

Efektifitas Jumlah Pasangan Elektroda Aluminium pada Proses Elektrokoagulasi terhadap Penurunan Kadar Fosfat Limbah Cair *Laundry*

Puji Lestari*, Choirul Amri**, Sigid Sudaryanto**

*JKL Poltekkes Kemenkes Yogyakarta, Jl. Tatabumi 3, Banyuraden, Gamping, Sleman, DIY 55293

email: puji.lestari1984@ugm.ac.id

**JKL Poltekkes Kemenkes Yogyakarta

Abstract

Since one of the detergent-forming chemicals is phosphate, laundry wastewater contains this substance. In general, laundry businesses do not have waste treatment facilities, while high level of phosphate which is accumulated continuously in waters may lead to eutrophication that disrupting aquatic ecosystems and causing river sedimentation. One of the methods to decrease phosphate level from laundry wastewater is electrocoagulation, with aluminum plate as the electrode. The research was a true experiment and was aimed to know the decrease of phosphate levels in laundry wastewater yielded from "Rumah Laundry" located at Pajimatan, Imogiri, Bantu, after treated by electrocoagulation process with 3 pairs, 4 pairs and 5 pairs of aluminum electrode. The design of the research was pre-test post-test with control group in five times replications, on randomly selected treatment and control groups. The statistical test with paired t-test shows that the electrocoagulation process is able to reduce the phosphate levels in laundry waste water compared with those of the control (p -value $< 0,05$). By using the 3, 4, and 5 pairs of aluminium electrode, the reduction of phosphate levels were 31,4 %, 33,7 %, and 27,3 %, respectively. It can be seen that the effective decrease was from the 4 pairs of aluminium electrode with 12 volt voltage and 500 mA current strength. However, the one way Anava test on those results of the three different electrode pairs shows no significant differences (p -value $> 0,05$).

Keywords : laundry wastewater, electrocoagulation, aluminium electrode, phosphate levels

Intisari

Karena salah satu bahan kimia pembentuk deterjen adalah fosfat maka limbah cair laundry mengandung senyawa ini. Usaha laundry pada umumnya belum memiliki sarana pengolahan limbah, padahal kadar fosfat yang tinggi dan terakumulasi di perairan dapat menimbulkan eutrofikasi yang mengganggu ekosistem perairan dan menyebabkan pendangkalan sungai. Salah satu metoda untuk menurunkan kadar fosfat limbah cair adalah elektrokoagulasi, dengan plat aluminium sebagai elektroda. Jenis penelitian yang dilakukan adalah true experiment yang bertujuan mengetahui penurunan kadar fosfat limbah cair laundry dari usaha "Rumah Laundry" di Pajimatan, Imogiri, Bantul setelah mendapatkan perlakuan menggunakan 3 pasang, 4 pasang dan 5 pasang elektroda aluminium. Rancangan yang digunakan adalah pre-test post-test with control group, dengan lima kali ulangan dimana kelompok kontrol dan kelompok perlakuan dipilih secara acak. Uji statistik dengan t-test terikat menunjukkan bahwa proses elektrokoagulasi dapat menurunkan kadar fosfat limbah cair laundry dibandingkan dengan kontrol (p -value $< 0,05$). Dengan menggunakan 3, 4, dan 5 pasang elektroda aluminium, secara berturut-turut, kadar fosfat turun sebanyak 31,4 %, 33,7 % dan 27,3 %. Penurunan kadar fosfat yang efektif adalah pada variasi 4 pasang elektroda aluminium, dengan tegangan 12 volt dan kuat arus 500 mA. Namun demikian, hasil uji one way Anava menunjukkan bahwa penurunan kadar fosfat di antara penggunaan 3 variasi pasangan elektroda aluminium tersebut tidak berbeda secara signifikan (p -value $> 0,05$).

Kata Kunci : limbah cair laundry, elektrokoagulasi, elektroda aluminium, kadar fosfat

PENDAHULUAN

Pembangunan yang dilakukan pada berbagai aspek bertujuan untuk meningkatkan kesejahteraan masyarakat pada umumnya. Dalam konteks pembangun-

an di Daerah Istimewa Yogyakarta yang sangat dinamis, muncul beragam usaha dan kegiatan yang dilakukan oleh penduduknya. Usaha-usaha tersebut di antaranya adalah dalam bentuk industri, pelayanan kesehatan, jasa pariwisata,

pusat perbelanjaan, jasa pencucian pakaian (*laundry*), jasa penyediaan makanan siap saji, dan sebagainya.

Berbagai macam bentuk usaha tersebut berpotensi menghasilkan limbah cair. Peraturan Pemerintah Republik Indonesia Nomor 82 Tahun 2001 tentang Pengelolaan Kualitas Air dan Pengendalian Pencemaran Air, menjelaskan bahwa limbah diperbolehkan untuk dibuang ke media lingkungan, yaitu sungai, sejauh ada ijin tertulis dari Bupati/Walikota dan telah memenuhi baku mutu yang dipersyaratkan.

Usaha *laundry* tersebar di berbagai daerah di Propinsi D. I. Yogyakarta, salah satunya di Kabupaten Bantul. Data Dinas Lingkungan Hidup (DLH) Kabupaten Bantul pada tahun 2017 menunjukkan bahwa dari 244 usaha *laundry* yang ada, hanya 52 yang sudah mempunyai ijin usaha. Dari semua usaha *laundry* tersebut, 133 telah melakukan pengelolaan terhadap limbah yang dihasilkan dengan mengalirkannya ke dalam *septic tank* maupun resapan, dan 111 yang lain masih membuang langsung limbahnya ke got kampung maupun got besar.

Salah satu usaha *laundry* tersebut adalah "Rumah *Laundry*" yang berada di Pajimatan RT 05, Kelurahan Girirejo, Imogiri, di Kabupaten Bantul, yang belum mempunyai ijin usaha dan membuang limbah cairnya langsung ke saluran got kampung yang bermuara ke badan air (sungai).

Pada pemeriksaan pendahuluan yang dilakukan terhadap limbah cair dari Rumah *Laundry* pada tanggal 13 Februari 2017, didapatkan hasil bahwa kadar *COD* (*Chemical Oxygen Demand*) yang terkandung adalah sebesar 1.940,4 mg/L, kadar fosfat sebesar 13,5 mg /L, *TDS* (*Total Dissolved Solid*) sebesar 642 mg/L dan *pH* sebesar 6,83.

Menurut Peraturan Gubernur Daerah Istimewa Yogyakarta Nomor 7 Tahun 2016 tentang Baku Mutu Air Limbah untuk Kegiatan *Laundry*, kadar *TDS* dan *pH* limbah tersebut masih memenuhi persyaratan, yaitu kurang dari 2.000 mg/L untuk *TDS* dan masih pada kisaran 6 sampai dengan 9 untuk *pH*.

Parameter kualitas limbah cair *laundry* yang tidak memenuhi syarat adalah *COD* (*Chemical Oxygen Demand*) dan kadar fosfat. Batas maksimal kadar *COD* untuk limbah cair *laundry* yang diperbolehkan adalah 150 mg/L dan batas maksimal kadar fosfat untuk limbah cair usaha industri lainnya (baku mutu air limbah untuk kegiatan industri sabun) adalah sebesar 2 mg/L. Baku mutu kadar fosfat mengacu pada baku mutu limbah cair industri sabun dengan pertimbangan bahwa polutan fosfat limbah cair *laundry* berasal dari sabun atau deterjen. Kadar fosfat limbah cair *laundry* dari Rumah *Laundry* melebihi batas persyaratan 13,5 mg/L, sehingga perlu dilakukan pengelolaan terhadap limbah tersebut agar dapat turun dan tidak mencemari lingkungan perairan.

Fosfat dalam limbah cair *laundry* berasal dari deterjen yang digunakan dalam proses pencucian. Senyawa fosfat merupakan salah satu bahan pembentuk deterjen (*builder*) yang berfungsi sebagai pembersih kotoran pada proses pencucian pakaian¹⁾.

Kadar fosfat yang melebihi baku mutu dan ada secara terus menerus pada badan air akan menimbulkan dampak berupa eutrofikasi (*eutrophication*), yaitu keadaan badan air menjadi kaya akan nutrisi terlarut sehingga meningkatkan pertumbuhan algae (*algae bloom*) sehingga sinar matahari tidak dapat menembus lapisan air.

Eutrofikasi menyebabkan proses fotosintesis tanaman dalam air tidak dapat berlangsung²⁾. Kondisi eutrofik yang terus menerus dan terjadinya ledakan populasi algae tersebut menyebabkan tertekannya kadar oksigen terlarut (*Dissolved Oxygen*) di dalam air, yang selanjutnya akan mengganggu kemampuan daya dukung badan air terhadap biota yang ada dan menurunkan kualitas air sungai. Salah satu dampak yang terjadi adalah kematian ikan yang ada di perairan tersebut³⁾.

Metoda yang digunakan dalam pengolahan limbah *laundry* dengan tujuan menurunkan kadar fosfat dapat dilakukan secara biologis, koagulasi maupun

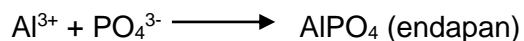
kombinasi biologis dan koagulasi. Penurunan kadar fosfat secara biologis adalah dengan memanfaatkan mikro-organisme atau *biosand filter*⁴⁾ maupun tanaman air (fitoremediasi). Adapun metoda koagulasi, dapat dilakukan secara kimia dan elektrokimia. Koagulasi kimia adalah dengan cara menambahkan bahan koagulan seperti tawas atau alum, FeCl₃, FeSO₄ dan polielektrolit *Poly Aluminium Chloride*⁵⁾.

Koagulasi kimia memerlukan lahan yang luas, ketersediaan bahan koagulan yang terus menerus dan menghasilkan flok dalam jumlah besar⁶⁾. Oleh karena itu, diperlukan metoda penurunan fosfat yang lebih mudah dan terjangkau serta menghasilkan effluen yang aman untuk lingkungan.

Metoda penurunan fosfat yang dapat menjawab permasalahan tersebut adalah elektrokoagulasi yang merupakan metoda koagulasi dan flokulasi dengan prinsip dasar elektrokimia, yaitu dengan mengalirkan arus listrik searah (*DC = Direct Current*) yang dihubungkan dengan elektroda tertentu.

Fosfat bereaksi paling baik dengan ion aluminium dan akan membentuk endapan Aluminium Fosfat (AlPO₄), sehingga dalam penelitian ini digunakan *plat* aluminium sebagai elektroda pada proses elektrokoagulasi yang dilakukan untuk menurunkan kadar fosfat dari limbah cair *laundry* yang diteliti.

Persamaan reaksi antara ion aluminium dan fosfat adalah sebagai berikut :



Metoda elektrokoagulasi dalam pengolahan limbah cair merupakan proses kimia, dengan sumber aluminium berupa kation Aluminium (Al³⁺) yang dihasilkan dari elektrolisa logam aluminium untuk dilarutkan dalam limbah cair sebagai koagulan. *Sludge* atau endapan yang dihasilkan dari proses elektrokoagulasi lebih aman karena tidak mengandung sulfat maupun klorida seperti halnya bila menggunakan koagulan bahan kimia seperti tawas (alum) atau Al₂(SO₄)₃ dan *PAC (Poly Aluminium Chloride)*.

Kation aluminium yang terbuang ke dalam tanah akan mudah terserap oleh koloid tanah (lempung) yang juga mempunyai kandungan Al₂O₃ karena kation *aluminium trihidrat* mempunyai ukuran terkecil⁶⁾.

Hasil penelitian Wijaya²⁾ yang menerapkan *Triple Seri Elektrolisis* dengan tegangan 12 volt dan kuat arus 500 mA menunjukkan penurunan kadar fosfat pada limbah cair RS Grhasia Yogyakarta, dari kadar awal rerata 4,7553 mg/L menjadi 1,8269 mg/L atau turun 2,9284 mg/L dengan persentase penurunan sebesar 61,64 %. Penelitian ini menggunakan tiga pasang (6 buah) elektroda aluminium berukuran 15 x 15 cm dengan waktu kontak 1,5 jam atau 90 menit, pengendapan selama 1 jam (60 menit) dan debit 200 ml/menit. Pada penelitian tersebut belum dilakukan variasi jumlah elektroda untuk mengetahui yang paling efektif dalam menurunkan kadar fosfat limbah cair.

Berdasarkan uraian tersebut, penulis tertarik melakukan penelitian untuk mengetahui jumlah pasangan elektroda aluminium yang efektif pada proses elektrokoagulasi limbah cair *laundry* dari Rumah Laundry, untuk menurunkan kadar fosfat yang tinggi.

METODA

Penelitian yang dilakukan ini adalah *true experiment* dengan maksud untuk mengetahui penurunan kadar fosfat pada limbah cair *laundry* setelah mendapatkan perlakuan proses elektrokoagulasi menggunakan 3 pasang, 4 pasang, dan 5 pasang elektroda aluminium.

Penelitian ini menggunakan rancangan eksperimen ulang atau *pre-test post-test with control group design*, yaitu pemberian tiga variasi perlakuan dengan pengulangan sebanyak lima kali dengan observasi dilakukan dua kali yaitu sebelum dan setelah perlakuan diberikan. Desain penelitian ini menggunakan dua kelompok, yaitu kelompok perlakuan dan kelompok kontrol yang dipilih secara random atau acak, kemudian dilakukan *pre-test* untuk mengetahui keadaan awal

dan diberikan *post-test* untuk mengetahui pengaruh dari perlakuan⁷⁾.

Obyek dan populasi dalam penelitian ini adalah limbah cair dari "Rumah Laundry". Sampel yang digunakan untuk dilakukan elektrokoagulasi adalah sebagian limbah cair yang diambil secara *grab sample* atau pengambilan sesaat dari pipa *outlet* mesin cuci, yaitu sebanyak 50 liter untuk setiap perlakuan.

Pengolahan limbah cair *laundry* dilakukan dengan menggunakan 3 variasi jumlah elektroda aluminium pada bak elektrokoagulasi, yaitu 3 pasang (enam buah), 4 pasang (delapan buah) dan 5 pasang (sepuluh buah). Waktu kontak atau waktu tinggal pada bak elektrokoagulasi adalah 90 menit dan 60 menit pada bak sedimentasi dengan debit 200 ml/menit.

Bak elektrokoagulasi yang digunakan mempunyai volume 18 liter dengan ukuran panjang 22 cm, lebar 20 cm dan tinggi 45 cm. Bak sedimentasi mempunyai volume 12 liter dengan ukuran kotak bagian atas adalah 22 cm x 20 cm x 21 cm (panjang x lebar x tinggi), sedangkan bagian bawah berbentuk limas segi empat dengan ukuran 22 cm x 20 cm x 10 cm.

Untuk satu kali perlakuan pada setiap variasi jumlah pasangan elektroda, dibutuhkan sampel limbah cair *laundry* sebanyak 36 liter, sehingga kebutuhan untuk lima kali pengulangan pada setiap variasi jumlah elektroda adalah 180 liter. Total kebutuhan limbah cair *laundry* untuk 3 variasi jumlah elektroda dengan 5 kali pengulangan dan kontrol dengan lima kali pengulangan adalah 720 liter.

Pengukuran kadar fosfat dilakukan dengan metode *Molybdovanadate* secara *Spectrophotometry*. Data kadar fosfat yang diperoleh dari pemeriksaan sampel limbah cair pada kelompok perlakuan dan kelompok kontrol kemudian dimasukkan ke dalam *dummy* tabel yang telah dipersiapkan.

Data hasil penelitian diperoleh setelah melakukan pengujian di laboratorium. Data hasil penelitian dibuat dalam bentuk tabel dan grafik. Data yang telah diperoleh diolah dengan uji statistik un-

tuk mengetahui perbedaan antara variasi jumlah elektroda aluminium terhadap efisiensi penurunan kadar fosfat limbah cair *laundry*.

Analisis data yang digunakan adalah analisis deskriptif dan analisis statistik. Analisis deskriptif komparatif digunakan untuk mencari persentase penurunan kadar fosfat sebelum dan sesudah perlakuan. Analisis statistik menggunakan t-tes terikat untuk membandingkan kadar fosfat antara sebelum dan setelah proses elektrokoagulasi menggunakan 3 pasang, 4 pasang dan 5 pasang elektroda. Beda penurunan kadar fosfat antara variasi pasangan elektroda aluminium pada kelompok perlakuan dan kelompok kontrol tersebut diuji dengan *One Way Anava* menggunakan *SPSS For Windows* dengan taraf signifikansi (α)0,05.

HASIL

Tabel 1.
Hasil pengukuran kadar Fosfat sebelum dan sesudah perlakuan pada kelompok kontrol

Ulangan ke	Kadar Fosfat (mg/L)		Selisih kadar Fosfat (mg/L)	
	Sebelum	Sesudah	Sebelum	Sesudah
1	30,2	24,4	5,8	19,2
2	28,5	24,8	3,7	13,0
3	26,7	23,4	3,3	12,2
4	26,5	23,0	3,5	13,2
5	26,4	23,2	3,2	12,0
Jumlah	138,3	118,9	19,4	69,6
Rata-rata	27,7	23,8	3,9	13,9

Tabel 1 memperlihatkan ada selisih kadar fosfat limbah cair *laundry* antara *pre-test* dan *post-test* pada kelompok kontrol. Pada kelompok kontrol ini, kadar fosfat di limbah cair mengalami penurunan, yaitu dari rata-rata 27,7 mg/L menjadi 23,8 mg/L atau turun sebesar 3,9 mg/L (13,9 %).

Tabel 2 menunjukkan bahwa pengolahan limbah cair *laundry* dengan metoda elektrokoagulasi menggunakan 3 pasang elektroda aluminium dapat menu-

runkan kadar fosfat dari rata-rata 36,9 mg/L menjadi 21,4 mg/L atau turun sebesar 15,5 mg/L (42,1 %).

Tabel 2.
Hasil pengukuran kadar Fosfat sebelum dan sesudah perlakuan 3 pasang elektroda aluminium

Ulangan ke	Kadar Fosfat (mg/L)		Selisih kadar Fosfat (mg/L)	
	Sebelum	Sesudah	Sebelum	Sesudah
1	35,0	19,6	15,5	44,1
2	39,1	22,3	16,7	42,8
3	31,3	17,7	13,6	43,5
4	45,1	26,6	18,5	41,1
5	34,1	20,7	13,4	39,2
Jumlah	184,6	106,9	77,7	210,7
Rata-rata	36,9	21,4	15,5	42,1

Tabel 3.
Selisih kadar Fosfat perlakuan 3 pasang elektroda aluminium dan kontrol

Ulangan ke	Selisih pada perlakuan (mg/L)	Selisih pada kontrol (mg/L)	Selisih kadar Fosfat stlh dikurangi kontrol	
			(mg/L)	%
1	15,5	5,8	9,7	27,6
2	16,7	3,7	13,0	33,4
3	13,6	3,3	10,3	33,0
4	18,5	3,5	15,0	33,3
5	13,4	3,2	10,2	29,9
Jumlah	77,7	19,4	58,2	157,2
Rata-rata	15,5	3,9	11,6	31,4

Tabel 3 menunjukkan ada penurunan kadar fosfat limbah cair *laundry* di kelompok perlakuan 3 pasang elektroda aluminium setelah dikurangi dengan penurunan kadar fosfat di kelompok kontrol, yaitu rata-rata turun sebesar 11,6 mg/L atau 31,4 %.

Tabel 4 menunjukkan bahwa pengolahan limbah cair *laundry* dengan metoda elektrokoagulasi menggunakan 4 pasang elektroda aluminium dapat menurunkan kadar fosfat, secara rata-rata da-

ri 31,1 mg/L menjadi 16,3 mg/L atau turun 14,8 mg/L (48,7 %).

Tabel 4.
Hasil pengukuran kadar Fosfat sebelum dan sesudah perlakuan 4 pasang elektroda aluminium

Ulangan ke	Kadar Fosfat (mg/L)		Selisih kadar Fosfat (mg/L)	
	Sebelum	Sesudah	Sebelum	Sesudah
1	17,2	7,4	9,8	56,9
2	27,5	13,3	14,2	51,7
3	46,8	25,3	21,6	46,0
4	30,6	17,0	13,5	44,3
5	33,6	18,6	15,0	44,5
Jumlah	155,6	81,6	74,0	243,5
Rata-rata	31,1	16,3	14,8	48,7

Tabel 5.
Selisih kadar Fosfat perlakuan 4 pasang elektroda aluminium dan kontrol

Ulangan ke	Selisih pada perlakuan (mg/L)	Selisih pada kontrol (mg/L)	Selisih kadar Fosfat stlh dikurangi kontrol	
			(mg/L)	%
1	9,8	5,8	4,0	23,1
2	14,2	3,7	10,5	38,2
3	21,6	3,3	18,3	39,1
4	13,5	3,5	10,0	32,8
5	15,0	3,2	11,8	35,1
Jumlah	74,0	19,4	54,6	168,4
Rata-rata	14,8	3,9	10,9	33,7

Tabel 5 menunjukkan bahwa penurunan kadar fosfat limbah cair *laundry* kelompok perlakuan 4 pasang elektroda aluminium setelah dikurangi dengan penurunan di kelompok kontrol, secara rata-rata adalah 10,9 mg/L atau 33,7 %.

Tabel 6 menunjukkan pengolahan limbah cair *laundry* dengan metode elektrokoagulasi dengan 5 pasang elektroda aluminium dapat menurunkan kadar fosfat dari rerata 31,7 mg/L menjadi 19,1 mg/L atau turun 12,6 mg/L (40,2 %).

Tabel 6.
Hasil pengukuran kadar Fosfat sebelum dan sesudah perlakuan 5 pasang elektroda aluminium

Ulangan ke	Kadar Fosfat (mg/L)		Selisih kadar Fosfat (mg/L)	
	Sebelum	Sesudah	Sebelum	Sesudah
1	30,2	14,2	16,0	53,0
2	22,4	12,5	9,9	44,2
3	28,4	19,3	9,1	32,0
4	43,6	27,4	16,2	37,2
5	33,9	22,1	11,8	34,7
Jumlah	158,5	95,5	63,0	201,2
Rata-rata	31,7	19,1	12,6	40,2

Tabel 7.
Selisih kadar Fosfat perlakuan 5 pasang elektroda aluminium dan kontrol

Ulangan ke	Selisih pada perlakuan (mg/L)	Selisih pada kontrol (mg/L)	Selisih kadar Fosfat stlh dikurangi kontrol	
			(mg/L)	%
1	16,0	5,8	10,2	33,8
2	9,9	3,7	6,2	27,7
3	9,1	3,3	5,8	20,4
4	16,2	3,5	12,7	29,2
5	11,8	3,2	8,6	25,4
Jumlah	63,0	19,4	43,6	136,6
Rata-rata	12,6	3,9	8,7	27,3

Tabel 8.
Rekapitulasi penurunan kadar Fosfat berdasarkan variasi jumlah pasangan elektroda aluminium

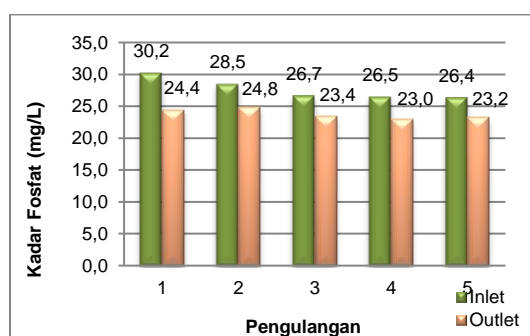
Pasangan elektroda aluminium	Kadar Fosfat (mg/L)		Selisih kadar Fosfat		Selisih stlh dikurangi kontrol	
	Sebelum	Sesudah	mg/L	%	mg/L	%
3	36,9	21,4	15,5	42,1	11,6	31,4
4	31,1	16,3	14,8	48,7	10,9	33,7
5	31,7	19,1	12,6	40,2	8,7	27,3
Jumlah	99,7	56,8	42,9	131,1	31,3	92,4
Rerata	33,2	18,9	14,3	43,7	10,4	30,8

Tabel 7 memperlihatkan penurunan kadar fosfat limbah cair laundry pada kelompok perlakuan 5 pasang elektroda aluminium setelah dikurangi penurunan kadar fosfat di kelompok kontrol, secara rata-rata adalah 8,7 mg/L atau 27,3 %.

Tabel 8 menunjukkan bahwa penurunan kadar fosfat tertinggi adalah variasi 4 pasang elektroda aluminium, yaitu sebesar 33,7 % dan yang terendah adalah variasi 5 pasang elektroda aluminium yaitu sebesar 27,3 %.

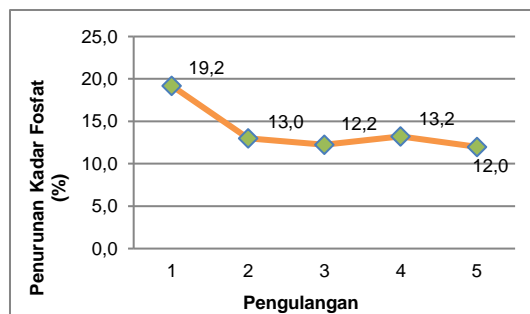
Gambar 1.

Grafik penurunan kadar Fosfat kelompok kontrol



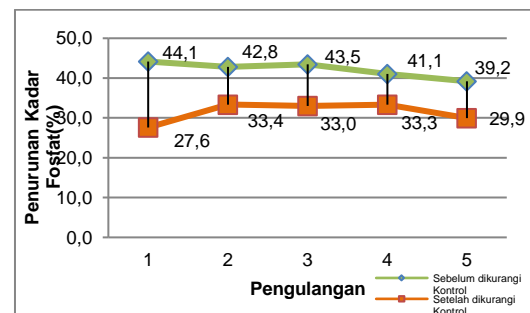
Gambar 2.

Grafik persentase penurunan kadar Fosfat kelompok kontrol pada setiap ulangan



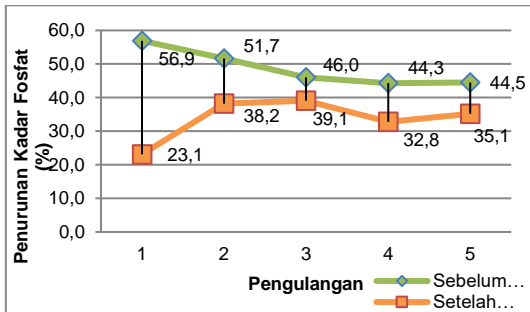
Gambar 3.

Grafik persentase penurunan kadar Fosfat perlakuan 3 pasang elektroda aluminium sebelum dan setelah dikurangi penurunan kadar fosfat kelompok kontrol



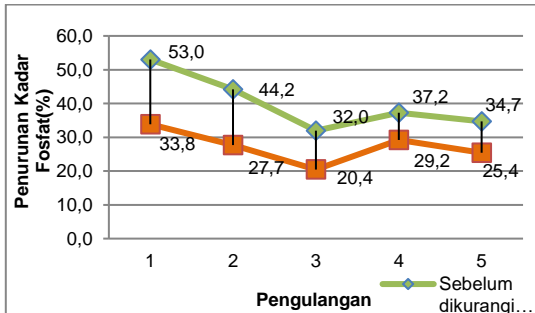
Gambar 4.

Grafik persentase penurunan kadar Fosfat perlakuan 4 pasang elektroda alumunium sebelum dan setelah dikurangi penurunan kadar fosfat kelompok kontrol



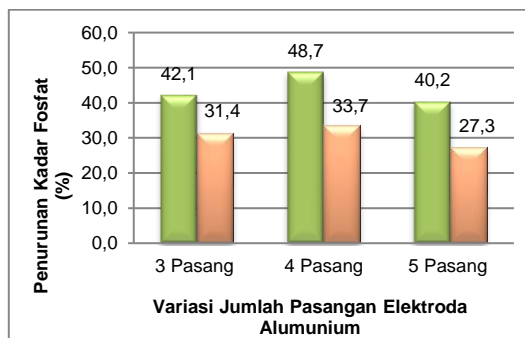
Gambar 5.

Grafik persentase penurunan kadar Fosfat perlakuan 4 pasang elektroda alumunium sebelum dan setelah dikurangi penurunan kadar fosfat kelompok kontrol



Gambar 5.

Grafik persentase penurunan kadar Fosfat kelompok perlakuan sebelum dan setelah dikurangi penurunan kadar fosfat kelompok kontrol



PEMBAHASAN

Penurunan Kadar Fosfat pada Kelompok Kontrol dan Kelompok Perlakuan

Hasil analisa statistik dengan t-test terikat menunjukkan penurunan kadar fosfat yang bermakna antara kelompok

kontrol dan kelompok perlakuan 3 pasang, 4 pasang dan 5 pasang elektroda alumunium dengan p-value < 0,05. Hal ini menunjukkan bahwa kadar fosfat limbah cair *laundry* mengalami penurunan yang bermakna setelah melalui proses elektrokoagulasi menggunakan 3 pasang, 4 pasang dan 5 pasang elektroda alumunium tersebut.

Penurunan kadar fosfat pada kelompok kontrol merupakan selisih kadar fosfat *pre-test* dan *post-test*. Di kelompok kontrol ini tidak mengalami proses elektrokoagulasi, sehingga penurunan kadar fosfat yang terjadi adalah diakibat oleh pengendapan mandiri secara gravitasi pada bak ekualisasi, bak elektrokoagulasi dan bak sedimentasi.

Pengendapan secara mandiri pada limbah cair *laundry* dipengaruhi oleh karakteristik limbah cair tersebut yaitu kekentalan, rapat massa air dan karakteristik partikel dalam larutan yang meliputi ukuran, bentuk dan massa jenis partikel⁸⁾. Pengendapan secara gravitasi terjadi karena berat atau massa dari partikel yang ada pada larutan. Semakin berat partikel maka semakin mudah untuk mengendap secara mandiri.

Partikel yang berada pada limbah cair *laundry* berasal dari kotoran yang ada pada pakaian yang dicuci. Partikel tersebut telah diikat oleh bahan kimia pengikat kotoran dari deterjen yang digunakan. Bahan kimia pengikat kotoran tersebut merupakan bahan pembentuk yang bersifat alkalis misalnya *natrium tripolifosfat*¹⁾.

Senyawa fosfat ditambahkan pada air yang digunakan untuk proses pencucian atau sebagai pembersih lainnya karena fosfat merupakan bahan utama dari pencuci atau pembersih komersial⁹⁾. Bahan pembentuk deterjen bersama-sama dengan kotoran pakaian membentuk suatu partikel tersuspensi dalam limbah cair *laundry*.

Penurunan kadar fosfat pada kelompok perlakuan menunjukkan bahwa elektroda alumunium yang disusun secara seri dan dialiri arus listrik searah (*DC = direct current*) dengan tegangan 12 volt dan kuat arus 500 mA dapat ber-

fungsi sebagai koagulan terhadap fosfat, sehingga terjadi penurunan kadar fosfat pada limbah cair *laundry* yang diberi perlakuan ¹⁰⁾. Reaksi kimia yang terjadi pada elektroda aluminium yang dialiri arus listrik searah adalah sebagai berikut :

Reaksi pada anoda (oksidasi) :
 $2 \text{Al} \longrightarrow 2 \text{Al}^{3+} + 6 \text{e}^{-}$

Reaksi pada katoda (reduksi) :
 $6 \text{H}_2\text{O} + 6 \text{e}^{-} \longrightarrow 6 \text{OH}^{-} + 3 \text{H}_2$

$2 \text{Al} + 6 \text{H}_2\text{O} \longrightarrow 2 \text{Al}(\text{OH})_3 + 3 \text{H}_2$

Reaksi terhadap limbah cair *laundry* yang mengandung fosfat :

$\text{Al}^{3+} + \text{H}_n\text{PO}_4^{3-n} \longrightarrow \text{AlPO}_4 + n\text{H}^{+}$

Elektroda aluminium yang berfungsi sebagai kutub negatif (katoda) akan mengalami reduksi menghasilkan gas H_2 dan OH^{-} , sedangkan elektroda aluminium yang berfungsi sebagai kutub positif (anoda) akan mengalami oksidasi sehingga melepaskan kation Al^{3+} . Kation Al^{3+} akan berikatan dengan OH^{-} membentuk $\text{Al}(\text{OH})_3$ yang bersifat basa ¹¹⁾.

Terbentuknya $\text{Al}(\text{OH})_3$ yang berfungsi sebagai koagulan akan mengikat fosfat dalam larutan limbah cair *laundry* membentuk AlPO_4 berupa endapan atau flok . Ikatan Al^{3+} dan fosfat (AlPO_4) yang membentuk flok akan terdorong ke permukaan cairan oleh gas H_2 yang terbentuk dari reaksi reduksi pada elektroda negatif (katoda). Flok-flok tersebut saling bertemu dan bergabung membentuk flok yang lebih besar.

Gabungan flok yang terbentuk akan mengendap apabila massa jenisnya telah lebih besar dari massa jenis larutan, sehingga kadar fosfat di dalam limbah mengalami penurunan ¹²⁾. Pengendapan ini merupakan tipe pengendapan partikel flok atau *flocculant settling* ⁸⁾.

Penurunan Kadar Fosfat Kelompok Perlakuan Elektrokoagulasi antara Menggunakan 3 Pasang, 4 Pasang dan 5 Pasang Elektroda Aluminium.

Persentase penurunan kadar fosfat limbah cair *laundry* antara 3 pasang dan

4 pasang elektroda aluminium mengalami peningkatan yaitu dari 31,4 % pada 3 pasang, menjadi 33,7 % pada 4 pasang elektroda. Peningkatan jumlah pasangan elektroda aluminium berbanding lurus dengan peningkatan luas permukaannya dan berbanding lurus dengan peningkatan jumlah Al^{3+} yang dilepaskan oleh anoda yang mengalami oksidasi.

Hasil penelitian Sutanto dan Widjajanto ¹³⁾ menunjukkan bahwa pada kondisi proses yang sama, penggunaan 3 pasang elektroda lebih tinggi efisiensinya dibandingkan dengan 2 pasang.

Semakin banyak Al^{3+} yang dilepaskan dari hasil reaksi oksidasi pada elektroda aluminium yang berfungsi sebagai anoda, maka semakin banyak pula polutan fosfat yang dapat diikat dan diapungkan maupun diendapkan di dalam tangki. Peningkatan pembentukan Al^{3+} diikuti oleh peningkatan pembentukan $\text{Al}(\text{OH})_3$ yang berfungsi sebagai koagulan ¹³⁾. Peningkatan pembentukan $\text{Al}(\text{OH})_3$ dapat meningkatkan penyisihan fosfat dalam limbah cair *laundry*.

Peningkatan penurunan kadar fosfat pada variasi 4 pasang elektroda aluminium juga disebabkan oleh peningkatan pembentukan gas H_2 dari elektroda aluminium yang berfungsi sebagai katoda sehingga dapat menyebabkan partikel ringan dengan massa jenis kurang dari massa jenis air naik ke permukaan ¹¹⁾. Kation Al^{3+} mengikat fosfat membentuk AlPO_4 yang akan berbentuk flok, terdorong ke permukaan cairan oleh gas H_2 yang dihasilkan dari elektroda aluminium yang berfungsi sebagai katoda ¹⁴⁾.

Penurunan kadar fosfat pada variasi 5 pasang elektroda aluminium lebih rendah dibandingkan dengan penurunan oleh variasi 3 pasang dan 4 pasang, yaitu 27,3 %. Peningkatan jumlah pasangan elektroda aluminium pada kondisi tegangan dan arus listrik yang sama, memiliki batasan optimum yang artinya bahwa semakin banyak jumlah pasangan elektroda aluminium yang digunakan belum tentu semakin besar pula penurunan kadar fosfat limbah cair yang dihasilkan.

Peningkatan jumlah elektroda aluminium menyebabkan rapat arus yang

terjadi pada elektroda tersebut semakin rendah. Rapat arus yang dihasilkan dari tegangan 12 volt 500 mA pada 10 elektroda aluminium, lebih kecil jika dibandingkan dengan rapat arus pada 6 dan 8 elektroda aluminium.

Rapat arus adalah aliran muatan listrik pada suatu luas penampang tertentu di suatu titik penghantar, yang dinyatakan dengan satuan Ampere per meter persegi (A/m^2). Rapat arus menentukan laju pelepasan kation logam dari anoda serta pelepasan gelembung udara atau gas H_2 ¹⁵⁾.

Rapat arus berbanding terbalik dengan peningkatan luas penampang elektroda pada penggunaan kuat arus yang sama. Rapat arus yang terjadi pada elektroda dipengaruhi oleh kuat tegangan (beda potensial) dan luas permukaannya. Kuat tegangan berbanding lurus dengan besarnya arus listrik yang mengalir pada elektroda. Arus listrik yang menyebabkan terjadinya reaksi reduksi dan oksidasi pada elektroda sehingga semakin besar arus listrik, semakin banyak pula aluminium hidroksida atau $Al(OH)_3$ dan gelembung H_2 yang terbentuk¹⁶⁾. Semakin tinggi kerapatan arus maka semakin besar laju pelepasan ion Al^{3+} akibat proses oksidasi elektrolisis¹⁷⁾.

Arus yang semakin meningkat akan menyebabkan peningkatan pembentukan $Al(OH)_3$ yang berperan sebagai koagulan, sehingga semakin banyak polutan dalam limbah cair yang dapat diendapkan¹³⁾. Saat kuat tegangan dan arus listrik rendah, pembentukan aluminium hidroksida juga rendah sehingga tingkat penyisihan fosfat juga rendah¹²⁾.

Perbedaan Penurunan Kadar Fosfat Kelompok Perlakuan dan Kelompok Kontrol

Hasil uji *t-test* terikat menunjukkan bahwa nilai *p-value* antara 3, 4, dan 5 pasang elektroda aluminium mengalami fluktuasi. Hal ini dapat disebabkan karena beberapa hal. Yang pertama adalah tertutupnya permukaan elektroda oleh flok. Penurunan persentase penyisihan kadar fosfat limbah *laundry* pada pengulangan dapat disebabkan oleh keje-

nuhan elektroda aluminium yang digunakan, yaitu tertutupnya permukaan elektroda oleh flok yang terbentuk sehingga berkurang kemampuannya untuk mengalami reaksi reduksi dan oksidasi. Tertutupnya permukaan elektroda ini menyebabkan penurunan medan magnet sehingga kemampuan elektroda untuk menarik ion fosfat menjadi berkurang¹⁸⁾.

Yang kedua adalah pencucian bak dan elektroda aluminium. Penelitian ini menggunakan 5 kali ulangan untuk setiap variasi jumlah pasangan elektroda aluminium. Pada setiap pengulangan untuk masing-masing variasi tersebut, dilakukan pencucian bak, pembersihan pipa, dan pencucian elektroda. Pencucian bak dan pembersihan pipa dilakukan dengan membilas menggunakan air bersih melalui kran pembuang. Pencucian elektroda aluminium dilakukan dengan cara mengguyurnya dengan air bersih lalu dibersihkan menggunakan sikat lembut.

Pembersihan elektroda aluminium dilakukan dengan menggunakan sikat lembut karena banyak flok-flok yang menempel. Flok yang dihasilkan pada saat proses elektrokoagulasi tersebut harus dibersihkan karena jika digunakan untuk pengulangan percobaan dapat menghambat reaksi reduksi dan oksidasi.

Reaksi reduksi dan oksidasi yang terhambat oleh adanya flok yang menempel pada elektroda aluminium, akan mempengaruhi laju pelepasan Al^{3+} dan pembentukan gas H_2 serta OH^- , sehingga menghambat pembentukan koagulan $Al(OH)_3$ dan akan mengurangi reaksi pengikatan fosfat di dalam limbah *laundry*.

Pencucian elektroda aluminium yang kurang bersih dapat mempengaruhi reaksi reduksi dan oksidasi selama proses elektrokoagulasi, sehingga menyebabkan fluktuasi penurunan kadar fosfat limbah cair *laundry* pada setiap percobaan pengulangan.

Yang ketiga adalah pengikisan permukaan elektroda aluminium. Penggunaan elektroda aluminium untuk 5 kali percobaan pengulangan pada setiap variasi jumlah pasangan elektroda, menyebabkan elektroda tersebut mengalami pengikisan pada permukaannya oleh ka-

rena terlepasnya Al^{3+} pada reaksi oksidasi pada elektroda yang berfungsi sebagai anoda¹⁹⁾. Adanya pengikisan pada elektroda aluminium, menyebabkan tingkat penurunan kadar fosfat di dalam limbah cair *laundry* juga semakin menurun pada pengulangan percobaan, sehingga persentase penyisihan kadar fosfat pada pengulangan ke-5 menjadi lebih rendah dibandingkan dengan percobaan sebelumnya. Kondisi ini terjadi pada semua tiga variasi jumlah pasangan elektroda aluminium yang digunakan.

Perbedaan Penurunan Kadar Fosfat Kelompok Perlakuan setelah dikurangi Penurunan Kadar Fosfat Kelompok Kontrol Berdasarkan Uji One Way Anava

Hasil uji statistik dengan *one way Anava* menunjukkan bahwa nilai *p* antar perlakuan pada variasi jumlah pasangan elektroda aluminium adalah $> 0,05$ sehingga dapat disimpulkan tidak ada perbedaan yang terjadi antara perlakuan elektrokoagulasi menggunakan 3 pasang, 4 pasang dan 5 pasang elektroda aluminium terhadap penurunan kadar fosfat di dalam limbah cair *laundry*.

Tidak adanya perbedaan tersebut disebabkan karena pengaruh tegangan dan kuat arus yang digunakan dalam proses elektrokoagulasi serta karakteristik limbah cair *laundry* yang mempengaruhi beban pengolahan. Aliran listrik menyebabkan terjadinya reaksi kimia dalam larutan yaitu pembentukan aluminium hidroksida atau $Al(OH)_3$ dan gelembung gas H_2 ¹²⁾.

Semakin besar tegangan yang diberikan dalam proses elektrolisis, maka efisiensi penyisihan polutan semakin baik. Secara teoritis, menurut hukum Ohm, tegangan berbanding lurus dengan kuat arus. Semakin besar tegangan maka arus juga akan semakin besar. Hukum Faraday menyebutkan bahwa semakin besar arus maka akan semakin besar laju pelepasan kation logam, sehingga efisiensi penyisihan polutan dalam sampel menjadi semakin besar²⁰⁾.

Pada tegangan 12 Volt dan kuat arus 500 mA, reaksi reduksi dan oksidasi

pada elektroda aluminium lemah sehingga laju pelepasan Al^{3+} dan pembentukan gas H_2 maupun OH^- juga rendah.

Laju pelepasan Al^{3+} yang rendah diikuti dengan pembentukan koagulan $Al(OH)_3$ yang rendah pula, sehingga menyebabkan rendahnya pengikatan fosfat dalam limbah cair *laundry*. Kadar fosfat yang tinggi dalam limbah cair *laundry* tidak diimbangi dengan pengikatan oleh $Al(OH)_3$ sehingga tingkat penurunan kadar fosfat menjadi kecil.

Tegangan dan kuat arus yang rendah juga menyebabkan flok atau endapan $AlPO_4$ yang terbentuk hanya berupa butiran-butiran kecil dan tidak stabil (kurang mampat) sehingga tidak dapat mengendap seluruhnya pada bak sedimentasi. Flok yang kurang mampat tersebut juga disebabkan karena pengadukan atau kecepatan aliran yang lambat dengan waktu tinggal yang lama, sehingga menyebabkan *gradient* hidraulik menjadi kecil⁸⁾.

Semakin cepat aliran, maka waktu kontak atau waktu tinggal semakin singkat. Semakin lambat aliran, maka waktu kontak atau waktu tinggal akan semakin lama. Waktu kontak akan mempengaruhi kecepatan dan efisiensi terjadinya pembentukan flok²¹⁾. *Gradient* hidraulik yang kecil menyebabkan flok yang terbentuk menjadi terpecah kembali saat perjalanan dari *inlet* ke *outlet*.

Efektifitas penurunan kadar fosfat limbah cair *laundry* pada penelitian ini adalah sebesar 33,7 % pada penggunaan 4 pasang elektroda aluminium. Teknik elektrokoagulasi pada penelitian ini merupakan pengolahan terhadap limbah cair *laundry* yang belum mengalami perlakuan apapun. Limbah cair *laundry* dengan kadar fosfat awal yang tinggi (lebih dari 20 mg/L) mempengaruhi beban pengolahan pada proses elektrokoagulasi sehingga tingkat penurunan kadar fosfat menjadi lebih rendah apabila dibandingkan dengan penelitian Wijaya²⁾.

Hasil penelitian Wijaya²⁾ tersebut menunjukkan bahwa pada proses elektrokoagulasi menggunakan 3 pasang elektroda aluminium dengan tegangan 12 volt dan kuat arus 500 mA dapat menu-

runkan kadar fosfat limbah cair RS Grhasia Yogyakarta sebesar 61,64 % atau turun 2,9284 mg/L dari kadar fosfat awal 4,7553 mg/L menjadi 1,8269 mg/L. Tingkat penurunan kadar fosfat yang mencapai 61,64 % pada penelitian tersebut disebabkan karena proses elektrokoagulasi menggunakan 3 pasang elektroda aluminium berperan sebagai pengolahan lanjutan yaitu pengolahan tambahan terhadap limbah cair yang telah mengalami pengolahan sebelumnya namun masih mempunyai kadar fosfat yang melebihi baku mutu.

Kualitas Limbah Cair Laundry Hasil Proses Elektrokoagulasi terhadap Baku Mutu Air Limbah

Penurunan kadar fosfat limbah cair *laundry* pada perlakuan 3 pasang, 4 pasang dan 5 pasang elektroda aluminium belum menghasilkan effluen yang memenuhi baku mutu limbah cair menurut Peraturan Gubernur D. I. Yogyakarta No. 7 Tahun 2016 tentang Baku Mutu Air Limbah (Baku Mutu Air Limbah Untuk Kegiatan Industri Sabun).

Kadar fosfat hasil proses elektrokoagulasi belum memenuhi baku mutu air limbah karena flok yang terbentuk masih berupa butiran-butiran kecil dan belum stabil, sehingga tidak bisa mengendap secara maksimal di dalam bak sedimentasi. Pembentukan flok yang belum stabil itu disebabkan karena penggunaan tegangan dan kuat arus yang kecil yaitu 12 volt 500 mA, sehingga reaksi reduksi dan oksidasi pada elektroda aluminium menjadi kecil.

Besarnya tegangan yang digunakan pada proses elektrokoagulasi mempengaruhi besar arus yang dihasilkan ¹²⁾. Besar tegangan listrik pada elektroda mempengaruhi kemampuan elektroda dalam membentuk koagulan. Semakin besar arus listrik yang diterima maka jumlah kation yang dilepaskan oleh anoda akan semakin besar ²²⁾. Tegangan dan kuat arus yang kecil menyebabkan reaksi reduksi dan oksidasi yang kecil pada elektroda aluminium, sehingga berpengaruh terhadap $Al(OH)_3$ dan gas H_2 yang dihasilkan. Semakin kecil reaksi re-

duksi dan oksidasi yang terjadi pada elektroda aluminium, maka semakin kecil pula $Al(OH)_3$ dan gas H_2 yang terbentuk. Dengan kondisi tersebut, senyawa fosfat yang dapat diikat oleh $Al(OH)_3$ dan gas H_2 juga semakin kecil, sehingga penurunan kadar fosfat juga rendah.

Arus listrik semakin besar apabila tegangan yang digunakan juga semakin besar. Semakin besar tegangan dan arus yang diberikan pada proses elektrolisis, maka penyisihan polutan dalam larutan akan semakin besar ²⁰⁾.

Penggunaan arus yang lebih besar dapat meningkatkan reaksi reduksi dan oksidasi pada elektroda aluminium, sehingga ion Al^{3+} dan gas H_2 yang dihasilkan semakin banyak dan berikatan dengan OH^- membentuk koagulan $Al(OH)_3$ dalam jumlah banyak yang akan mengikat fosfat dengan cepat dan dalam jumlah yang banyak, sehingga penyisihan fosfat menjadi lebih besar ¹⁷⁾.

Kadar fosfat limbah cair *laundry* hasil elektrokoagulasi menggunakan 3 pasang, 4 pasang dan 5 pasang elektroda aluminium yang masih lebih tinggi dari baku mutu, yaitu 2 mg/L, disebabkan juga oleh karakteristik limbah cair *laundry* yang pekat dengan rerata kadar fosfat awal > 20 mg/L sehingga beban pengolahan menjadi besar dengan tingkat penyisihan yang rendah dan belum mampu memenuhi persyaratan baku mutu.

Kandungan fosfat yang melebihi baku mutu secara terus menerus pada badan air akan menimbulkan dampak berupa eutrofikasi, yaitu keadaan badan air yang menjadi kaya akan nutrisi terlarut sehingga meningkatkan pertumbuhan alga (*algae bloom*) dan sinar matahari tidak dapat menembus lapisan air.

Eutrofikasi tersebut menyebabkan proses fotosintesis tanaman dalam air tidak dapat berlangsung ²⁾. Kondisi eutrofik yang terus menerus dan terjadinya ledakan populasi alga menyebabkan tertekannya kadar oksigen terlarut (*dissolved oxygen*) sehingga berpengaruh terhadap kandungan oksigen terlarut dalam air.

Penurunan kandungan oksigen terlarut dalam badan air akan menggang-

gu kemampuan daya dukung badan air terhadap biota yang ada dan menurunkan kualitas air sungai. Salah satu dampak yang terjadi adalah kematian ikan yang ada di perairan tersebut³⁾.

KESIMPULAN

Berdasarkan hasil penelitian yang telah dilakukan, dapat diperoleh kesimpulan bahwa teknologi elektrokoagulasi dapat menjadi salah satu alternatif dalam menurunkan kadar fosfat limbah cair *laundry*. Hal ini dapat dibuktikan dengan hasil uji statistik bahwa ada perbedaan penurunan kadar fosfat limbah cair antara kelompok perlakuan dan kelompok kontrol, yaitu untuk 3 pasang elektroda aluminium dengan *p-value* < 0,001; 4 pasang elektroda aluminium dengan *p-value* 0,009; dan 5 pasang elektroda aluminium dengan *p-value* 0,002.

Rerata penurunan kadar fosfat limbah cair *laundry* dengan menggunakan 3 pasang elektroda aluminium adalah sebesar 31,4 %. Rerata penurunan kadar fosfat tersebut meningkat pada penggunaan 4 pasang elektroda aluminium, yaitu sebesar 33,7 %, dan pada penggunaan 5 pasang elektroda aluminium, penurunan kadar fosfat limbah cair *laundry* adalah sebesar 27,3 %.

Dari hasil tersebut dapat diketahui bahwa penurunan kadar fosfat limbah cair *laundry* yang paling efektif pada proses elektrokoagulasi dalam penelitian ini adalah sebesar 33,7 % pada perlakuan 4 pasang elektroda aluminium, dengan tegangan 12 volt, kuat arus 500 mA, dan jarak antar elektroda 2 cm.

Berdasarkan hasil uji *one way Anova* dengan taraf signifikan 0,05 terhadap penurunan kadar fosfat kelompok perlakuan setelah dikurangi penurunan kadar fosfat kelompok kontrol, diperoleh nilai $p > 0,05$ sehingga dapat dikatakan bahwa tidak ada perbedaan antara perlakuan menggunakan 3 pasang, 4 pasang dan 5 pasang elektroda aluminium terhadap penurunan kadar fosfat limbah cair *laundry*.

Kadar fosfat hasil proses elektrokoagulasi limbah cair *laundry* menggu-

nakan 3, 4 dan 5 pasang elektroda aluminium belum memenuhi baku mutu yang diatur oleh Peraturan Gubernur D. I. Yogyakarta No. 7 Tahun 2016 tentang Baku Mutu Air Limbah (Baku Mutu Air Limbah untuk Kegiatan Industri Sabun).

SARAN

Bagi penelitian lain disarankan untuk melakukan pengolahan limbah cair *laundry* metoda elektrokoagulasi dengan menggunakan tegangan dan kuat arus yang lebih besar dari 12 volt dan 500 mA untuk memperoleh persentase penyisihan fosfat yang lebih besar.

Pengolahan limbah cair *laundry* untuk menurunkan kadar fosfat dapat dilakukan dengan kombinasi metode antara pengolahan secara biologis dan elektrokoagulasi. Pengolahan secara biologis dapat dilakukan dengan menggunakan tanaman air (fitoremediasi) dan biofilter. Metoda pengolahan kombinasi biologis dan elektrokoagulasi tersebut diharapkan dapat meringankan beban pengolahan dan meningkatkan efisiensi.

DAFTAR PUSTAKA

1. Wardhana, W. A., 1995. *Dampak Pencemaran Lingkungan*, 1st ed., Andi Offset, Yogyakarta.
2. Wijaya, D. A., Bagyono, T. & Suwenda, B., 2013. Efektifitas pengolahan limbah cair dengan model *triple seri elektrolisis* dalam menurunkan kadar fosfat di IPAL RS Grhasia Yogyakarta, *Sanitasi, Jurnal Kesehatan Lingkungan*, 5(2), pp.51–100.
3. Sarudji, D., 2010. *Kesehatan Lingkungan I.*, CV. Karya Putra Darwati Bandung.
4. Astuti, S. W. & Sinaga, M. S., 2015. Pengolahan limbah *laundry* menggunakan metode *biosand filter* untuk mendegradasi fosfat, *Jurnal Teknik Kimia USU*, 4(2).
5. Hutomo, S. W. S., 2015. Keefektifan Dosis *Poly Aluminium Chloride (PAC)* dalam Menurunkan Kadar Fosfat pada Air Limbah Laundry di Gatak Gede, *Bojolali*.

6. Iswanto, B., 2012. Pemanfaatan teknologi elektrokoagulasi untuk pengolahan limbah domestik skala aplikasi komunal, *Penelitian Masalah Lingkungan di Indonesia*, 2.
7. Sugiyono, 2010. *Metode Penelitian Administrasi*, 18th ed., Bandung.
8. Kamulyan, B., 1997. *Diktat Kuliah Teknik Penyehatan I.*, Laboratorium Teknik Penyehatan dan Lingkungan, Teknik Sipil dan Lingkungan, UGM Yogyakarta.
9. Clesceri, L. S., Greenberg, A. E. & Eaton, A. D., 1998. *Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater*, 20th ed., American Public Health Association, USA.
10. Gameissa, M. W., Suprihatin & Indrasti, N. S., 2012. Pengolahan tersier limbah cair industri pangan dengan teknik elektrokoagulasi menggunakan elektroda stainless steel. *E-Jurnal Agroindustri Indonesia*, 1(1), pp.31–37.
11. Tonapa, Y., Ngatin, A. & Gozali, M., 2010. Kaji Analisis Pengaruh Jumlah Pasangan Elektroda dan Waktu Proses Pengolahan Limbah Tekstil dengan Metode Elektrokoagulasi terhadap Penyisihan COD dan Penurunan Turbiditas, *IRWSN - Peran Sains Terapan dalam Meningkatkan Kapasitas Inovasi Nasional Menuju Kemandirian Bangsa*, (22), pp.1–8.
12. Kurniasih, R. F., Gunawan, R. & Panggabean, A. S., 2016. Aplikasi metode elektrokoagulasi terhadap penurunan kadar ion logam Fe dan Mn, kekeruhan serta warna pada pengolahan air gambut secara *Batch*. *Jurnal Atomik*, 1, pp.42–46.
13. Sutanto & Widjanto, D., 2014. Perbandingan efisiensi bak proses dua sel dan tiga sel dalam menurunkan kandungan besi (Fe) dalam Air limbah secara elektrokoagulasi dengan katoda dari karbon bekas Baterai, *Poli-Teknologi*, 14(2).
14. Hanum, F. et al., 2015. Aplikasi elektrokoagulasi dalam pengolahan limbah cair pabrik kelapa sawit, *Jurnal Teknik Kimia USU*, 4(4), pp.13–17.
15. Mukimin, A., 2006. *Pengolahan Limbah Industri Berbasis Logam dengan Teknologi Elektrokoagulasi Flo-tasi*.
16. Newman, J. S., 1984. *Electrochemical System*, 2nd ed., Prentice Hall International Inc, New Jersey.
17. Nur, A. & Jatnik, A., 2014. Aplikasi elektrokoagulasi pasangan elektroda aluminium pada proses daur ulang Grey Water Hotel, *Prosiding SNSTL I*, I(September).
18. Wahyulis, N. C., Ulfan, I. & Harmami, 2014. *Optimasi Tegangan pada Proses Elektrokoagulasi Penurunan Kadar Kromium dari Filtrat Hasil Hidrolisis Limbah Padat Penyamakan Kulit*, 3(2), pp.9–11.
19. Rachmawati, B., Surya P. Y. & Mohamad, M., 2014. Proses elektrokoagulasi pengolahan limbah laundry, *Jurnal Ilmiah Teknik Lingkungan*, 6(1), pp.15–22.
20. Satriananda, 2011. Penyisihan besi (Fe) dalam air dengan proses elektrokoagulasi, *Jurnal Rekasi (Journal of Science and Technology) Jurusan Teknik Kimia Politeknik Negeri Lhokseumawe*, 7(15).
21. Prabowo, A., Basrori, G. H. & Purwanto, 2012. Pengolahan limbah cair yang mengandung minyak dengan proses elektrokoagulasi dengan elektroda besi, *Jurnal Teknologi Kimia dan Industri*, 1(1), pp.352–355.
22. Wardhani, E., Dirgawati, M. & Valyana, K. P., 2012. Penerapan metode elektrokoagulasi dalam pengolahan air limbah industri penyamakan kulit, *Seminar Ilmiah Nasional, Penelitian Masalah Lingkungan di Indonesia 8*, Kampus Universitas Gadjah Mada, 12 Juli 2012.