



Pengaruh Waktu Kontak dan Debit Aliran Proses Penyisihan Fe dan Mn pada Air Limbah Elektroplating Menggunakan Cascade Aerator

M. Ragiell Ramadhan Lubis^{1*}, Syarfi¹, Ida Zahrina²

¹Program Studi Teknik Lingkungan, Fakultas Teknik, Universitas Riau, Pekanbaru, Indonesia

²Program Studi Teknik Kimia, Fakultas Teknik, Universitas Riau, Pekanbaru, Indonesia

Email Penulis: mragiellramadhanlubis@gmail.com

Abstrak

Air limbah elektroplating memiliki kandungan Fe dan Mn yang tinggi. Salah satu cara pengolahan untuk menyisihkan kadar Fe dan Mn pada air limbah elektroplating adalah metode aerasi menggunakan *cascade aerator*. Aerasi merupakan proses penambahan oksigen ke dalam air sehingga dapat menimbulkan reaksi oksidasi Fe dan Mn yang akan membentuk endapan $\text{Fe}(\text{OH})_3$ dan MnO_2 . Penelitian ini bertujuan untuk menurunkan kadar Fe dan Mn pada air limbah elektroplating dengan menggunakan variasi waktu kontak 180 menit, 240 menit dan 300 menit dan variasi debit aliran 70 mL/s, 80 mL/s dan 90 mL/s. Kemudian dilakukan perhitungan nilai koefisien transfer gas (K_La) selama proses aerasi. Kadar Fe dan Mn sebelum proses aerasi adalah 9,84 mg/L dan 4,78 mg/L. Hasil penelitian didapatkan penurunan kadar Fe tertinggi pada waktu 240 menit dengan debit aliran 90 mL/s dengan efisiensi sebesar 70,63% dan penurunan kadar Mn tertinggi terjadi pada waktu kontak 300 menit dengan debit aliran 90 mL/s dengan efisiensi sebesar 62,76%. Nilai koefisien transfer gas (K_La) tertinggi terjadi pada waktu kontak 300 menit dengan debit aliran 90 mL/s sebesar 0,0975 K_La / menit. Hasil penelitian yang diperoleh sudah memenuhi standar baku mutu air limbah menurut Peraturan Menteri Lingkungan Hidup no 5 Tahun 2014 tentang Baku Mutu Air Limbah.

Kata Kunci: Cascade aerator, waktu kontak, debit aliran, besi, mangan

1. PENDAHULUAN

Elektroplating merupakan proses pelapisan yang menggunakan prinsip pengendapan logam secara elektrokimia yang dilakukan dengan menggunakan arus listrik untuk mengurangi kation logam terlarut yang berfungsi membentuk lapisan logam yang berhubungan dengan elektroda. Pengendapan terjadi dalam larutan yang mengandung ion logam, zat pereduksi, katalis dan zat aditif lainnya agar dapat mendorong reaksi (Hosseini, 2016). Karakteristik limbah cair pada limbah industri elektroplating yaitu logam besi (Fe) memiliki kandungan logam tertinggi sebesar 46 mg/L dan logam mangan (Mn) sebesar 9 mg/L. Kadar Fe yang tinggi berasal dari proses elektroplating kuningan yang biasanya digunakan benda kerja yang terbuat dari seng atau besi baja (Salimin dkk., 2013).

Salah satu metode yang dapat digunakan untuk mengolah air dengan kandungan logam Fe yang tinggi adalah aerasi. Aerasi merupakan proses pengolahan dengan penambahan oksigen ke dalam air dengan reaksi oksidasi Fe membentuk endapan $\text{Fe}(\text{OH})_3$ dan Mn membentuk endapan MnO_2 . Tujuan utama aerasi adalah untuk memaksimalkan kontak antara air dan udara, sehingga dapat meningkatkan oksigen, seiring bertambahnya waktu injeksi udara ke dalam air dengan hasil akhir berupa oksigen terlarut (DO) yang meningkat. Kenaikan konsentrasi DO menandai keberhasilan transfer gas selama

proses aerasi (Karuniawan & Ali, 2021). Salah satu jenis aerator yang dapat digunakan yaitu *Cascade Aerator*. *Cascade Aerator* yang digunakan pada penelitian ini akan mengalirkan air secara gravitasi karena beda ketinggian dari step satu ke step yang lain dalam *cascade aerator*.

Cascade aerator berfungsi mengontakkan oksigen dari udara pada saat air terjun dari setiap step/trap yang membawanya. Faktor yang dapat mempengaruhi perpindahan oksigen dalam proses aerasi diantaranya yaitu (Benefield, 1980) :

1. Suhu

Koefisien transfer gas (K_La) akan meningkat seiring dengan kenaikan suhu. Suhu dalam air akan mempengaruhi tingkat difusi, tegangan permukaan dan kekentalan air. Kemampuan difusi oksigen meningkat dengan peningkatan suhu, sedang tegangan permukaan dan kekentalan terjadi penurunan seiring dengan kenaikan suhu.

2. Kejenuhan Oksigen

Konsentrasi jenuh oksigen (C_s) dalam air tergantung pada suhu dan tekanan parsial oksigen yang berkontak dengan air. Secara teoritis konsentrasi oksigen terlarut dalam air pada tekanan 760 mmHg dapat diketahui melalui tabel 1.

Tabel 1 Konsentrasi Oksigen Terlarut Jenuh pada Tekanan 760 mmHg

Suhu	DO
23	8,68
24	8,53
25	8,38
26	8,22
27	8,07
28	7,92
29	7,77
30	7,63

Sumber : Benefield & Randall (1980)

1. Karakteristik Air

Dalam praktik ada perbedaan nilai K_La untuk air bersih dengan K_La air limbah yang mengandung materi tersuspensi, surfaktan (detergen) dalam larutan dan perbedaan temperatur. Faktor-faktor ini juga mempengaruhi nilai C_s .

2. Turbulensi Air

Derajat turbulensi dalam tangki aerasi akan mempengaruhi nilai α sebagai turbulensi yang akan meningkatkan laju perpindahan masa oksigen karena terjadi percepatan laju pergantian permukaan bidang kontak, yang berakibat pada defisit oksigen tetap terjaga konstan. Turbulensi secara langsung juga akan meningkatkan nilai koefisien perpindahan oksigen (K_La).

K_La merupakan koefisien transfer gas secara keseluruhan dan memiliki satuan per waktu (time⁻¹). Hubungan antara konsentrasi dengan waktu dinyatakan dengan persamaan diferensial berikut (Metcalf dan Eddy, 2003) :

$$\frac{dc}{dt} = K_La (C_s - C) \dots\dots\dots (1)$$

Dimana :

$\frac{dc}{dt}$ = Gradient konsentrasi

K_La = Koefisien transfer total, jam⁻¹

C_s = Konsentrasi gas jenuh, mg/L

C = Konsentrasi gas di cairan, mg/L

K_{La} merupakan koefisien transfer gas secara keseluruhan dan memiliki satuan per waktu (time-1). Hubungan antara konsentrasi dengan waktu dinyatakan dengan persamaan diferensial berikut (Metcalf dan Eddy, 2003) :

$$\ln (C_s - C_t) = \ln (C_s - C_0) - K_{La} \cdot t \quad (2.2) \quad (2)$$

Dari data percobaan dengan konsentrasi awal oksigen C_s dan konsentrasi oksigen dalam interval waktu percobaan C , kemudian dapat di plot ke dalam grafik $\ln (C_s - C)$ Vs time (t), maka diperoleh garis lurus dengan besarnya sudut arah (slope) adalah K_{La} (Benefield, 1980). Hubungan antara $\ln (C_s - C)$ terhadap waktu untuk mendapatkan nilai koefisien transfer gas (K_{La}) dapat dilihat pada Gambar 1, Gambar 2 dan Gambar 3.

2. METODE PENELITIAN

2.1 Bahan Penelitian

Sampel yang digunakan adalah air limbah elektroplating

2.2 Alat Penelitian

Alat utama yang digunakan pada penelitian adalah *cascade aerator* dari kaca akrilik, pompa akuarium, bak penampung 1 berkapasitas 30 liter dilengkapi kran, bak penampung 2 berkapasitas 30 liter, selang air, jerigen kapasitas 30 liter, *atomic absorption spectrophotometer* (AAS), pipet volume, bola hisap, DO meter, pH meter.

2.3 Variabel Penelitian

2.3.1 Variabel Bebas

Variabel bebas dalam penelitian ini adalah

- Waktu kontak 180 menit, 240 menit dan 300 menit.
- Debit aliran 70 mL/s, 80 mL/s, dan 90 mL/s

2.3.2 Variabel Tetap

Variabel tetap dalam penelitian ini adalah:

- Luas permukaan *cascade aerator* 1000 cm² yang terdiri dari 10 step dengan panjang 50 cm, lebar 20 cm, tinggi step 15 cm dan total tinggi *cascade aerator* 1,5 meter (Pribadi dkk, 2018).
- Volume umpan masing-masing 30 liter (Pribadi dkk, 2018).
- Waktu pengendapan 10 menit (Pribadi dkk, 2018).

2.3.3 Variabel Terikat

Variabel terikat dalam penelitian ini adalah besarnya nilai penurunan kadar besi (Fe) dan mangan (Mn).

2.4 Prosedur Penelitian

Tahapan penelitian pada *cascade aerator* adalah sebagai berikut:

- Air limbah elektroplating sebanyak 30 liter dimasukkan ke dalam bak penampung 1.
- Kran pada bak penampung 1 dibuka dan diatur debitnya aliran 70 mL/s, 80 mL/s, dan 90 mL/s secara bertahap untuk mengalirkan air yang dihubungkan pada tiap step *cascade aerator*.
- Waktu kontak divariasikan 180 menit, 240 menit dan 300 menit untuk dilakukan resirkulasi air yang melewati setiap step pada *cascade aerator*.
- Air yang telah melewati setiap step tangga kemudian ditampung pada bak penampung 2, diamkan selama 10 menit, proses ini berlaku untuk variasi waktu kontak dan variasi debit air limbah.
- Ditentukan konsentrasi besi (Fe) dan mangan (Mn) serta dihitung efisiensinya.

2.5 Analisis Data

Data pengukuran suhu selama proses aerasi digunakan untuk menentukan nilai C_s . Nilai koefisien transfer gas (K_{La}) pada masing-masing percobaan diolah dengan menghitung nilai selisih konsentrasi DO

jenuh dengan konsentrasi DO pada waktu tertentu (Cs-C). Fungsi $\ln(C_s - C)$ dan waktu pengukuran diplotkan kedalam grafik untuk menentukan nilai KLa, seperti yang terlihat pada Gambar 1. Nilai KLa sama dengan besarnya nilai kemiringan (slope) garis linier yang terbentuk. Sampel air limbah elektroplating setelah proses aerasi dianalisis dan dihitung efisiensinya menggunakan rumus :

$$\text{Efisiensi besi/mangan (\%)} = \frac{(C_{in} - C_{out})}{(C_{in})} \times 100\% \quad (3)$$

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

Hasil uji sampel air limbah elektroplating

Uji sampel dilakukan untuk mengetahui kandungan Fe dan Mn air limbah Elektroplating.

Tabel 2 Hasil Uji Parameter Awal Air Limbah Elektroplating

No	Parameter	Konsentrasi Awal	Permen LH No. 5 Tahun 2014	Satuan
1.	Besi (Fe)	9,84	5	mg/L
2.	Mangan (Mn)	4,78	2	mg/L
3.	pH	4,27	6,0 – 9,0	-
4.	Suhu	30	-	oC

Berdasarkan data Tabel 2 menunjukkan hasil uji parameter logam besi (Fe) dan mangan (Mn) pada air limbah elektroplating melebihi baku mutu yang ditetapkan pada Peraturan Menteri Lingkungan Hidup no 5 Tahun 2014 tentang Baku Mutu Air Limbah.

Koefisien Transfer Gas ($K_L a$)

Konsentrasi DO dihitung secara per 30 menit dengan variasi waktu yang telah ditetapkan. Tujuannya yaitu untuk mengetahui nilai DO pada setiap percobaan dan diharapkan akan mendapatkan nilai yang baik. Hasil penelitian yang telah dilakukan terhadap kenaikan DO pada air limbah elektroplating dapat dilihat pada Tabel 3.

Tabel 3 Hasil analisis DO pada air limbah elektroplating

No	Perlakuan	Waktu (menit)	Konsentrasi DO (mg/L)		
			70 mL/s	80 mL/s	90 mL/s
1.	Waktu Kontak 180 menit	0	3,12	3,32	3,62
		30	3,35	3,41	3,74
		60	3,51	3,65	3,85
		90	3,76	3,86	4,12
		120	3,64	3,91	4,42
		150	3,95	4,05	4,54
		180	4,18	4,23	4,76
2.	Waktu Kontak 240 menit	210	4,45	4,68	5,24
		240	4,56	5,25	5,65
3.	Waktu Kontak 300 menit	270	4,78	5,47	5,92
		300	4,81	5,69	6,22

Berdasarkan Tabel 3 dapat dilihat bahwa konsentrasi DO setiap percobaan relatif naik. Peningkatan konsentrasi dapat terjadi karena adanya perlakuan dengan memperpanjang waktu kontak aerasi. Pada

percobaan dengan debit aliran 70 mL/s didapatkan nilai DO tertinggi yaitu sebesar 4,81 mg/L pada waktu kontak 300 menit. Pada percobaan dengan debit aliran 80 mL/s, didapatkan nilai DO tertinggi sebesar 5,69 mg/L pada waktu 300 menit, sedangkan pada debit aliran 90 mL/s, didapatkan nilai DO tertinggi sebesar 6,22 mg/L pada waktu 300 menit.

Tabel 4 Suhu air pada penelitian

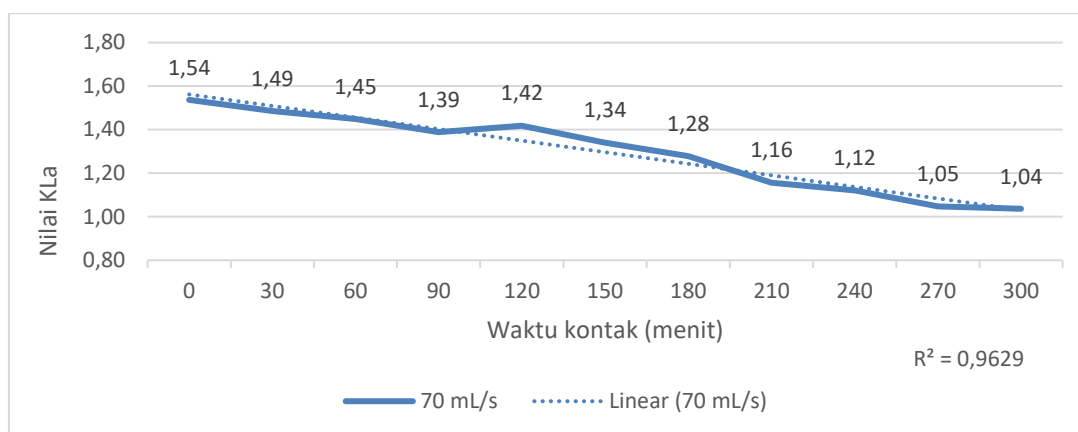
No.	Waktu Kontak	Suhu (°C)		
		70 mL/s	80 mL/s	90 mL/s
1.	180 menit	29	29	29
2.	240 menit	30	29	28
3.	300 menit	30	30	28

Berdasarkan nilai suhu yang didapatkan diatas, maka dapat diketahui nilai Cs pada masing-masing suhu.

Tabel 5 Konsentrasi Oksigen Terlarut Jenuh pada saat Proses Aerasi

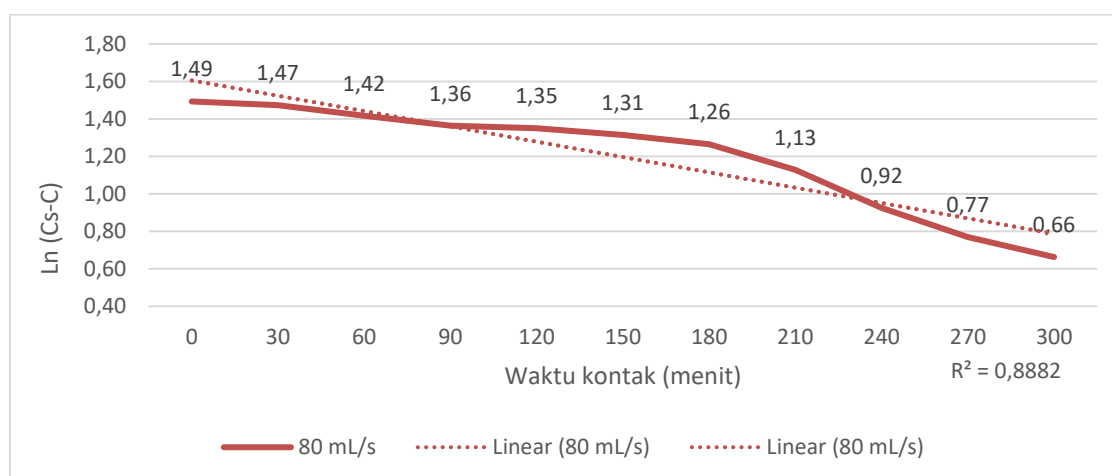
No	Perlakuan	Waktu (menit)	Konsentrasi DO (mg/L)			Ln (Cs-Ct)		
			70 mL/s	80 mL/s	90 mL/s	70 mL/s	80 mL/s	90 mL/s
1	Kontak 180 menit	0	3,12	3,32	3,62	1,54	1,49	1,42
		30	3,35	3,41	3,74	1,49	1,47	1,39
		60	3,51	3,65	3,85	1,45	1,42	1,37
		90	3,76	3,86	4,12	1,39	1,36	1,29
		120	3,64	3,91	4,42	1,42	1,35	1,21
		150	3,95	4,05	4,54	1,34	1,31	1,17
		180	4,18	4,23	4,76	1,28	1,26	1,10
2	Kontak 240 menit	210	4,45	4,68	5,24	1,16	1,13	0,99
		240	4,56	5,25	5,65	1,12	0,92	0,82
3	Kontak 300 menit	270	4,78	5,47	5,92	1,05	0,77	0,69
		300	4,81	5,69	6,22	1,04	0,66	0,53

Berdasarkan Tabel 5 didapatkan nilai Ln (Cs-C) pada setiap percobaan terjadi penurunan. Kondisi ini menandakan terjadinya proses transfer gas selama proses aerasi, sesuai dengan pernyataan Benefield (1980) bahwa difusi terjadi antara udara dan air saat butiran air jatuh dari setiap step. Kemudian nilai Ln (Cs-C) diplotkan kedalam grafik untuk mendapatkan nilai $K_L a$. Grafik $K_L a$ dapat dilihat pada Gambar 1, Gambar 2 dan Gambar 3.



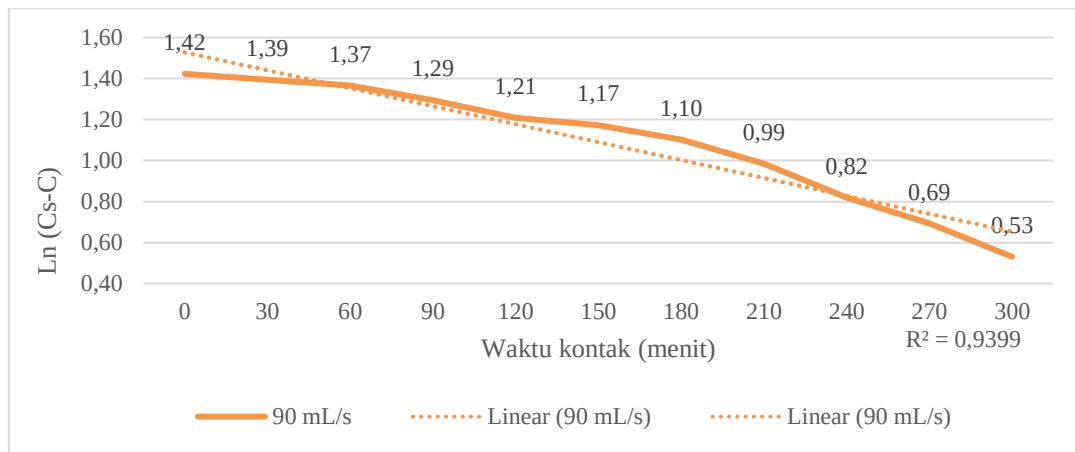
Gambar 1. Grafik (K_{La}) pada waktu kontak 180, 240 dan 300 menit dengan debit aliran 70 mL/s

Pada Gambar 1, dapat dilihat bahwa terjadi penurunan nilai (K_{La}) pada percobaan waktu kontak 180, 240 dan 300 menit dengan debit aliran 70 mL/s terlihat terjadi penurunan nilai $\ln(C_s - C)$ dari 1,54 mg/L sampai 1,04 mg/L. Nilai (K_{La}) pada percobaan waktu kontak 180 menit sebesar 0,0392 K_{La} /menit, percobaan waktu kontak 240 menit sebesar 0,0472 K_{La} /menit dan percobaan pada waktu kontak 300 menit sebesar 0,0490 K_{La} /menit. Menurut Abuzar dkk (2012), faktor utama yang mempengaruhi kelarutan gas dalam air adalah suhu air, tekanan parsial gas dalam fase gas, konsentrasi padatan terlarut dalam fase cair dan komposisi kimia gas. Kelarutan gas pada debit aliran 70 mL/s menurun seiring dengan kenaikan suhu pada air limbah elektroplating yang diuji.



Gambar 2. Grafik (K_{La}) pada waktu kontak 180, 240 dan 300 menit dengan debit aliran 80 mL/s

Pada Gambar 2, dapat dilihat bahwa terjadi penurunan nilai (K_{La}) pada percobaan waktu kontak 180, 240 dan 300 menit dengan debit aliran 80 mL/s terlihat terjadi penurunan nilai $\ln(C_s - C)$ dari 1,49 mg/L sampai 0,66 mg/L. Nilai (K_{La}) pada percobaan waktu kontak 180 menit sebesar 0,0417 K_{La} /menit, percobaan waktu kontak 240 menit sebesar 0,0610 K_{La} /menit dan percobaan pada waktu kontak 300 menit sebesar 0,0799 K_{La} /menit. Hal ini membuktikan bahwa proses aerasi telah meningkatkan oksigen terlarut yang terkandung pada air tersebut, maka selisih yang dihasilkan ($C_s - C$) akan semakin kecil sehingga membuat grafik K_{La} menurun seiring bertambahnya waktu.



Gambar 3. Grafik (K_{La}) pada waktu kontak 180, 240 dan 300 menit dengan debit aliran 90 mL/s

Pada Gambar 3, dapat dilihat bahwa terjadi penurunan nilai (K_{La}) pada percobaan waktu kontak 180, 240 dan 300 menit dengan debit aliran 90 mL/s terlihat terjadi penurunan nilai $\ln(C_s - C)$ dari 1,42 mg/L sampai 0,53 mg/L. Nilai (K_{La}) pada percobaan waktu kontak 180 menit sebesar 0,0558 K_{La} /menit, percobaan waktu kontak 240 menit sebesar 0,0752 K_{La} /menit dan percobaan pada waktu kontak 300 menit sebesar 0,0922 K_{La} /menit. Nilai grafik K_{La} pada waktu kontak 180, 240 dan 300 menit dengan debit aliran 90 mL/s yang semakin menurun menyatakan bahwa kondisi oksigen dalam air, semakin lama akan mendekati kondisi jenuh atau dengan kata lain bahwa konsentrasi DO relatif meningkat terhadap waktu pada saat aerasi.

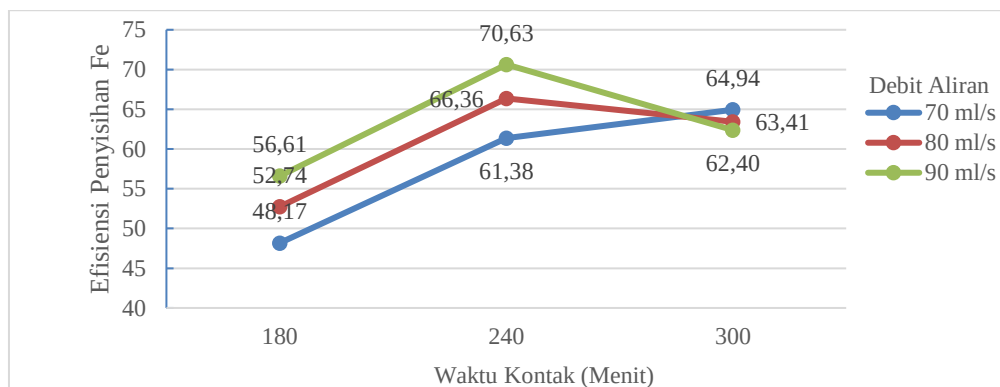
Tabel 6 Nilai K_{La}

No	Percobaan	Nilai K_{La} / menit		
	Waktu Kontak	70 mL/s	80 mL/s	90 mL/s
1.	180 menit	0,0392	0,0417	0,0558
2.	240 menit	0,0472	0,0610	0,0752
3.	300 menit	0,0490	0,0799	0,0922

Berdasarkan Tabel 6, didapatkan K_{La} tertinggi terjadi pada percobaan dengan debit aliran 90 mL/s pada waktu 300 menit sebesar 0,0975/menit, sedangkan nilai K_{La} terendah terjadi pada percobaan dengan debit aliran 70 mL/s pada waktu 180 menit sebesar 0,0392/menit. Pada penelitian Putra (2018) tentang penyisihan logam Fe dan Mn menggunakan kombinasi *cascade aerator* dan arang aktif didapatkan nilai K_{La} tertinggi sebesar 0,046/menit, jika dibandingkan pada penelitian ini nilai K_{La} yang didapatkan lebih tinggi sehingga transfer gas yang terjadi selama proses aerasi lebih besar.

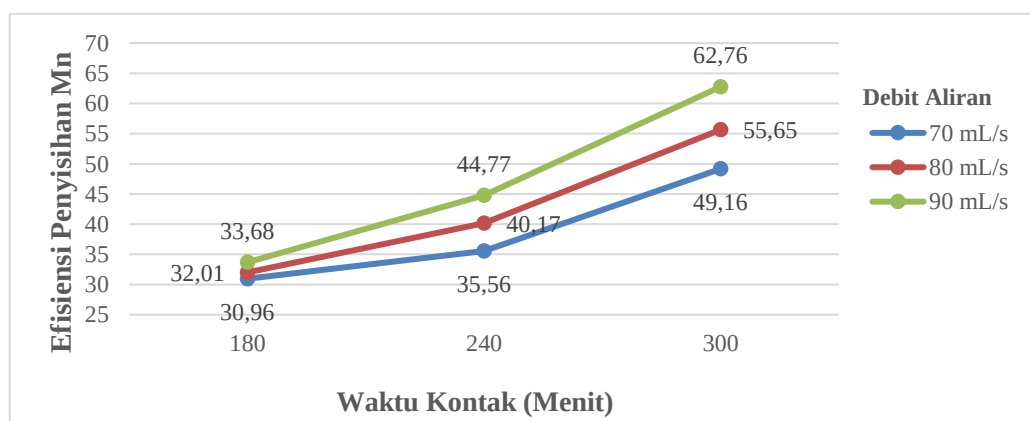
Pengaruh Waktu Kontak Proses Penyisihan Fe dan Mn pada Air Limbah Elektroplating

Penurunan kadar besi (Fe) dan mangan (Mn) terhadap waktu kontak dan debit aliran setelah dilakukan proses aerasi menggunakan *cascade aerator* 10 step dengan luas 1000 cm², debit 90 mL/s, waktu pengendapan selama 10 menit dengan menggunakan volume umpan masing-masing 30 liter dapat dilihat pada Gambar 5 dan Gambar 6



Gambar 4. Grafik Hubungan Waktu Kontak, Debit Aliran dan Efisiensi Penyisihan Kadar Besi (Fe)

Berdasarkan grafik di atas menunjukkan bahwa terjadi peningkatan efisiensi penyisihan kadar logam besi (Fe) dan mangan (Mn) dari waktu 180 menit hingga 300 menit. Penurunan kadar besi (Fe) terbaik didapatkan pada waktu kontak 240 menit dan debit aliran 80 mL/s dengan efisiensi mencapai 70,63%. Pada waktu kontak yang lebih lama, yaitu 300 menit efisiensi penyisihan tidak bertambah dan cenderung menurun. Hal ini sejalan dengan penelitian Harimu dkk (2020) tentang aerasi untuk menurunkan kadar logam besi (Fe) pada air sumur yang menyatakan bahwa waktu kontak yang lebih lama dapat menyebabkan lepasnya besi kompleks dengan gugus aktif sehingga akan menambah ion logam besi di dalam air.



Gambar 5. Grafik Hubungan Waktu Kontak, Debit Aliran dan Efisiensi Penyisihan Kadar Mangan (Mn)

Berdasarkan grafik di atas menunjukkan bahwa terjadi peningkatan efisiensi penyisihan kadar logam mangan (Mn) dari waktu 180 menit hingga 300 menit. Penurunan kadar mangan (Mn) terbaik didapatkan pada waktu kontak 300 menit pada debit aliran 90 mL/s dengan efisiensi mencapai 62,76%. Semakin lama waktu kontak, maka semakin berkurang kandungan logam mangan yang terlarut dalam air limbah elektroplating. Semakin lama waktu kontak, maka semakin berkurang kandungan logam mangan yang terlarut dalam air limbah elektroplating. Hal ini sejalan dengan penelitian Rosna (2022) yang melakukan variasi waktu oksidasi dari 120, 150 dan 180 menit dengan sampel awal Fe 1,351 mg/L setelah dilakukan proses aerasi menjadi 0,294 mg/L dengan efisiensi mencapai 78,24% pada waktu oksidasi 120 menit. Kadar awal Mn 0,572 mg/l setelah dilakukan aerasi dengan *cascade aerator* konsentrasi mangan terjadi penurunan menjadi 0,001, pada waktu oksidasi 180 menit dengan efisiensi 99,83%.

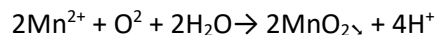
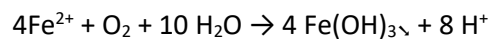
Pengaruh Debit Aliran Proses Penyisihan Fe dan Mn pada Air Limbah Elektroplating

Sasaran utama dari proses aerasi yaitu memaksimalkan kontak antara udara dengan air yang bertujuan untuk menambah kandungan oksigen, sehingga dengan bertambahnya waktu kontak kedalam air baku, maka akan semakin memaksimalkan terjadinya kontak antara air dengan udara sehingga oksigen terlarut semakin banyak.

Penelitian menggunakan *cascade aerator* ini menggunakan prinsip aerasi yang prosesnya sangat berpengaruh besar terhadap debit. Debit yang kecil tidak akan memberikan turbulensi terhadap kontak antara air dengan permukaan bidang kontak pada *cascade aerator* karena air akan tetap mengalir namun tidak memberikan kontak pada udara, hal ini mengakibatkan tidak mendapatkan hasil yang maksimal karena tidak terjadinya turbulensi yang akan berdampak pada penurunan kadar besi (Fe).

Hal ini terjadi akibat turbulensi yang dapat meningkatkan laju perpindahan massa oksigen karena terjadinya percepatan laju aliran air pada permukaan bidang kontak, sehingga berakibat pada peningkatan nilai koefisien perpindahan oksigen (K_La). Penurunan dan perpindahan koefisien oksigen ini terjadi karena adanya perlakuan dengan memperbesar debit air yang keluar saat penelitian, karena air akan berkontak dengan udara yang dapat mengakibatkan terjadinya turbulensi yang mengikat oksigen lebih besar dan penurunan kadar besi (Fe) dan mangan (Mn) mendapatkan hasil yang maksimal.

Hidroksida besi bervalensi dua maupun hidroksida mangan bervalensi dua mempunyai kelarutan yang cukup besar, sehingga jika terus dilakukan oksidasi dengan proses aerasi akan terjadi reaksi (ion) sebagai berikut :



Berdasarkan reaksi tersebut, maka untuk mengoksidasi setiap 1 mg/l zat besi dibutuhkan 0,14 mg/l oksigen dan setiap 1 mg/l mangan dibutuhkan 0,29 mg/l.

4. KESIMPULAN

Berdasarkan hasil penelitian yang telah dilakukan, maka dapat disimpulkan bahwa efisiensi penurunan kadar besi (Fe) mencapai 70,63% terjadi pada debit aliran 90 mL/s dengan waktu kontak 240 menit dan kadar mangan (Mn) mencapai 62,76% terjadi pada debit aliran 90 mL/s dengan waktu kontak 300 menit. Nilai K_La tertinggi pada penelitian ini terjadi pada percobaan waktu kontak 300 menit dan debit Aliran 90 mL/s sebesar 0,0975 K_La / menit.

5. DAFTAR PUSTAKA

- Abuzar, S.S., Yogi, D.P., dan Reza, E.E. (2012). Koefisien Transfer Gas (K_La) Pada Proses Aerasi Menggunakan Tray Aerator Bertingkat 5 (Lima). Jurnal Teknik Lingkungan UNAND, 9 (2), 155-163.
- Bennefield, L.D dan Randall, C.W. (1980). Biological Process Design for Wastewater Treatment, Prentice-Hall, Inc, Englewood Cliffs, NJ 07632
- Harimu, L., dkk. (2020). Perbandingan Kemampuan Aerasi Sembur (Spray) dengan Metode Adsorpsi Menggunakan Adsorben Serbuk Kulit Buah Kakao untuk Menurunkan Kadar Besi dan Mangan Pada Air Sumur Gali. Indonesian Journal of Chemical Research, 8(2):137-143.
- Karuniawan, H.dan Ali, M. (2021). Variasi Tray Aerator Dengan Penambahan Media Kaolin Dan Karbon Aktif Untuk Menurunkan (Fe) dan (Mn) Terlarut Di Air Sumur. *EnviroUS*, 1(2), 135-142.
- Metcalf & Eddy Inc. (2003). Wastewater Engineering Treatment and Reuse (4th ed.). McGraw-Hill Published Companies.

Pribadi, R., Daud, S., dan Elystia, S. (2018) Penurunan Kadar Besi (Fe) pada Air Tanah dengan Menggunakan Cascade Aerator (Studi Air Tanah Universitas Riau). *Jurnal Online Mahasiswa (JOM) Bidang Teknik dan Sains*, 5, 1-5.

Rosna, S. A. (2022) The Koefisien Transfer Gas (KLa) Cascade Aerator Berzeolit Pada Penyisihan Besi (Fe) Dari Air Gambut Terhadap Waktu Kontak dan Ukuran Partikel Zeolit: Koefisien Transfer Gas (KLa). *Journal Of Environmental Management and Technology*, 1(2)

S. S. Hosseini, E. Bringas, N. R. Tan, I. Ortiz, M. Ghahramani, and M. A. Alaei Shahmirzadi, (2016) "Recent progress in development of high performance polymeric membranes and materials for metal plating wastewater treatment: A review," *J. Water Process Eng.*, vol. 9, pp. 78–110,.

Salimin, Z. dan Nurifitriyani, I. (2013). Pengolahan Limbah Industri Elektroplating Dengan Proses Koagulasi Flokulasi. *Prosiding SEMIRATA 2013*, 1(1)