdapat endapan hitam.

Tabel 2. Hasil Uji Air Limbah Laboratorium TL UNIPA Surabaya Setelah *Pretreatment* Netralisasi dan Koagulasi

Parameter	Satuan	Hasil Uji	Baku Mutu Air limbah*
pH	-	7,2 ± 0,00	6,0 – 9,0
Fe Total	mg/L	1,75±0,014	5
Cr Total	mg/L	1,37±0,080	0,5
COD	mg/L	1.876±1,4	300
BOD	Mg/L	404,5 ±0,70	150

*) PerMen LH No. 5 Tahun 2014

Dari Tabel 2 dapat disimpulkan bahwa dengan proses pengenceran, netralisasi dan koagulasi mampu menurunkan kadar Fe sebesar 99,50%, Cr 98,50%, COD 95,2% dan BOD 97,30%. Konsentrasi Cr dan Fe total, COD, BOD setelah proses pengenceran, netralisasi dan koagulasi belum memenuhi PerMen LH No. 5 Tahun 2014 sedangkan pH=7,2 sudah memenuhi, oleh karena itu diperlukan proses lanjutan supaya konsentrasi polutan dapat memenuhi baku mutu.

Proses pengenceran, netralisasi dan koagulasi dapat *removal* Cr dan Fe diatas 98 %, hal ini dikarenakan penambahan NaOH sebagai senyawa alkali yang bersifat basa kuat menyebabkan krom dan besi yang ada di dalam air limbah mengendap sebagai Kromium hidroksida $\text{Cr}(\text{OH})_3$ dan $\text{Fe}(\text{OH})_2$. Endapan logam Fe dan Cr yang berupa koloid dan flok flok kecil dengan penambahan koagulan PAC dan proses flokulasi akan diikat sehingga membentuk flok flok besar yang mudah mengendap. Penambahan NaOH menyebabkan pH menjadi netral sehingga koagulan PAC akan bekerja lebih efektif dalam mengikat logam berat (Nurhayati *et al.*, 2018). Penelitian serupa juga didapatkan hasil

bahwa limbah cair laboratorium diolah menggunakan metode presipitasi dengan penambahan NaOH samapi pH 7 dapat *removal* Cr sebesar 98,85% (Avesa *et al.*, 2016).

Netralisasi, koagulasi dan flokulasi juga efektif menurunkan konsentrasi COD dan BOD, hal ini disebabkan polutan yang mudah terdegradasi maupun yang sulit terdegradasi dalam air limbah berkurang karena mengalami presipitasi. Pengendapan zat organik menyebabkan oksigen terlarut yang digunakan untuk mengoksidasi air limbah berkurang, nilai BOD dan COD berkurang (Febrina and Ayuna, 2015). Pengendapan zat organik semakin efisien karena proses presipitasi dilakukan dalam suasana netral. Dengan penambahan NaOH menyebabkan zat organik yang tersuspensi baik yang mudah terdegradasi maupun yang sulit terdegradasi mengalami pengendapan sehingga BOD dan COD menurun (Wardhani and Dirgawati, 2013). Suasana netral juga menyebabkan penurunan BOD, karena mikroorganisme dalam air limbah dapat hidup dengan baik sehingga dapat melakukan degradasi secara biologis (Irmanto and Suyata, 2010).

Mengacu pada penelitian terdahulu, limbah penyamakan kulit setelah dilakukan presipitasi dengan penambahan NaOH pada pH 7 dapat menurunkan BOD₅ sebesar 97,05% dan COD sebesar 84,22% (Wardhani and Dirgawati, 2013). Pengendapan zat organik akan lebih efisien karena setelah proses presipitasi dilakukan koagulasi dengan koagulan PAC dan flokulasi. Koagulasi flokulasi mengakibatkan partikel organik dari flok flok kecil akan bergabung sehingga proses presipitasi akan lebih cepat dan lebih sempurna.

Pada proses koagulasi dan flokulasi air limbah menggunakan jar test, dan PAC sebagai koagulan berfungsi untuk mendestabilisasi partikel koloid di dalam air limbah untuk membentuk mikro flok. Proses koagulasi dilanjutkan dengan flokulasi yaitu partikel-partikel kecil akan bergabung membentuk flok yang lebih besar untuk menyerap zat organik yang larut sehingga mengendap dengan cepat (Rahimah *et al.*, 2016). Proses koagulasi akan menyebabkan partikel kecil yang tersuspensi saling melekat sehingga dapat menghilangkan zat terlarut dengan cara pengendapan (Yuanita, 2015).

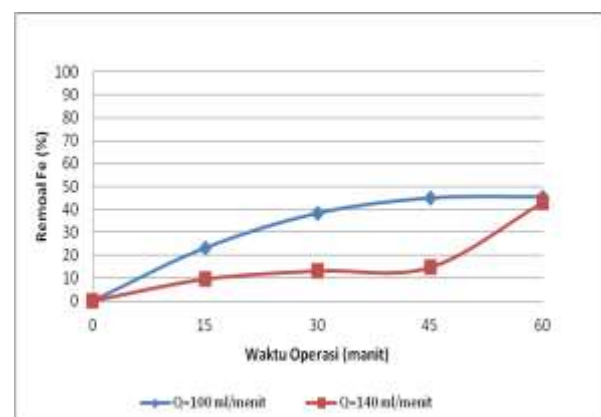
Hasil penelitian serupa juga dilakukan oleh Audiana, kombinasi koagulasi dan adsorpsi pada pengolahan limbah limbah Laboratorium Teknik Lingkungan mampu menurunkan logam Fe dengan efisiensi sebesar 62,25% (194 mg/L menjadi 7,3 mg/L) (Audiana *et al.*, 2017). Koagulan PAC dapat meremoval turbidity air limbah *tailing dump* sebesar 97,77 % dari 130,74 NTU menjadi 2,92 NTU dan TSS (196,33 ppm menjadi 38,7 ppm) (Husaini, dkk, 2018). Pengolahan limbah Kolong Tambang 23 Desa Kimhin Sungaiiat dengan penambahan NaOH 6% dapat menurunkan kadar Fe sebesar 88,99 % (Apriastuti *et al.*, 2017). Pengolahan limbah batik menggunakan PAC 6 gr/L dapat rata-rata menurunkan BOD 83,80% (Fitriana *et al.*, 2015).

Limbah laboratorium setelah dilakukan netralisasi, koagulasi dan flokulasi menghasilkan endapan, sebelum dilakukan proses adsorpsi. Endapan yang terjadi tentunya mengandung logam berat, oleh karena endapan tersebut harus dilakukan

penyimpanan sesuai aturan tidak boleh langsung dibuang ke lingkungan.

3.3 Pengaruh Debit Aliran dan Waktu Operasi Terhadap Kadar Besi (Fe)

Konsentrasi Fe selama proses adsorpsi disajikan pada grafik dibawah (Gambar 1), pada grafik tersebut menunjukkan bahwa proses adsorpsi dengan adsorben zeolit aktif dan karbon aktif secara kontinyu menggunakan debit 100 ml/menit dan 140 ml/menit sama-sama dapat menurunkan kadar Fe. Pada menit ke-15 sampai menit ke-45 debit 100 ml/menit dapat menurunkan Fe 43% sedangkan debit 140 ml/menit dapat menurunkan Fe 15%, tetapi pada menit ke-60 perbedaan debit tidak berpengaruh signifikan terhadap *removal* Fe. Pada menit ke-60 menit dengan debit 100 ml/menit dapat menurunkan Fe sebesar 45%, (1,75 mg/L menjadi 0,971 mg/L), dan pada debit 140 ml/menit dapat menurunkan Fe sebesar 43% (1,75 mg/L menjadi 0,99 mg/L). Hal ini terjadi karena pada debit yang lebih kecil akan memberikan kesempatan larutan melakukan kontak dengan adsorben (Ida Rofida *et al.*, 2018). Setelah melalui proses adsorpsi kadar Fe telah memenuhi PerMen LH No. 5 Tahun 2014.



Gambar 1. Pengaruh Debit dan Waktu Operasi Terhadap *Removal* Fe

Penurunan Fe dalam air limbah terjadi karena karbon aktif sebagai adsorben mengadsorpsi Fe pada permukaan karbon aktif (Audiana *et al.*, 2017). Adsorbat akan berpindah dari permukaan adsorben ke pori-pori adsorben (Yuliasuti and Cahyono, 2018).

Proses adsorpsi terjadi karena adanya gaya *Van Der Waals*, sehingga pori karbon aktif akan menarik partikel pencemar sehingga terperangkap (Widayatno *et al.*, 2017). Logam Fe memiliki elektron valensi yang rendah sehingga dalam proses adsorpsi dengan karbon aktif dan zeolit lebih cepat tersisihkan.

Dalam penelitian ini menggunakan karbon aktif berbentuk serbuk sehingga memperbesar daya adsorpsi. Karbon aktif berbentuk serbuk mempunyai pori-pori yang lebih banyak, sehingga partikel yang teradsorpsi semakin besar pula. Karbon aktif dapat menurunkan logam Fe sampai efisiensi 62,25% (194 mg/L menjadi 7,324 mg/L) (Audina *et al.*, 2017).

Peran dari zeolit juga menambah kapasitas adsorpsi karena memiliki sifat sebagai pengadsorpsi dan penukar ion. Zeolit yang akan digunakan sebagai adsorben diaktivasi menggunakan H_2SO_4 untuk memperbesar porositas, karena pori-pori zeolit terbuka luas, (Nurhayati *et al.*, 2018). sehingga keaktifan zeolit meningkat (Aidha, 2013). Penyerapan zat pencemar akan sempurna dengan menggunakan zeolit yang mempunyai pori-pori yang besar (Azamia, 2012).

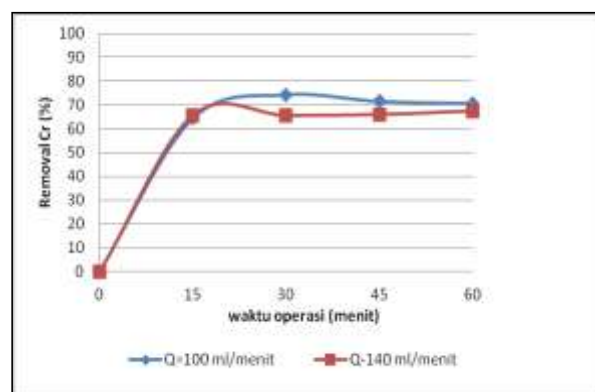
Dilihat dari waktu operasi, dari menit ke-15 sampai menit ke-45 *removal* Fe terjadi kenaikan yang signifikan baik pada debit 100 ml/menit maupun debit 140 ml/menit hal ini terjadi karena pada awal adsorpsi laju berjalan cepat karena pori-pori adsorben masih kosong dan partikel Fe mudah menempel pada pori-pori adsorben. Pada menit ke-45 sampai menit ke-60, *removal* Fe mengalami penurunan, karena semakin lama waktu operasi pori-pori adsorben yang kosong semakin berkurang, oleh karena itu kemampuan menyerap Fe juga semakin berkurang (Puspita *et al.*, 2017).

Adsorpsi dengan debit 100 ml/menit mulai dari menit ke-15 hingga 60 dapat *removal* Fe lebih tinggi daripada adsorpsi dengan debit 140 ml/menit. Pada menit ke-15 hingga 60, debit 100ml/menit dapat menurunkan Fe rerata 38 % sedangkan pada debit 140 ml/menit rerata dapat menurunkan Fe 20%. Hal ini dikarenakan semakin kecil debit

berarti semakin lama waktu kontak antara adsorben, yaitu karbon aktif dan zeolit aktif dengan adsorbat yaitu polutan dalam air limbah. Waktu kontak yang lebih lama memberi kesempatan ion Fe bersinggungan dengan permukaan adsorben sehingga pori-pori adsorben banyak menyerap ion Fe lebih banyak (Marlinawati *et al.*, 2015). Proses adsorpsi secara kontinyu, semakin kecil debit aliran yang digunakan dalam menyisihkan logam berat maka kapasitas adsorpsi semakin besar (Shafirinia *et al.*, 2016).

3.4 Pengaruh Debit dan Waktu Operasi Terhadap Kadar Kromium (Cr)

Penurunan krom Total (Cr) selama proses adsorpsi tersaji pada Gambar 2. Pada Gambar 2 menunjukkan bahwa proses adsorpsi secara kontinyu menggunakan adsorben karbon aktif dan zeolit teraktivasi dengan debit 100 ml/menit dapat menurunkan krom total rerata sebesar 70,4% dengan kadar akhir krom total 0,39 mg/l, sedangkan pada debit 140 ml/menit dapat menurunkan krom total rerata sebesar 66% dengan kadar krom akhir 0.45 mg/L. Kadar krom total setelah treatment sudah memenuhi baku mutu menurut PerMen LH No. 5 Tahun 2014.



Gambar 2. Pengaruh Debit dan Waktu Operasi Terhadap *Removal* Cr

Penurunan kadar krom total dalam air limbah laboratorium disebabkan karbon aktif serta zeolit aktif mengadsorpsi krom. Ion Cr^{3+} , Cr^{6+} dan Fe^{2+} dalam air limbah mengalir melalui kolom zeolit dan mengalami pertukaran dengan adanya ion H^+ di dalam rongga zeolit (Aidha, 2013). Proses adsorpsi dan pertukaran ion ini berlangsung secara

berkelanjutan, selama adsorben belum mengalami kejenuhan.

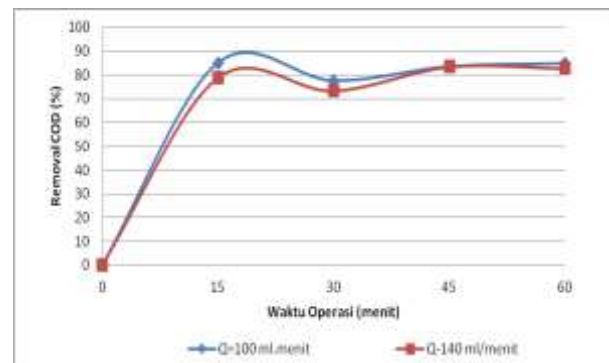
Kadar logam Cr air limbah setelah proses adsorpsi dengan debit 100 ml/menit mencapai efisiensi paling baik dibandingkan debit 140 ml/menit. Semakin kecil debit berarti semakin lama waktu kontak antara adsorben dengan polutan yang ada dalam air limbah. Semakin lama waktu kontak dapat memberi kesempatan Cr bersinggungan dengan permukaan adsorben sehingga pori-pori adsorben menyerap Cr semakin besar (Marlinawati *et al.*, 2015). Proses ini akan terus berlangsung selama kondisi adsorben belum mengalami kejenuhan. Kondisi jenuh menandakan bahwa pori-pori adsorben sudah dipenuhi Cr.

Proses adsorpsi dengan debit 100 ml/menit maka kontak adsorben dengan air limbah lebih lama dan mengakibatkan banyak ion logam Cr yang terperangkap dalam karbon aktif dan zeolit. Hasil tersebut sesuai dengan penelitian Shafirina., dkk., (2016), pada variasi debit 100 ml/menit *removal* konsentrasi logam Cr waktu optimumnya lebih cepat dibandingkan dengan debit 50 ml/menit dan 75 ml/menit dan *removal* kadar ion logam Cr pada menit ke 150 menit sebesar 36%. Pada menit ke-15 pada debit 100 ml/menit dan debit 140 ml/menit dapat *removal* krom total sebesar 66%. Pada menit ke-30 hingga 60 penurunan krom tidak signifikan. Hal ini menandakan karbon aktif dan zeolit mengalami kejenuhan sehingga tidak mampu lagi untuk mengadsorpsi ion logam Cr. Adsorben yang jenuh semua gugus adsorben sudah mengikat ion logam Cr, kondisi ini menandakan keseimbangan telah tercapai, kadar ion logam dalam air limbah sama dengan kadar logam dalam adsorben (Nurhayati *et al.*, 2018).

3.5 Pengaruh Debit dan Waktu Operasi Terhadap Consentansi COD

Efisiensi penurunan COD dalam proses adsorpsi dijelaskan pada grafik dibawah ini. Dari gambar 2, menunjukkan proses adsorpsi efektif dapat menurunkan COD air limbah. Dalam waktu operasi 60 menit adsorben karbon dan zeolit aktif dapat *removal* COD sebesar 83% dari $1876 \pm 1,4$ mg/L menjadi

$271,7 \pm 0,70$ mg/L. Penurunan COD terjadi karena karbon dan zeolit aktif menyerap zat organik yang mudah teradsorb dalam air limbah.



Gambar 3. Pengaruh Debit dan Waktu Operasi Terhadap *Removal* COD

Gambar 3 juga menunjukkan bahwa efisiensi *removal* COD tertinggi pada pada waktu operasi 15 menit, sedangkan pada menit ke-45 hingga 60 besarnya efisiensi fluktuatif tetapi cenderung stabil. Hal ini disebabkan pada menit ke-15 pori-pori adsorben masih kosong sehingga terjadi penyerapan secara optimal. Sedangkan pada menit ke-45 - 60 selain terjadi adsorpsi, pada proses ini juga terjadi pelepasan (desorpsi) zat organik ke dalam limbah sehingga mengakibatkan penurunan kadar COD yang teradsorb.

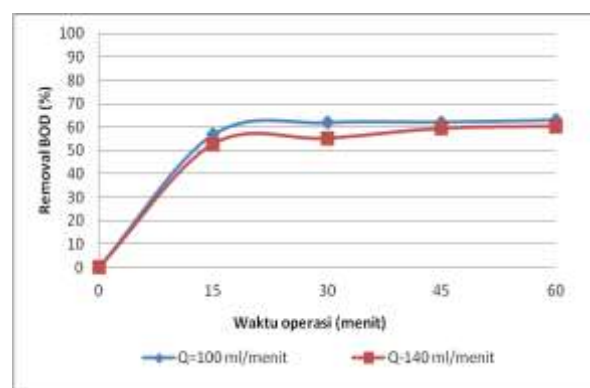
Proses adsorpsi air limbah dengan menggunakan debit 100 dan 140 ml/menit, keduanya efektif dalam menurunkan air limbah. Pengaturan aliran debit bertujuan untuk memberikan kesempatan partikel adsorben untuk bersinggungan dengan limbah yang akan diserap. Berdasarkan gambar diatas, pada debit 100 ml/menit rerata penurunan COD sebesar 82,66% sedangkan pada debit 140 ml/menit rerata penurunan COD sebesar 79,5%. Debit 100 ml/menit efisiensi penurunannya lebih besar dari pada adsorpsi dengan debit 140 ml/menit. Debit yang kecil mengakibatkan kontak adsorben dengan zat organik lebih lama, sehingga permukaan adsorben mempunyai kesempatan untuk bersinggungan dengan zat organik dan mengakibatkan zat organik akan terserap lebih banyak di dalam pori-pori karbon aktif

dan zeolit (Marlinawati *et al.*, 2015). Proses adsorpsi secara kontinyu, semakin kecil debit aliran yang digunakan dalam menyisihkan polutan, maka kapasitas adsorpsi semakin besar (Shafirinia *et al.*, 2016). Hal yang serupa telah dilaporkan oleh Wardhani dan Dirgawati. 2013, Penyisihan COD limbah penyamakan kulit menggunakan karbon aktif secara batch dengan variasi waktu kontak pada 0,5; 2,5; dan 5,5 jam, yang paling efektif menyisihkan COD adalah waktu kontak 5,5 jam dengan efisiensi 98,03 % dari 811,19 mg/L menjadi 16 mg/L (Wardhani and Dirgawati, 2013).

3.6 Pengaruh Debit dan Waktu Operasi Terhadap Konsentrasi BOD

Kadar BOD dalam air limbah menunjukkan jumlah kadar zat organik yang terdegradasi secara biologi oleh bakteri (Lasindrang *et al.*, 2014). *Removal* BOD dengan adsorben zeolit dan karbon aktif selama waktu operasi 60 menit dengan sistem kontinyu diajikan dalam Gambar 4. Gambar tersebut menunjukkan bahwa efisiensi tertinggi terjadi pada menit ke-15 debit 100 L/menit yaitu sebesar 63 % dari $404,5 \pm 0,7$ menjadi $149,5 \pm 0,7$.

Penurunan BOD terjadi karena zat organik yang terurai oleh bakteri diserap oleh adsorben karbon aktif dan zeolit teraktivasi. Pada 15 menit pertama pori-pori adsorben masih kosong sehingga terjadi penyerapan zat organik secara optimal. Pada menit ke-30 hingga 60, *removal* BOD cenderung stabil, hal ini karena pori-pori adsorben sudah mengalami kejenuhan sehingga tidak mampu menyerap zat organik lagi. Debit aliran limbah 100 L/menit selama 60 menit rata-rata *removal* BOD sebesar 62,5 % sedangkan debit 140 L/menit rata-rata dapat *removal* BOD 57%. Semakin cepat debit aliran air limbah semakin cepat kontak antara zat organik dengan adsorben, sehingga kesempatan zat organik untuk menempati pori-pori karbon dan zeolit aktif semakin cepat, sehingga zat organik yang terserap semakin kecil.

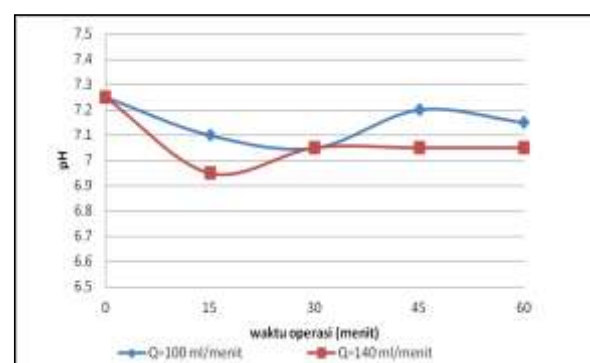


Gambar 4. Pengaruh Debit dan Waktu Operasi Terhadap *Removal* BOD

3.7 Pengaruh Debit dan Waktu Operasi Terhadap pH

Salah satu parameter fisik air limbah adalah pH. Kehidupan mikroorganisme salah satunya dipengaruhi oleh pH. PH air limbah yang terlalu asam jika dibuang ke lingkungan perairan akan mengganggu kehidupan makhluk hidup aquatic, beberapa ion logam yang tadinya mengendap akan larut dan merusak perpipaan logam karena korosi (Lasindrang *et al.*, 2014).

Nilai pH selama proses adsorpsi disajikan dalam gambar 5. Selama proses adsorpsi pH air limbah berubah fluktuatif tetapi tidak terlalu signifikan yaitu antara $6,95 \pm$ sampai $7,25 \pm 0,07$, nilai tersebut masih berada pada rentang yang diperbolehkan sesuai baku mutu yaitu 6,0 - 9,0. Waktu operasi dan debit tidak mempengaruhi nilai pH air limbah. Nilai pH yang tidak berubah secara signifikan dan pada rentang pH normal menyebabkan proses koagulasi dan adsorpsi berjalan optimal.



Gambar 5. Nilai pH

3.8 Kombinasi Pengenceran, Netralisasi, Koagulasi, Flokulasi Dan Adsorpsi

Penelitian tentang pengolahan air limbah laboratorium TL menggunakan teknologi kombinasi pengenceran, netralisasi, koagulasi dan adsorpsi dengan adsorben karbon aktif dan zeolit teraktivasi,

menghasilkan air limbah yang sudah sesuai PERMEN LH No. 5 Tahun 2014 kecuali BOD dan COD pada adsorpsi dengan debit 140 ml/L. Efisiensi penurunan ion Fe, ion Cr, COD dan BOD diatas 99%. Karakteristik air limbah sebelum dan sesudah pengolahan dan nilai *removal* disajikan dalam Tabel 3.

Tabel 3. Karakteristik Air Limbah dan *Removal* Polutan Setelah Koagulasi dan Adsorpsi

Paramter	Satuan	Awal	Akhir	<i>Removal</i> (%)
pH	-	2,70 ± 00	6,95 -7,25	
Fe Total	Mg/L	1.768 ± 1,14	0.98±0,03	99.94
Cr Total	Mg/L	48,35± 0,49	0.39±0,00	99.18
COD	Mg/L	35.485 ± 2,1	286± 1,4	99.19
BOD	Mg/L	15.052 ± 13.5	149.5±2,1	99.00

4. SIMPULAN DAN SARAN

4.1 Simpulan

Pengolahan limbah cair Laboratorium TL menggunakan kombinasi teknologi pengenceran, netralisasi, koagulasi dan adsorpsi dengan adsorben karbon aktif dan zeolit aktif dapat disimpulkan:

1. Proses adsorpsi secara kontinyu, semakin kecil debit semakin tinggi *removal* Fe, Cr, COD dan BOD
2. Waktu operasi dari menit ke-15 sampai ke-16 semakin lama waktu operasi semakin kecil *removal* Fe, Cr, COD dan BOD
3. Adsorpsi dengan debit 100 ml/menit dapat menurunkan Fe total sebesar 99,94% dari 1.768 ± 1,14 mg/L menjadi 0.98±0,03 mg/L dan krom total 99,07% dari 48,35± 0,49 mg/L menjadi 0.39±0,00 mg/L, COD 99.17 % dari 35.485 ± 2,1 mg/L menjadi 286± 1,4 mg/L, BOD 99% dari 15.052 ± 13.5 mg/L menjadi 149.5±2,1 mg/L, pH 7,05 – 7,25.
4. Debit 140 ml/Menit dapat menurunkan Fe total sebesar 99,94% dari 1.768 ± 1,14

mg/L menjadi 0.99±0,03 mg/L dan krom total 99,07% dari 48,35± 0,49 mg/L menjadi 0.45±0,00 mg/L, COD 99.08 % dari 35.485 ± 2,1 mg/L menjadi 325,25± 2,12 mg/L, BOD 98% dari 15.052 ± 13.5 mg/L menjadi 160,5 ±0,70 mg/L, pH 6,95 – 7,25

5. Kualitas air limbah setelah treatmen sudah memenuhi baku mutu sesuai dengan PerMen LH No. 5 Tahun 2014 kecuali BOD dan COD pada adsorpsi denga debit 140 ml/L

4.2 Saran

Perlu ada penelitian lanjutan mengenai tingkat kemampuan adsorben terhadap logam yang lain, dan proses adsorpsi dilakukan diatas 60 menit. Selain itu juga perlu dilakukan penelitian proses regenerasi adsorben yang sudah jenuh sehingga bisa digunakan kembali untuk mengolah limbah, dan pengolahan lumpus dari proses koagulasi dan flokulasi.

UCAPAN TERIMA KASIH

Penelitian ini dibiayai oleh Universitas PGRI Adi Buana Surabaya melalui penelitian unggulan hibah adi buana tahun anggaran 2018 No. 089. 18/LPPM/V/2019 tanggal 13 Mei 2019

DAFTAR PUSTAKA

- Aidha, N. N. (2013) 'Aktivasi Zeolit Secara Fisika Dan Kimia Untuk Menurunkan Kadar Kesadahan (Ca dan Mg) Dalam Air Tanah (Activation Of Zeolite By Physical And Chemical Methods', *J. Kimia Kemasan*, 35(1), pp. 58–64.
- Anggoro, D. (2017) *Teori dan Aplikasi Rekayasa Zeolit*. Semarang: UNDIP Press.
- Apriastuti, E. D., Pitulima, J. and Mardiah (2017) 'Pengaruh Penambahan NaOH dan Ca(OH)₂ Terhadap Penurunan Kadar Logam Berat (Fe) di Kolong Tambang 23 Desa Kimhin Kecamatan Sungailiat', *Jurnal Mineral*, 2(September), pp. 10–15.
- Apriyanti, H. and Candra, I. N. (2018) 'Karakterisasi Isoterm Adsorpsi Dari Ion Logam Besi (Fe) Pada Tanah Di Kota Bengkulu', *Jurnal Pendidikan dan Ilmu Kimia*, 2(1), pp. 14–19.
- Ariani, M. D. and Rahayu, D. (2016) 'Review Artikel: Penyisihan Logam Berat Dari Limbah Cair Laboratorium Kimia', *Farmaka*, 14(4), pp. 89–97.
- Arisna, R., Zaharah, T. A. and Rudiyanisya (2016) 'Adsorpsi Besi dan Bahan Organik pada Air Gambut oleh Karbon Aktif Kulit Durian', *Jurnal Kimia Khatulistiwa*, 5(3), pp. 31–39.
- Asmadi, Endro, S. and Oktiawan, W. (2009) 'Pengurangan Chrom (Cr) Dalam Limbah Cair Industri Kulit Pada Proses Tannery Menggunakan Senyawa Alkali Ca(OH)₂, NaOH Dan NaHCO₃ (Studi Kasus Pt . Trimulyo Kencana Mas Semarang)', *J. Air Indonesia*, 5(1), pp. 41–54.
- Audina, M., Apriani, I. and Kadaria, U. (2017) 'Pengolahan Limbah Cair Laboratorium Teknik Lingkungan dengan Koagulasi dan Adsorpsi untuk Menurunkan Cod, Fe, dan Pb', *Jurnal Teknologi Lingkungan Lahan Basah*, 1(5), pp. 1–10.
- Avessa, I. et al. (2016) 'Penurunan Kadar Cr³⁺[Kromium(III)] Dan Tss (Total Suspended Solid) Pada Limbah Cair Laboratorium Dengan Penggunaan Metode Presipitasi', *Jurnal kimia mulawarman*, 14(November), pp. 7–12.
- Febrina, L. and Ayuna, A. (2015) 'Studi Penurunan Kadar Besi (Fe) Dan Mangan (Mn) Dalam Air Tanah Menggunakan Saringan Keramik', *Jurnal Teknologi*, 7, pp. 35–40. doi: 10.24853/jurtek.7.1.35-44.
- Fitriana, W., Kasjono, H. S. and Astuti, D. (2015) 'Keefektifan Poly Aluminium Chloride (PAC) Dalam Menurunkan Kadar BOD (Biological Oxygen Demand) Pada Limbah', *Naskah Publikasi Program Studi kesehatan masyarakat Universitas Muhammadiyah Surakarta*.
- Husaini, H. et al. (2018) 'Perbandingan koagulan hasil percobaan dengan koagulan komersial menggunakan metode jar test', *Jurnal Teknologi Mineral dan Batubara*, 14, p. 31.
- Ida Rofida, Wahyuningsih, N. E. and Nurjazuli (2018) 'Efektivitas Arang Aktif Kayu Dengan Variasi Ukuran Adsorben Dan Debit Aliran Dalam Menurunkan Kadar Kadmium (Cd) Pada Limbah Cair Pertanian', *Jurnal Kesehatan Masyarakat*, 6, pp. 150–158.
- Irmanto and Suyata (2010) 'Optimasi Penurunan Nilai Bod, Cod Dan Tss Limbah Cair Industri Tapioka Menggunakan Arang Aktif Dari Ampas Kopi', *Molekul*, 5(1), pp. 22–32.
- Jenti, U. B. and Nurhayati, I. (2014) 'Pengaruh Penggunaan Media Filtrasi Terhadap Kualitas Air Kabupaten Sidoarjo', *Waktu*, 12, pp. 34–38.

- Kamarati, K. F. A. *et al.* (2018) 'Kandungan Logam Berat Besi (Fe), Timbal (Pb) Dan Mangan (Mn) Pada Air Sungai Santan', *Jurnal Peneliti Ekosistem Dipterokarpa*, 4(1), pp. 49–56.
- Kristianto, S., Wilujeng, S. and Wahyudiarto, D. (2017) 'Analisis Logam Berat Kromium (Cr) Pada Kali Pelayaran Sebagai Bentuk Upaya Penanggulangan Pencemaran Lingkungan Di Wilayah Sidoarjo', *Jurnal Biota*, 3(2), pp. 66–70.
- Kurniawati, S., Nurjazuli and Raharjo, M. (2017) 'Risiko Kesehatan Lingkungan Pencemaran Logam Berat Kromium Heksavalen (Cr VI) pada Ikan Nila (*Oreochromis niloticus*) di Aliran Sungai Garang Kota Semarang', *Higiene*, 3(3), pp. 152–160.
- Larasati, A. I., Susanawati, L. D. and Suharto, B. (2016) 'Efektivitas Adsorpsi Logam Berat Pada Air Lindi Menggunakan Media Karbon Aktif, Zeolit, Dan Silika Gel Di Tpa Tlekung, Batu', *Jurnal Sumberdaya Alam dan Lingkungan*, pp. 44–48.
- Lasindrang, M. *et al.* (2014) 'Adsorpsi pencemaran limbah cair industri penyamakan kulit oleh kitosan yang melapisi arang aktif tempurung kelapa', *Jurnal Teknosains*, 3(2), pp. 132–141.
- Marlinawati, Yusuf, B. and Alimudin (2015) 'Pemanfaatan Arang Aktif Dari Kulit Durian (*Durio Zibethinus L*) Sebagai Adsorben Ion Logam Kadmium (I)', *J. Kimia Mulawarman*, 13(1), pp. 23–27.
- Masthura, M. and Putra, Z. (2018) 'Karakterisasi Mikrostruktur Karbon Aktif Tempurung Kelapa dan Kayu Bakau', *Elkawanie*, 1(4), pp. 45–54. doi: 10.22373/ekw.v4i1.3076.
- Nurhayati, I., Sugito and Pertiwi, A. (2018) 'Pengolahan Limbah Cair Laboratorium Dengan Adsorpsi Dan Pretreatment Netralisasi Dan Koagulasi', *J. Sains dan Teknologi Lingkungan*, 10(2), pp. 125–138.
- Paramita, R. W., Wardhani, E. and Pharmawati, K. (2017) 'Kandungan Logam Berat Kadmium (Cd) dan Kromium (Cr) di Air Permukaan dan Sedimen : Studi Kasus Waduk Saguling Jawa Barat', *Rekayasa Lingkungan*, 5(2), pp. 1–12.
- Polii, F. F. (2017) 'Pengaruh Suhu Dan Lama Aktifasi Terhadap Mutu Arang Aktif Dari Kayu Kelapa Effects of Activation Temperature and Duration Time on the Quality of the Active Charcoal of Coconut Wood', *Jurnal Industri Hasil Perkebunan*, 2(12), pp. 21–28.
- Prastyo, D., Herawati, T. and Iskandar (2016) 'Bioakumulasi Logam Kromium (Cr) Pada Insang, Hati, Dan Daging Ikan Yang Tertangkap Di Hulu Sungai Cimanuk Kabupaten Garut', *Jurnal Kelautan*, 7(2), pp. 1–8.
- Puspita, M., Firdaus, M. L. and Nurmahidah (2017) 'Pemanfaatan Arang Aktif Sabut Kelapa Sawit Sebagai Adsorben Zat Warna Sintetis Reactive Red-120 Dan Direct Green -26', *Jurnal Pendidikan dan Ilmu Kimia*, 1(1), pp. 75–79.
- Rahimah, Z., Heldawati, H. and Syaughiah, I. (2016) 'Pengolahan Limbah Deterjen Dengan Metode Koagulasi-flokulasi Menggunakan Koagulan Kapur Dan Pac', *Jurnal Konversi UNLAM*, 5(2), pp. 13–19.
- Raimon (2011) 'Pengolahan Air Limbah Laboratorium Terpadu Dengan Sistem Kontinyu', *Jurnal Dinamika Penelitian Industri*, 2(22), pp. 18–27.
- Said, N. I. (2010) 'Metoda Penghilangan Logam Berat (As , Cd , Cr , Ag , Cu , Pb , Ni dan Zn) Di Dalam Air Limbah Industri', *J. Air Indonesia*, 6(2), pp. 136–148.
- Setiyono, A. and Gustaman, R. (2017) 'Pengendalian Kromium (Cr) Yang Terdapat Di Limbah Batik Dengan Metode Fitoremediasi', *Unnes Journal of Public Health*, 6, p. 155. doi: 10.15294/ujph.v6i3.15754.

- Shafirinia, R., Wardhana, I. W. and Oktiawan, W. (2016) 'Pengaruh Variasi Ukuran Adsorben Dan Debit Aliran Terhadap Penurunan Khrom (Cr) Dan Tembaga (Cu) Dengan Arang Aktif Dari Limbah Kulit Pisang Pada Limbah Cair Industri Pelapisan Logam (Elektroplating) Krom', *Jurnal Teknik Lingkungan*, 5(1), pp. 1–9.
- Sirajuddin and Harjanto (2018) 'Pengaruh Ukuran Adsorben Dan Waktu Adsorpsi Terhadap Penurunan Kadar Cod Pada Limbah Cair Tahu Menggunakan Arang Aktif Tempurung Kelapa', *Prosiding Seminar Hasil Penelitian*, 2018, pp. 42–46.
- Sy, S. *et al.* (2016) 'Adsorpsi Ion Cr(VI) Menggunakan Adsorben Dari Limbah Padat Lumpur Aktif Industri Crumb Rubber', *Jurnal Litbang Industri*, 2(Vi), pp. 135–145.
- Utami, I. (2017) 'Aktivasi Zeolit Sebagai Adsorben Gas CO₂', *Jurnal Teknik Kimia*, 11(2), pp. 51–55.
- Wardhani, E. and Dirgawati, M. (2013) 'Kombinasi Proses Presipitasi Dan Adsorpsi Karbon Aktif Dalam Pengolahan Air Limbah Industri Penyamakan Kulit', *Lingkungan Tropis*, 7(1), pp. 39–52.
- Widayatno, T., Yuliawati, T. and Susilo, A. A. (2017) 'Adsorpsi Logam Berat (Pb) Dari Limbah Cair Dengan Adsorben Arang Bambu Aktif', *Jurnal Teknologi Bahan Alam*, 1(1), pp. 17–23.
- Yuanita, Y. A. (2015) 'Kefektifan Dosis PAC (Poli Aluminium Chloride) Terhadap Penurunan TSS (Total Suspended solids) Limbah Industri Penyamakan Kulit Magetan', *Naskah Publikasi UMS*, pp. 1–9. Available at: http://eprints.ums.ac.id/39281/1/NASKAH_PUBLIKASI.pdf.
- Yuliasuti, R. and Cahyono, H. B. (2018) 'Penggunaan Karbon Aktif yang Teraktivasi Asam Phosphat pada Limbah Cair Industri Krisotil', *Jurnal Teknologi Proses Dan Inovasi Industri*, 3(1), pp. 23–26.