

EFEKTIVITAS FERRI KLORIDA (FeCl_3)DALAM MENURUNKAN KADAR *CHEMICAL OXYGEN DEMAND* (COD) PADA LIMBAH CAIR LAUNDRY

Ayu Larasati^{*}, Yusniar Hanani Darundiati^{**}, Hanan Lanang Dangiran^{**}

^{*}) Mahasiswa Peminatan Kesehatan Lingkungan, Fakultas Kesehatan Masyarakat, Universitas Diponegoro

^{**}) Dosen Peminatan Kesehatan Lingkungan, Fakultas Kesehatan Masyarakat, Universitas Diponegoro

Jalan Prof. H. Soedarto, SH, Tembalang, Kota Semarang 50239, Indonesia

^{*}) Email: ayularasati346@yahoo.co.id

ABSTRACT

Laundry liquid waste contained high level of COD which can effect on water contamination. Based on the preliminary studies, COD level of liquid waste in Laundry Zone was 1.494 mg/l and 992 mg/l. This level exceeds standart quality of COD in Laundry liquid waste is 100 mg/l. Therefore, it was necessary to wastewater treatment, one of them with coagulation-flocculation system using ferric chloride coagulant. The purpose of this study was to determined the effectiveness of ferric chloride to reduced COD level in laundry liquid waste. The type of research was true experimental research with pretest-posttest with control group design. The sample in this research was part of wastewater from Laundry Zone that taken directly through the washing machine outlet pipe. Total sample for 6 treatment (0,5 gr; 0,7 gr; 0,9 gr; 1,1 gr; 1,3 gr; dan 1,5 gr) with 4 replication was 32 samples. Data analysis used Kruskal Wallis test showed that there was difference average in decreasing COD level of laundry liquid waste with various dose of ferric chloride (p -value = 0,005). The result of Man Whitney test, showed that groups between dose variation that have significant difference in decreasing COD level of laundry liquid waste ($p \leq 0,05$) was control group and 0.5 gr treatment group with each other the treatment groups. The average COD after treatment has decreased gradually as more doses of ferric chloride. The largest efficiency was in the dose 1,5 gr with a decrease percentage was 73.79% or decreased COD to 249.75 mg/l.

Keyword: Laundry Liquid Waste, Chemical Oxygen Demand (COD), and Ferric Chloride (FeCl_3)

Pendahuluan

Air limbah laundry mengandung beberapa bahan kimia pada bahan baku detergen salah satunya yaitu COD (*Chemical Oxygen Demand*).⁽¹⁾COD adalah jumlah

oksigen yang dibutuhkan untuk mengoksidasi zat-zat organik secara kimia dalam limbah cair. Konsentrasi COD yang tinggi menyebabkan kandungan oksigen terlarut di dalam air menjadi rendah. Akibatnya

oksigen sebagai sumber kehidupan bagi biotaair tidak dapat terpenuhi sehingga makhluk air tersebut menjadi mati. ⁽²⁾

Terdapat beberapa teknik pengolahan limbah cair detergen, salah satunya yaitu pengolahan kimia dengan menggunakan metode koagulasi flokulasi. Koagulan yang digunakan dalam penelitian ini adalah Ferri klorida. Koagulan $FeCl_3$ memberikan rentang kondisi optimum yang lebar (pH 4-8). Oleh karena itu, dengan menggunakan koagulan $FeCl_3$, variasi pH dalam air limbah dapat diredam dan tidak menyebabkan kegagalan dalam unit koagulasi-flokulasi-sedimentasi.

⁽³⁾Selain itu, $FeCl_3$ dipilih karena mampu mengikat bahan-bahan organik dengan cepat dan membentuk flok-flok yang kuat sehingga dapat mempercepat proses pengendapan. ⁽⁴⁾

Berdasarkan studi pendahuluan didapatkan bahwa kadar COD limbah cair yang dihasilkan oleh Laundry Zone sebesar 1.494 mg/l dan 992 mg/l. Hal ini menunjukkan bahwa menurut Peraturan Daerah Jawa Tengah Nomor 5 tahun 2012 tentang Baku Mutu Air Limbah untuk Kegiatan Laundry, kadar COD telah melebihi baku mutu yang telah ditetapkan yaitu sebesar 100 mg/l.

Studi pendahuluan yang dilakukan dengan menggunakan koagulan ferri klorida didapatkan hasil bahwa kadar COD limbah cair Laundry Zone mengalami penurunan setelah diberi perlakuan dengan berbagai variasi dosis ferri klorida. Pada studi pendahuluan pertama, kadar awal COD sebelum diberi perlakuan yaitu 1.494 mg/l, kemudian setelah diberi perlakuan dengan ferri klorida sebanyak 3 gr, 4 gr, 5 gr, 6 gr mengalami penurunan kadar COD hingga 724 mg/l; 845 mg/l; 979mg/l; 891 mg/l. Sedangkan

pada studi pendahuluan kedua, kadar awal COD sebelum diberi perlakuan yaitu 992 mg/l, kemudian setelah diberi perlakuan dengan ferri klorida sebanyak 0,1 gr; 0,2 gr, 0,3 gr, 0,4 gr, dan 0,5 gr dapat menurunkan kadar COD hingga 858 mg/l; 839 mg/l; 613 mg/l; 311 mg/l; dan 305 mg/l.

Dari hasil studi pendahuluan, dapat disimpulkan bahwa pemberian dosis 0,5 gr mampu menurunkan COD paling tinggi. Oleh karena itu, untuk dapat menurunkan COD hingga di bawah mutu, akan dilakukan pemberian dosis mulai dari 0,5 gr; 0,7 gr, 0,9 gr; 1,1 gr; 1,3 gr sampai 1,5 gr.

Berdasarkan uraian di atas, kadar COD limbah laundry telah melebihi baku mutu air limbah. Limbah cair laundry yang langsung dibuang ke selokan menjadi hal yang perlu diperhatikan. Oleh karena itu, perlu dilakukan pengolahan air limbah yaitu salah satunya dengan sistem koagulasi-flokulasi menggunakan koagulan ferri klorida. Penelitian ini dilakukan untuk mengetahui efektivitas ferri klorida dengan berbagai dosis dalam menurunkan kadar COD pada limbah cair laundry.

Metode Penelitian

Jenis penelitian yang digunakan dalam penelitian ini adalah *true experimental research*. Sedangkan rancangan penelitian yang digunakan yaitu pretest-posttest dengan kelompok kontrol (*The Pretest-Posttest Control Group Design*).

Populasi dalam penelitian ini adalah seluruh air limbah laundry yang dihasilkan oleh Laundry Zone, Tembalang. Sedangkan sampel dalam penelitian ini adalah sebagian limbah cair yang dihasilkan dari

Laundry Zone. Pengolahan sampel dirancang dengan 6 perlakuan dan pengulangan sebanyak 4 kali. Jadi, jumlah sampel yang akan diteliti yaitu 24 sampel perlakuan, 4 sampel kontrol, serta 4 sampel pretest sehingga total sebanyak 32 sampel. Untuk setiap sampel pengujian membutuhkan 1 liter limbah cair *laundry*. Oleh karena itu, dalam penelitian ini membutuhkan 32 liter limbah cair *laundry*.

Variabel bebas pada penelitian ini adalah dosis koagulan feri klorida. Dosis feri klorida yang digunakan dalam penelitian ini adalah 0,5 gr; 0,7 gr; 0,9 gr; 1,1 gr; 1,3 gr; dan 1,5 gr sedangkan variabel terikatnya adalah penurunan konsentrasi COD pada limbah cair *Laundry Zone*. Kemudian untuk variabel pengganggu dalam penelitian ini adalah pH, suhu, volume, kecepatan pengadukan, lama waktu pengadukan, dan lama waktu pengendapan.

Sumber data primer berasal dari pengukuran fisik dan kimia di laboratorium, wawancara dan observasi. Sedangkan data sekunder berasal dari literatur yang sudah ada baik dari buku, jurnal dan internet.

Pengambilan sampel dilakukan di *Laundry Zone* pada hari yang berbeda setiap pengulangan. Kemudian, dilakukan pemberian perlakuan di Laboratorium Kesehatan Lingkungan FKM UNDIP. Sampel juga dilakukan pengukuran pH dan suhu dengan pH meter. Pada hari selanjutnya dilakukan pengukuran COD di Laboratorium Teknik Lingkungan dengan menggunakan alat spektrofotometer.

Besarnya efisiensi penurunan COD dinyatakan dalam bentuk prosentase (%) dengan rumus sebagai berikut:

$$Ef = \frac{Co - Ci \times 100 \%}{Co}$$

Keterangan:

Ef :efisiensi penurunan parameter (%)

C₀ :kadar COD sebelum diberi perlakuan

C_i :kadar COD sesudah diberi perlakuan

Uji statistik yang digunakan untuk analisis data yaitu *Kruskal Wallis* dan *Man Whitney*. *Kruskal wallis* digunakan untuk mengetahui perbedaan rata-rata penurunan kadar COD dengan berbagai variasi dosis feri klorida. Sedangkan *Man Whitney* untuk mengetahui perbedaan penurunan kadar COD yang terjadi antar variasi dosis.

Hasil dan pembahasan

a. Kadar COD limbah cair *Laundry Zone* sebelum perlakuan

Limbah *laundry* berasal dari kegiatan pencucian dan pembilasan pada mesin cuci. Dalam prosesnya, kegiatan tersebut menggunakan detergen untuk membersihkan pakaian, sprei, selimut, karpet, boneka, dan lain-lain. Penggunaan detergen akan menghasilkan polutan di dalam air limbah. Dalam proses penguraiannya, polutan ini membutuhkan oksigen dalam jumlah yang cukup. *Chemical Oxygen Demand (COD)* merupakan jumlah oksigen yang dibutuhkan untuk mengoksidasi zat-zat organik secara kimia dalam limbah cair. Oleh karena itu, dengan meningkatnya polutan di dalam air semakin meningkat pula kandungan COD di dalam air.⁽⁵⁾

Tabel 1. Hasil pemeriksaan kadar COD kelompok perlakuan dengan penambahan berbagai variasi dosis FeCl_3

Pengulangan ke-	Pretest (mg/l)	Kontrol (mg/l)	Posttest (mg/l)					
			0,5 gr	0,7 gr	0,9 gr	1,1 gr	1,3 gr	1,5 g
1	1022	937	393	351	318	311	292	26
2	1012	1680	652	311	292	285	272	25
3	717	979	252	203	187	164	144	18
4	1061	868	685	403	364	347	328	29
Rata-rata	953	1116	495,5	317	290,25	276,75	259	249,7

Penelitian lanjutan terhadap limbah cair Laundry Zone sebanyak 4 kali pengulangan didapat hasil kandungan COD seperti pada tabel 1 yaitu sebesar 1.022 mg/l, 1012 mg/l, 717 mg/l, dan 1.061 mg/l. Nilai ini merupakan kadar COD dari sampel yang diambil berbeda hari. Hasilnya menunjukkan selama 4 hari tersebut dan selama studi pendahuluan menunjukkan nilai yang fluktuatif. Hal tersebut dapat dipengaruhi oleh metode pengambilan sampel yang digunakan, yaitu metode sampel sesaat (*grab sampling*) dimana sampel ini hanya menggambarkan karakteristik sampel pada saat pengambilan sampel. Selain itu, perbedaan kadar COD pada limbah cair laundry juga disebabkan karena jumlah pakaian yang dicuci oleh Laundry Zone dan banyaknya detergen yang digunakan. Pada saat pakaian yang dicuci banyak, maka dalam 1 mesin cuci tersebut membutuhkan air dan detergen yang lebih banyak pula. Penggunaan jenis detergen juga mempengaruhi kandungan COD. Pada saat studi pendahuluan, Laundry Zone menggunakan detergen cair, sedangkan pada

saat penelitian lanjutan, sampel yang diambil berasal dari proses pencucian dengan menggunakan detergen bubuk, sehingga kandungan COD yang dihasilkan berbeda-beda. Tingginya kandungan COD pada air limbah laundry menurut Effendi pada tahun 2003 dapat disebabkan karena kandungan bahan organik yang tinggi.⁽⁵⁾

Berdasarkan pemeriksaan laboratorium, kadar COD pada limbah cair yang dihasilkan oleh Laundry Zone menunjukkan nilai di atas ambang menurut Peraturan Daerah Jawa Tengah tentang baku mutu air limbah sebesar 100 mg/l. Jika limbah laundry langsung dibuang ke lingkungan tanpa diolah terlebih dahulu dapat mengakibatkan pencemaran. Pembuangan air limbah dengan kandungan COD > 200 mg/l ke badan air akan menyebabkan jumlah oksigen terlarut dalam air menjadi rendah, bahkan habis sama sekali. Akibatnya oksigen sebagai sumber kehidupan bagi makhluk air (hewan dan tumbuh-tumbuhan) tidak dapat terpenuhi sehingga makhluk air tersebut menjadi mati.⁽²⁾ Pencemaran COD pada badan air juga menyebabkan berkurangnya potensi yang dapat digali dari sumber daya alam perairan dan semakin sulitnya mendapatkan air sungai yang memenuhi bahan baku air minum. Kandungan COD di dalam air yang melebihi batas waktu 18 jam, akan menyebabkan penguraian (degradasi) secara aerob sehingga menimbulkan bau.⁽⁶⁾

Pemeriksaan kadar COD juga dilakukan pada kelompok kontrol. Pada kelompok kontrol hanya dilakukan proses pengadukan

(jartest) baik pengadukan cepat maupun pengadukan lambat. Hasil pemeriksaan rata-rata COD kelompok kontrol sebesar 1.116 mg/l, sedangkan kelompok pretest memiliki rata-rata kadar COD sebesar 953 mg/l dimana tidak mengalami perlakuan sama sekali. Hasil pemeriksaan kadar COD kelompok kontrol mengalami kenaikan tepatnya pada pengulangan ke-2 dari kadar awal sebesar 1.012 mg/l menjadi 1.680 mg/l serta pada pengulangan ke-3 dari kadar awal 717 mg/l menjadi 979 mg/l. Kenaikan kadar COD pada limbah cair laundry dapat dipengaruhi oleh suhu.

Hubungan kenaikan kadar COD dengan perubahan suhu adalah suhu berpengaruh terhadap proses fisika, kimia dan biologi yang terdapat pada air limbah laundry. Perubahan suhu dapat juga mengakibatkan peningkatan viskositas (kekentalan), reaksi kimia, evaporasi dan volatilisasi. Perubahan suhu mengakibatkan peningkatan kekentalan dan terjadinya perubahan struktur partikel koloid menjadi lebih kecil. Partikel koloid ini merupakan bahan-bahan organik pada air limbah. Kekentalan yang meningkat mengakibatkan kecepatan untuk mengendap semakin turun. Dengan partikel yang berukuran kecil dan kecepatan pengendapan yang berkurang, maka partikel akan sulit untuk diendapkan. Oleh karena itu, pada sampel kontrol yang mengalami kenaikan kadar COD disebabkan karena partikel tidak semua mengendap sehingga bahan organik ikut terbawa saat sampel pengujian kadar⁽⁵⁾

b. Kadar COD pada limbah cair Laundry Zone setelah perlakuan

Seperti yang terlihat pada tabel 1. terjadi penurunan kadar COD setelah perlakuan. Kadar COD setelah diberi ferri klorida dengan dosis 0,5 gr; 0,7 gr; 0,9 gr; 1,1 gr; 1,3 gr; dan 1,5 gr secara berturut-turut sebesar 495,5 mg/l; 317 mg/l; 290,25 mg/l; 276,75 mg/l; 259 mg/l dan 249,75 mg/l. Semua nilai tersebut belum berada di bawah baku mutu air laundry menurut Peraturan Daerah Jawa Tengah tentang baku mutu air limbah sebesar 100 mg/l.

c. Penurunan kadar COD setelah penambahan ferri klorida

Partikel-partikel koloid umumnya bermuatan negatif. Partikel koloid yang dimaksud dalam penelitian ini adalah bahan organik yang terdapat di dalam air *laundry*. Di dalam air, partikel-partikel tersebut saling tolak menolak karena bermuatan sejenis, sehingga menyebabkan partikel tidak bisa saling tarik-menarik dan partikel tetap akan berada di tempatnya, ini dinamakan sebuah kondisi stabil. Kondisi partikel yang stabil tidak memungkinkan untuk terbentuknya flok. Jika di dalam air tersebut diberikan koagulan yang bermuatan positif, maka muatan positif akan mengurangi gaya tolak-menolak antar sesama koloid dan menyebabkan penggabungan partikel-partikel kecil untuk membentuk partikel yang lebih besar (inti endapan) sebagai akibat dari perbedaan muatan antara partikel koloid dengan koagulan. Proses ini memerlukan pengadukan cepat

supaya terjadi turbulensi yang baik agar bahan kimia dapat menangkap partikel-partikel koloid. Partikel-partikel koloid yang dihasilkan dari proses ini menjadi tidak stabil.⁽⁷⁾ Partikel-partikel koloid yang tidak stabil cenderung menggumpal sehingga terbentuk partikel dengan ukuran lebih besar (macrofoc). Pada tahap ini dilakukan pengadukan lambat untuk meningkatkan pengikatan antar partikel koloid hasil proses kaogulasi menjadi *macrofoc*. *Macrofloktersebut* kemudian mengendap, sehingga partikel koloid (bahan organik) dalam air limbah berkurang karena proses pengendapan.⁽⁸⁾

Pada penelitian ini, faktor-faktor yang mempengaruhi proses kaogulasi-flokulasi dengan menggunakan kaogulan ferri klorida antara lain sebagai berikut:

1. Volume limbah

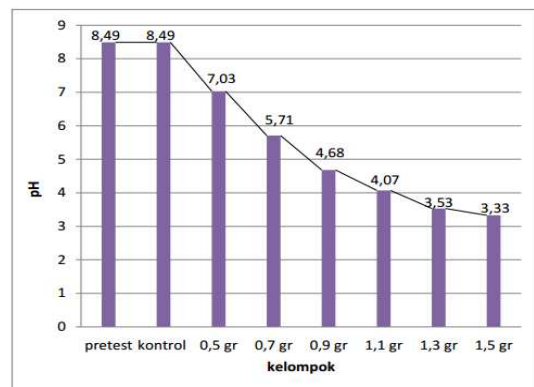
Pada penelitian ini, volume limbah diatur yaitu 1000 ml untuk setiap perlakuan yang dimasukkan ke dalam masing-masing *beaker glass*. Untuk setiap pengulangan dibutuhkan ± 8 liter yaitu 6 liter sebagai sampel perlakuan untuk 6 variasi dosis ferri klorida, 1 liter kontrol, dan 1 liter sebagai sampel pretest. Jadi total volume limbah *laundry* yang dibutuhkan untuk 4 kali pengulangan yaitu 32 liter.

2. pH

Tabel 2. Hasil pemeriksaan pH sebelum dan sesudah penambahan koagulan berbagai variasi dosis FeCl_3

Pengu- langan ke-	Pre test	Kon trol	Postest					
			0,5 gr	0,7 gr	0,9 gr	1,1 gr	1,3 gr	1,5 gr
1	8,00	8,00	6,71	5,47	4,62	4,58	3,75	3,52
2	8,21	8,21	7,21	6,90	5,48	4,86	4,20	3,87
3	8,70	8,70	7,13	3,85	3,43	3,31	3,03	2,91
4	9,03	9,03	7,07	6,61	5,20	3,52	3,15	3,00
Rata- rata	8,49	8,49	7,03	5,71	4,68	4,07	3,53	3,33

Pada tabel 2. pH awal limbah cair *laundry* berada pada nilai 8,00-9,03 atau rata-rata 8,49. pH kontrol sama dengan pH awal karena tidak dilakukan pemberian koagulan FeCl_3 .



Gambar 1. Diagram pH sebelum dan setelah perlakuan dengan FeCl_3

Nilai pH limbah *laundry* setelah penambahan ferri klorida menunjukkan terjadinya penurunan kadar pH. Perubahan pH ini dipengaruhi oleh penambahan koagulan FeCl_3 yang bersifat asam. Seperti yang terlihat pada gambar 1. bahwa semakin banyak dosis ferri klorida yang diberikan menyebabkan penurunan pH menjadi semakin asam. Seperti halnya disebutkan oleh Asmadi dan Suharno pada tahun 2012 penambahan koagulan sebanding dengan penurunan pH, penambahan koagulan semakin tinggi akan

menyebabkan penurunan pH semakin tinggi pula.⁽⁹⁾ Oleh karena itu, dalam penelitian ini dilakukan pengendalian pH hingga netral agar proses koagulasi-flokulasi berjalan lebih efektif. Pengendalian pH ini dilakukan sebelum pengadukan pada jartest.

Tabel 3. Rata-rata pH sebelum dan sesudah jartest

Dosis (gr)	Rata-rata pH	
	Pretest	Posttest
Kontrol	8,49	8,85
0,5	7,21	7,35
0,7	7,22	7,40
0,9	7,26	7,33
1,1	7,29	7,54
1,3	7,21	7,43
1,5	7,19	7,43

Seperti terlihat pada tabel 3. rata-rata pH netral pada kelompok perlakuan berkisar antara 7,19-7,29. Kemudian, rata-rata pH setelah perlakuan (jartest) menjadi 7,33-7,54. Sedangkan pada sampel kontrol yang tidak dilakukan pengendalian pH, mempunyai pH awal 8,49, kemudian setelah perlakuan (jartest) menjadi 8,85. Ini menandakan bahwa pH limbah laundry setelah pengolahan telah sesuai dengan Peraturan Daerah Jawa Tengah tentang baku mutu air limbah karena berkisar diantara nilai pH 6 – 9.

Pada tabel 3 terjadi kenaikan pH tertinggi pada sampel kontrol sebesar 0,36, sedangkan kenaikan pH terendah pada sampel dengan dosis FeCl₃ 0,9 gr sebesar 0,07.

3. Suhu

Tabel 4. Hasil pemeriksaan suhu sebelum dan sesudah perlakuan

dengan penambahan berbagai dosis FeCl₃

Dosis (gr)	Rata-rata suhu (°C)		Selisih (°C)
	Pretest	Posttest	
Kontrol	27,50	25,00	2,50
0,5	27,50	25,50	2,00
0,7	27,50	25,60	1,90
0,9	27,50	25,60	1,90
1,1	27,50	25,70	1,80
1,3	27,50	25,70	1,80
1,5	27,50	25,90	1,60

Pada tabel 4. dapat dilihat bahwa suhu awal limbah laundry sebelum perlakuan berkisar 26,4 °C - 28,3 °C atau rata-rata 27,5 °C. Setelah perlakuan mengalami penurunan menjadi 25,5 °C – 25,9 °C. Ini menandakan bahwa suhu limbah laundry setelah perlakuan masih aman karena suhu maksimal yang diperbolehkan yaitu 38 °C.

Proses koagulasi pada suhu rendah dapat berkurang, hal ini disebabkan oleh peningkatan kekentalan dan terjadinya perubahan struktur menjadi lebih kecil sehingga dapat lolos dari saringan, sedangkan pada suhu tinggi memiliki kerapatan lebih kecil sehingga akan mengalir ke dasar kolam dan merusak timbunan lumpur.⁽¹⁰⁾

Pada tabel 4. dapat dilihat bahwa hasil rata-rata suhu pretest dengan posttest pada kelompok kontrol mengalami perubahan paling signifikan dibandingkan dengan kelompok perlakuan ferri klorida yaitu menurun sebesar 2,5 °C. Inilah yang mengakibatkan sampel kontrol mengalami kenaikan kadar COD. Perubahan suhu pada penelitian ini terjadi akibat suhu ruangan dari Laboratorium Kesehatan Lingkungan FKM Undip.

4. Kecepatan pengadukan

Kecepatan putaran sangat berhubungan dengan proses pencampuran koagulan ke dalam air, proses destabilisasi partikel dan perpindahan serta penggabungan presipat yang terbentuk menjadi flok-flok.⁽¹¹⁾ Wardhani pada tahun 2014 menyatakan bahwa kecepatan tumbukan antara koloid dengan koagulan berbanding lurus dengan percepatan, apabila percepatan besar akan menghasilkan gaya geser yang berlebihan dan mencegah susunan flok yang diinginkan.⁽¹²⁾ Pengadukan yang digunakan yaitu pengadukan cepat 120 rpm, sedangkan pengadukan lambat 20 rpm.

5. Lamanya pengadukan

Waktu pengadukan juga sangat berpengaruh dalam proses koagulasi-flokulasi karena berhubungan dengan waktu yang dibutuhkan presipat saling bertumbukan satu sama lain sehingga cukup untuk membentuk flok dengan kualitas terbaik.⁽¹³⁾ Seiring dengan bertambahnya waktu pengadukan, terjadi peningkatan efisiensi penurunan kadar COD.⁽¹⁴⁾ Semakin lama pengadukan, maka jumlah flok yang dihasilkan semakin banyak. Namun jika waktu pengadukan terlalu lama dapat mengakibatkan flok yang sudah terbentuk akan pecah kembali, sedangkan jika waktu pengadukan terlalu cepat, maka akan mengganggu proses koagulasinya karena flok yang terbentuk belum maksimal.⁽¹³⁾ Pada penelitian ini, lamanya pengadukan dikontrol. Pengadukan cepat dilakukan

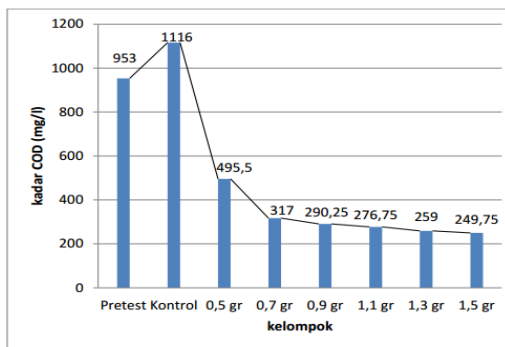
selama 2 menit, sedangkan pengadukan lambat selama 20 menit.

6. Lamanya pengendapan

Dalam penelitian ini waktu pengendapan yaitu selama 30 menit. Waktu pengendapan berpengaruh terhadap proses sedimentasi limbah. Semakin lama waktu pengendapan, filtrat (cairan yang sudah dipisahkan dari flok) yang dihasilkan lebih jernih karena flok yang terbentuk dapat mengendap semua. Waktu pengendapan yang paling baik berkisar antara 45 menit sampai 2 jam.⁽¹³⁾ Oleh karena itu, waktu pengendapan dalam penelitian ini kurang baik, karena kurang dari 60 menit, sehingga flok-flok yang terbentuk ke dasar corong imhoff tidak maksimal.

Dengan berbagai proses koagulasi-flokulasi yang terjadi serta faktor-faktor yang mempengaruhi, kadar COD pada limbah laundry dapat berkurang. Pada tabel 1. menunjukkan bahwa pada setiap pengulangan kandungan COD setelah diberi koagulan cenderung mengalami penurunan secara linier (bertingkat) seiring dengan semakin banyaknya koagulan yang diberikan, kecuali pada pengulangan ke-3. Pada pengulangan ke-3 terjadi kenaikan kadar COD dari dosis 1,3 gr ke 1,5 gr, yaitu 144 mg/l menjadi 180 mg/l. Hal ini dapat disebabkan karena pada dosis tertentu suatu koagulan telah mencapai titik maksimal dalam menurunkan kadar COD. Dalam penelitian oleh Praswati pada tahun 2010 yang menyatakan bahwa pada dosis yang terlalu tinggi, restabilisasi koloid terjadi

karena kelebihan kation sehingga partikel-partikel koloid akan menjadi positif dan partikel-partikel ini justru akan saling menjauh karena gaya van der Waals tidak bekerja, akibatnya pengikatan dan pembentukan flok gagal. ⁽¹⁵⁾Selain itu, berlebihnya ion positif dari koagulan juga menyebabkan partikel koloid terdispersi kembali, dimana partikel-partikel besar yang telah tergumpalkan sebagian akan dipecahkan kembali menjadi partikel berukuran koloid. ⁽¹⁰⁾Akibatnya pembentukan dan pengendapan flok berkurang. Flok mengandung bahan organik, sehingga bahan organik yang ikut mengendap juga berkurang, dan menyebabkan penurunan COD semakin rendah. Oleh karena itu kadar COD setelah pemberian ferri klorida dengan dosis berlebih yaitu 1,5 kg lebih besar dari pada setelah pemberian dengan dosis 1,3 kg.



Gambar 2. Diagram rata-rata kandungan COD sebelum dan sesudah perlakuan dengan $FeCl_3$

Pada gambar 2. dapat dilihat bahwa rata-rata kandungan COD sesudah perlakuan mengalami penurunan secara bertingkat seiring dengan semakin banyaknya koagulan yang diberikan. Rata-rata kandungan COD sesudah

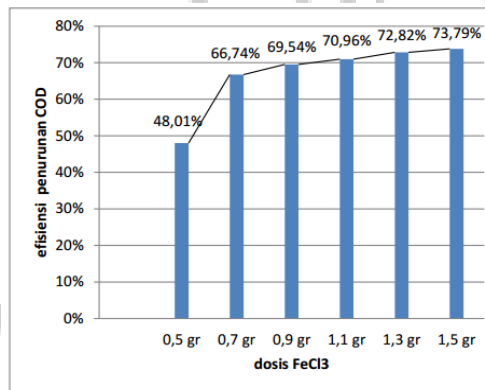
perlakuan tertinggi terdapat pada dosis $FeCl_3$ 0,5 gr yaitu 495,5 mg/l. Semakin besar dosis yang ditambahkan ke dalam sampel air maka semakin tinggi pula reaksi pengikatan antara anion dan kation melalui reaksi hidrolisis dan ionisasi terhadap bahan organik yang ada di dalam air laundry. Bahan organik yang terkandung dalam air laundry memiliki muatan negatif sehingga dapat berikatan dengan ion-ion positif yang terkandung dalam koagulan. Ikatan-ikatan tersebut membentuk flok-flok yang lebih besar setelah mengalami proses pengadukan lambat dimana partikel saling bertubrukan dan mengalami pengikatan antara anion dan kation, kemudian mengendap karena memiliki berat. ⁽¹⁶⁾ Semakin banyak koagulan yang ditambahkan maka semakin banyak flok yang terbentuk dan terendapkan. Flok mengandung bahan organik, sehingga semakin banyak flok yang terendapkan, bahan organik pada air limbah juga semakin banyak yang mengendap dan akhirnya kadar COD pada limbah cair laundry semakin berkurang.

Tabel 5. Rata-rata efisiensi penurunan kadar COD

Dosis (gr)	Rata-rata kadar COD (mg/l)		Penurunan COD (mg/l)	Efisiensi (%)
	Pretest	Posttest		
0,5	953	495,5	457,5	48,01
0,7	953	317	636	66,74
0,9	953	290,25	662,75	69,54
1,1	953	276,75	676,25	70,96
1,3	953	259	694	72,82
1,5	953	249,75	703,25	73,79

Data pada tabel 5 menunjukkan bahwa efisiensi penurunan kadar COD pada

kelompok perlakuan dengan dosis 0,5 gr yaitu 48,01%. Kemudian kelompok perlakuan dengan dosis 0,7 gr; 0,9 gr; 1,1 gr; 1,3 gr; dan 1,5 secara berturut-turut mempunyai nilai efisiensi sebesar 66,74%; 69,54%, 70,96%; 72,82; dan 73,79%. Nilai ini menunjukkan bahwa semakin banyak koagulan, maka semakin meningkat prosentase penurunan COD (Gambar 4.3).



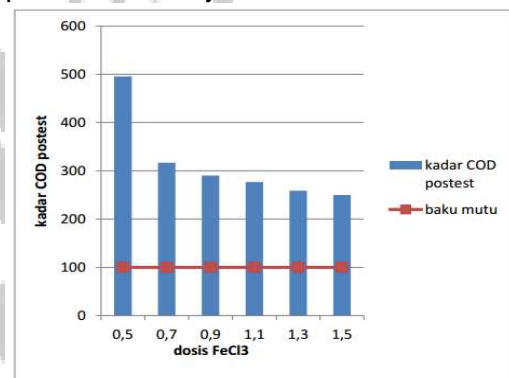
Gambar 3. Diagram efisiensi penurunan kadar COD

Efisiensi penurunan kandungan COD terbesar pada limbah cair *laundry* terjadi pada dosis 1,5 gr dengan rata-rata penurunan sebesar 73,79%. Dosis tersebut dianggap optimum karena mampu menyisihkan konsentrasi COD terbesar.⁽¹²⁾

- d. Efektivitas penurunan kadar COD dengan penambahan koagulan feri klorida

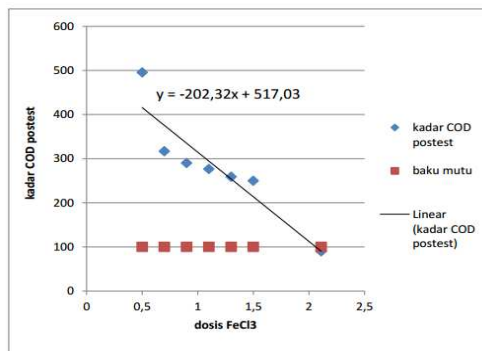
Berdasarkan uji statistik *Kruskal Wallis* didapat nilai signifikansi $p\text{-value} = 0,005$ ($p \leq 0,05$), sehingga dapat disimpulkan bahwa H_0 ditolak atau ada perbedaan rata-rata penurunan kadar COD limbah cair *laundry* dengan berbagai variasi dosis feri klorida.

Selanjutnya dilakukan uji *Post Hoc* dengan menggunakan uji *Mann-Whitney*. Hasil uji *Mann-Whitney* didapatkan hasil bahwa kelompok yang mempunyai perbedaan signifikan penurunan kadar COD dengan menggunakan koagulan feri klorida antara lain kelompok kontrol dengan masing-masing kelompok perlakuan serta kelompok dosis 0,5 gr dengan masing-masing kelompok perlakuan lainnya.



Gambar 4. Diagram perbandingan kadar COD setelah perlakuan dengan baku mutu

Efektivitas dosis koagulan feri klorida dinilai dari seberapa besar peran koagulan dalam menurunkan kadar COD pada limbah cair *laundry* hingga berada di bawah baku mutu. Data pada gambar 4 menunjukkan bahwa rata-rata kadar COD setelah penambahan feri klorida dengan berbagai dosis masih berada di atas baku mutu berdasarkan Peraturan Daerah Jawa Tengah tentang baku mutu air limbah untuk kegiatan *laundry* yaitu sebesar 100 mg/l. Oleh karena itu, koagulan feri klorida dengan dengan dosis 0,5 gr; 0,7 gr; 0,9 gr; 1,1 gr; 1,3 gr; dan 1,5 gr belum efektif dalam menurunkan kadar COD pada limbah cair *laundry*.



Gambar 5. Diagram perkiraan dosis kaogulan feri klorida

Penambahan kaogulan feri klorida yang tepat dapat menurunkan kadar COD secara maksimal. Namun, karena kadar COD yang terdapat saat penelitian ini mencapai rata-rata 953 mg/l sehingga perlu konsentrasi yang lebih besar dalam menurunkan kadar COD. Perkiraan dosis feri klorida yang dapat menurunkan COD hingga memenuhi baku mutu yaitu 2,1 gr. Hasil tersebut diperoleh dengan menggunakan rumus ekstrapolasi $y = -202,32x + 517,03$, dimana x merupakan perkiraan dosis yang dapat menurunkan kadar COD hingga mencapai baku mutu, dan y sebagai kadar COD yang ingin diturunkan hingga mencapai baku mutu. Dengan dosis 2,1 gr maka dapat menurunkan kadar COD hingga 100 mg/l. Kemudian untuk menurunkan hingga di bawah baku mutu maka dapat ditambahkan feri klorida pada limbah cair laundry dengan dosis > 2,1 gr.

e. Penerapan di Tempat Laundry

Dalam penerapannya di tempat laundry yang berskala industri kecil masih perlu dipertimbangkan lagi, mengingat proses koagulasi-flokulasi harus menggunakan alat yang tidak cukup murah dan mudah didapatkan, namun dapat

digunakan cara lain untuk penerapannya. Salahsatu cara yang mudah yaitu dengan cara membuat pipa berbentuk zig-zag dengan mengarah ke badan airdengan membuat lubang di bagian tengah pipa untuk tempat pembubuhan atau pengontakan.⁽¹⁷⁾

f. Keterbatasan penelitian

Penelitian ini memiliki keterbatasan antara lain sebagai berikut:

1. Koagulan feri klorida bersifat mudah mencair, sehingga apabila setelah ditimbang tidak segera dimasukkan ke dalam gelas beaker, dosis koagulan akan berkurang dari yang telah ditetapkan karena mencair pada media yang digunakan untuk alas menimbang.
2. Jumlah corong imhoff sebagai media pengendapan sampel hanya tersedia 4, sehingga pengendapan sampel dengan 6 variasi dosis dan sampel kontrol pada corong imhoff tidak dilakukan dalam waktu bersamaan.
3. Pemberian dosis feri klorida dan pemeriksaan COD tidak dapat dilakukan dalam waktu satu hari dan dalam satu tempat, sehingga pemeriksaan COD dilakukan pada hari berikutnya di Laboratorium yang berbeda.

Kesimpulan

1. KadarCOD pada limbah cair Laundry Zone sebelum perlakuan yaitu sebesar 953 mg/l.
2. KadarCOD pada limbah cair Laundry Zone sesudah perlakuan dengan dosis FeCl₃ 0,5 gr; 0,7 gr; 0,9gr; 1,1 gr; 1,3 gr; dan 1,5 gr secara berturut-turut sebesar

- 495,5 mg/l; 317 mg/l; 290,25 mg/l; 276,75; 259 mg/l; dan 249, 75 mg/l.
3. Efisiensi penurunan kadar COD sesudah penambahan FeCl_3 dengan dosis 0,5 gr; 0,7 gr; 0,9 gr; 1,1 gr; 1,3 gr; dan 1,5 gr secara berturut-turut sebesar 48,01%; 66,74%; 69,54%, 70,96; 72,82%, dan 73,79%.
 4. Dosis optimal FeCl_3 dalam menurunkan COD limbah cair *laundry* yaitu 1,5 gr. Namun, dosis ini belum mampu menurunkan kadar COD hingga memenuhi baku mutu.
 5. Ada perbedaan rata-rata penurunan kadar COD limbah cair *laundry* dengan berbagai variasi dosis FeCl_3 (p -value $\leq 0,05$).
 6. Kadar COD setelah perlakuan masih di atas baku mutu menurut Perda Jateng untuk air limbah *laundry* sehingga koagulan ferri klorida dengan dengan dosis 0,5 gr; 0,7 gr; 0,9 gr; 1,1 gr; 1,3 gr; dan 1,5 gr belum efektif dalam menurunkan kadar COD pada limbah cair *laundry*. Dosis koagulan FeCl_3 sebesar 2,1 gr diperkirakan dapat menurunkan kadar COD limbah cair *laundry* hingga mencapai baku mutu.
- Saran**
- Bagi pemilik usaha *laundry* disarankan untuk membuat saluran limbah sederhana menggunakan pipa berbentuk zig-zag yang mengarah ke badan air dan dibuat lubang di bagian tengah pipa untuk membubuhkan koagulan ferri klorida dengan dosis 2,1 gr dalam 1 liter limbah cair *laundry*.
- Daftar pustaka**
1. Ahmad J, E H. Design Of A Modified Low Cost Treatment System For The Recycling And Reuse Of Laundry Waste Water. 2008;52(7):973–8.
 2. Monahan S. Fundamentals of Enviromental Chemistry. London: Lewis Publishers; 1993. 41 p.
 3. Rachmawati S. W BI, Winarni. Pengaruh pH Pada Proses Koagulasi Dengan Koagulan Aluminium Sulfat Dan Ferri Klorida. J Tek Lingkung . 2009;5(2):40–5.
 4. Hanafiah, Kemas A. Rancangan Percobaan, Teori, dan Aplikasi. Jakarta: Rajawali; 1993.
 5. Effendi H. Telaah Kualitas Air Bagi Pengelolaan Sumber Daya Lingkungan Periaran. Yogyakarta: Kanisius; 2003.
 6. Lumaela, Otok, Sutikno. Pemodelan Chemical Oxygen Demand (COD) di Surabaya dengan metode Mixed Geographically Weighted Regression. J Sains dan Seni Pomits. 2013;2(1).
 7. SATKER Pengembangan PLP Jawa Tengah. Profil TPA Regional Semarang [Internet]. 2012. Available from: <http://pplp-dinciptakaru.jatengprov.go.id/?idmenu=63>
 8. Asmadi, Suharno. Dasar – Dasar Teknologi Pengolahan Air Limbah. Yogyakarta: Gosyen Publishing; 2012.
 9. Sayuti PA. Keefektifan Ferri Chlorida (FeCl_3) Dalam Menurunkan Kadar Chemical Oxygen Demand (COD) Pada Limbah Cair Industri Batik CV. Brotoseno Masaran Sragen. Naskah Publ. 2015.
 10. Risdianto D. Optimisasi Proses Koagulasi Flokulasi

- untuk Pengolahan Air Limbah (Studi Kasus PT. Sido Muncul). Universitas Diponegoro. 2007.
11. Al-Layla AM, et all. Water Supply Engineering Design. Ann Abror Science Publisher Inc the Bufeer Worth Group; 1998.
 12. Wardhani WK. Rajungan sebagai biokuagulan untuk Penyisihan Turbidity, TSS, BOD, dan COD pada Pengolahan Air Limbah Farmasi PT Phapros tbk, Semarang. Tek Lingkungan. 2014.
 13. Alaerts, Santika SS. Metoda Penelitian Air. Surabaya: Penerbit Usaha Nasional; 1987.
 14. Ramadani, Moesriati. Pemanfaatan Biji Asam Jawa (*Tamarindus Indica*) sebagai Koagulan Alternatif dalam Proses Menurunkan Kadar COD dan BOD dengan Studi kasus pada Limbah Cair Industri tempe. J Tek POMITS. 2013;2(1).
 15. Wulan P, Dianursanti, Gozan M, et all. Optimasi Penggunaan Koagulan pada Pengolahan Air Limbah Batubara. In: Prosciding Seminar Nasional Teknik Kimia "Kejauangan." 2010. p. ISSN 1693-4393.
 16. Faust SD, Osman. Chemistry of Water Treatment. United States of Amerika: CRC Press; 1998.
 17. Harwiyanti RD. Keefektifan Dosis Koagulan *Poly Aluminium Chloride* (PAC) Dalam Menurunkan Kadar *Chemical Oxygen Demand* (COD) Pada Air Limbah Laundry. Naskah Publ. 2015.