

Pengaruh pH dan Waktu Proses dalam Penyisihan Logam Berat Cr, Fe, Zn, Cu, Mn, dan Ni dalam Air Limbah Industri Elektroplating dengan Proses Oksidasi Biokimia

Yastri Noer Amalina^{*)}, Zainus Salimin^{**)}, Sudarno^{**)}

Program Studi Teknik Lingkungan Fakultas Teknik Universitas Diponegoro
Jl. Prof. H. Sudarto, SH Tembalang, Semarang, Indonesia 50275
email: yastri.amalina@gmail.com

ABSTRAK

Adanya logam berat yang terkandung dalam air limbah menimbulkan masalah bagi kesehatan manusia dan bahaya lingkungan karena efek toksisitasnya. Salah satu industri yang menghasilkan limbah cair yang mengandung logam berat adalah industri elektroplating. Logam berat yang terkandung dalam air limbah industri elektroplating adalah khromium (Cr), besi (Fe), seng (Zn), tembaga (Cu), nikel (Ni), dan mangan (Mn). Oksidasi biokimia adalah salah satu proses pengolahan yang memanfaatkan biomassa bakteri untuk menyerap ion logam berat dalam air limbah. Penelitian ini dilakukan untuk mengetahui kemampuan Super Growth Bacteria 102 yang terdiri dari *Bacillus sp*, *Pseudomonas sp*, *Arthrobacter sp*, dan *Aeromonas sp* dalam menyerap ion logam berat di dalam operasi batch. Operasi batch dilakukan dengan menguji kemampuan bakteri pada variasi pH (6, 7, 8) dan waktu proses. Selain dilakukan analisa logam berat, dilakukan pula analisa COD yang berasal dari penambahan glukosa monohidrat dan asam asetat yang berfungsi sebagai substrat bagi bakteri. Dari seluruh parameter yang sudah dianalisa didapatkan hasil efisiensi optimal berada di pH 7, yaitu COD dengan efisiensi 93,47%; Cr dengan efisiensi 98,39%; Fe dengan efisiensi 87,12%; Zn dengan efisiensi 96,83%; Cu dengan efisiensi 97,68%; Ni dengan efisiensi 97,44%; dan Mn dengan efisiensi 85,94%.

Keywords : industri elektroplating, oksidasi biokimia, COD, Cr, Fe, Zn, Cu, Ni, Mn

ABSTRACT

[Effect of pH and Time Process Against Heavy Metals Cr, Fe, Zn, Cu, Ni, and Mn in The Electroplating Industries Wastewater With Biochemical Oxidation Process]. The presence of heavy metals in the wastewater cause problems for human health and environmental hazards because of their toxicity effect. One of the industries that produce heavy metals wastewater is electroplating industries. Heavy metals contained in the electroplating wastewater is chromium (Cr), iron (Fe), zinc (Zn), copper (Cu), nickel (Ni), and mangan (Mn). Biochemical oxidation is one of the treatment process that utilizes biomass of bacteriato absorb heavy metals ions in the wastewater. This research was conducted to determine the ability of Super Growth Bacteria 102 that consists of *Bacillus sp*, *Pseudomonas sp*, *Arthrobacter sp*, and *Aeromonas sp* to absorb heavy metals ions in batch operation. Batch operations carried out by testing the ability of bacteria to the variation of pH (6, 7, 8) and processing time. In addition to heavy metals

analysis, also conducted COD analysis derived from the addition of glucose monohidrat and acetic acid that serves as a substrate for bacteria. From all the parameters that have been analyzed showed the optimum efficiency is at pH 7 which is COD with 93,47% efficiency; Cr with 98,39% efficiency; Fe with 87,12% efficiency; Zn with 96,83% efficiency; Cu with 97,68% efficiency; Ni with 97,44% efficiency; and Mn with 85,94% efficiency.

Keywords : electroplating industries, biochemical oxidation, COD, Cr, Fe, Zn, Cu, Ni, Mn

PENDAHULUAN

Meningkatnya perekonomian Indonesia ditandai dengan berkembangnya berbagai industri salah satunya adalah industri electroplating. Proses electroplating bertujuan untuk memberikan perlindungan dari karat dan memberikan efek mengkilap pada besi dan baja. Perkembangan industri electroplating yang semakin pesat selain memberi manfaat, juga menimbulkan dampak negatif dari limbah yang dihasilkan. Air limbah dari proses electroplating merupakan limbah logam berat yang termasuk kedalam limbah Bahan Beracun Berbahaya (Purwanto, 2005).

Beberapa unsur logam yang terdapat dalam limbah cair electroplating antara lain, Fe, Cr, Mn, Cu, Ni, dan Zn. Kuantitas limbah yang dihasilkan dalam proses electroplating tidak terlampau besar, tetapi tingkat toksisitasnya sangat berbahaya, terutama krom (Cr^{6+}), nikel (Ni^{2+}), dan seng (Zn^{2+}) (Roekmijati, 2002). Apabila limbah dari proses electroplating langsung dibuang ke lingkungan tanpa adanya pengolahan terlebih dahulu dapat menyebabkan pencemaran lingkungan. Maka dari itu diperlukan pengolahan terlebih dahulu sebelum limbah tersebut dibuang ke lingkungan.

Salah satu metode yang dapat digunakan untuk penyisihan logam berat adalah dengan proses oksidasi biokimia. Proses oksidasi biokimia ini menggunakan bakteri untuk mengurai komponen organik dan detoksifikasi logam berat melalui

penyerapan dengan biosorpsi oleh biomassa bakteri (Salimin, 2008). Biomassa bakteri ini mampu mengikat kation dan anion melalui proses adsorpsi, pertukaran ion, pembentukan kompleks, dan ikatan hidrogen (Yu Tian, 2008 dalam Salimin, 2009). Kemudian biomassa bakteri yang telah termuati oleh logam berat akan membentuk flok dan mengendap karena adanya gaya gravitasi sehingga terjadi akumulasi logam berat pada flok biologi atau lumpur aktif (Salimin, 2008).

Adapun keuntungan dalam penggunaan bakteri untuk penyisihan logam berat yaitu biaya operasional yang rendah, efisiensi dan kapasitas pengikatan logam tinggi, memiliki mekanisme regenerasi sehingga dapat digunakan kembali dan bahan bakunya banyak tersedia serta mudah didapat (Gazso, 2001; Ahalya et al., 2005 dalam Kresnawaty, 2007).

Oleh karena itu dilakukan penelitian untuk menyisihan logam berat kromium (Cr), besi (Fe), tembaga (Cu), seng (Zn), nikel (Ni), dan mangan (Mn) dengan proses oksidasi biokimia yang menggunakan bakteri jenis *Super Growth Bacteria* (SGB) 102 yang terdiri dari campuran spesies bakteri mutan *Pseudomonas sp*, *Bacillus sp*, *Arthobacter sp*, dan *Aeromonas sp*.

Tujuan penelitian ini adalah menganalisa pengaruh waktu proses dan pH dalam menyisihkan logam berat Cr, Fe, Cu, Zn, Ni, dan Mn, serta menganalisa efisiensi penyisihan logam berat dalam proses oksidasi biokimia dengan operasi batch.

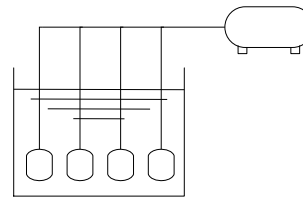
Oksidasi biokimia memiliki prinsip apabila zat organik dihilangkan dari larutan melalui pengolahan secara proses biologi menggunakan bakteri sebagai mikroorganisme, terjadi dua fenomena dasar sebagai berikut : oksigen dikonsumsi oleh bakteri untuk memperoleh energi dan massa sel baru terbentuk. Kebutuhan oksigen tersebut dipenuhi melalui pengelembungan udara kedalam larutan (proses aerasi). Mikroorganisme juga mengalami auto-oksidasi secara progresif dalam massa selularnya (Wesley, 1989 dalam Salimin, 2002).

Materi biologi baik hidup maupun mati memiliki kemampuan untuk menyerap spesies, senyawa-senyawa dan partikulat logam, metalloid, radionuklida, dan organometaloid dari larutan dengan proses fisika dan kimiawi yang disebut dengan biosorpsi (Gadd, 1992 dalam Salimin, 2002). Biosorpsi logam terjadi karena kompleksitas ion logam yang bermuatan positif dengan pusat aktif yang bermuatan negatif pada permukaan dinding sel atau dalam polimer-polimer ekstraseluler, seperti protein dan polisakarida sebagai sumber gugus fungsi yang berperan penting dalam mengikat ion logam (Volesky, 2000 dalam Soeprijanto, 2009). Selain itu biosorpsi juga terjadi karena adanya peristiwa pertukaran ion dimana ion monovalen dan divalen seperti Na^+ , Mg^{2+} , Ca^{2+} , K^+ pada dinding sel digantikan oleh ion-ion logam berat (Soeprijanto, 2009).

METODELOGI PENELITIAN

Penelitian ini dilakukan dengan operasi batch di Laboratorium Pusat Teknologi Limbah Radioaktif (PTLR) BATAN dengan menggunakan akuarium sebagai reaktor untuk proses oksidasi biokimia.

Rangkaian Peralatan Percobaan Batch



Gambar 1 Reaktor Batch

Variabel Penelitian

Pada penelitian yang membahas penurunan kadar khrom dari limbah cair industri penyamakan kulit melalui proses oksidasi biokimia ini, ditentukan beberapa variabel yang akan berpengaruh terhadap hasil penelitian. Variabel yang digunakan adalah sebagai berikut :

1. Variabel bebas : pH (6,7,8) dan waktu
2. Variabel kontrol : konsentrasi Cr, Fe, Zn, Cu, Ni, Mn, dan COD
3. Variabel terikat : penurunan konsentrasi Cr, Fe, Zn, Cu, Ni, Mn, dan COD

Tahap Pelaksanaan

1. Pembuatan Limbah Simulasi

Limbah yang digunakan merupakan limbah artificial dengan menggunakan 0,9255 gr K_2CrO_4 ; 1,9068 gr $\text{Cr}(\text{NO}_3)_3 \cdot 9\text{H}_2\text{O}$; 1,8759 gr $\text{FeCl}_3 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$; 1,3017 gr $\text{Zn}(\text{NO}_3)_2 \cdot 4\text{H}_2\text{O}$; 1,0437 gr $\text{CuCl}_2 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$; 0,5739 gr MnCl_2 ; 1,3005 gr $\text{Ni}(\text{NO}_3)_2 \cdot 4\text{H}_2\text{O}$; 14,70 gr $\text{C}_6\text{H}_{12}\text{O}_6 \cdot \text{H}_2\text{O}$; dan 29,40 mL CH_3COOH yang dimasukkan ke dalam akuarium dan dilarutkan dengan aquades hingga volumenya menjadi 21L dan ditambahkan 10 mL HNO_3 agar homogen. Kemudian membagi larutan air limbah ke 3 reaktor yang berbeda dengan volume yang sama yaitu masing-masing reaktor 7L. Tahap terakhir adalah mengatur pH masing-masing reaktor menjadi 6, 7, dan 8 dengan penambahan NaOH 2,5 N.

2. Pelaksanaan Penelitian

Sebelum dilakukan penelitian terlebih dahulu dilakukan analisis BOD untuk mengetahui rasio BOD/COD yang terbentuk dari campuran glukosa monohidrat dan asam asetat. Rasio tersebut digunakan sebagai acuan untuk menghitung jumlah bakteri dan nutrisi yang harus ditambahkan saat penelitian berlangsung. Rasio BOD/COD yang didapat sebesar 0,501. Hasil uji BOD dan COD dapat dilihat pada Tabel 1.

Tabel 1 Perbandingan BOD terhadap COD

Glukosa Monohidrat (gr)	Asam Asetat (mL)	COD (mg/L)	BOD (mg/L)	Perbandingan BOD/COD
0,50	1,0	522	264,65	0,507
0,60	1,2	615	307,51	0,500
0,70	1,4	729	364,21	0,499
0,80	1,6	824	410,52	0,498
Rata-rata				0,501

Penelitian dilakukan dengan cara air limbah yang telah diatur pH pada masing-masing reaktor dimasukkan aerator dan dihidupkan selama penelitian berlangsung. Kemudian ditambahkan urea dan TSP sesuai perhitungan dan didiamkan ± 30 menit agar homogen dengan limbah. Setelah itu bakteri dimasukkan kedalam reaktor dan sampel air limbah diambil setiap 2 jam sekali untuk dianalisa konsentrasi COD dan logam berat yang terkandung didalamnya. Sampel yang telah diambil disaring terlebih dahulu menggunakan kertas saring dan siap untuk dianalisa konsentrasi COD serta konsentrasi logam beratnya. Jumlah penambahan NaOH, urea, TSP, dan bakteri dapat dilihat pada Tabel 2.

Tabel 2 Jumlah Penambahan NaOH, urea, TSP, dan bakteri

pH	COD (mg/L)	BOD (mg/L)	NaOH 2,5 N (mL)	SGB (mL)	Urea (mg)	TSP (mg)
----	------------	------------	-----------------	----------	-----------	----------

6	720	360	208	5,1	281,98	56,44
7	720	360	211	5,11	282,17	56,46
8	719	359,5	216	5,11	281,97	56,39

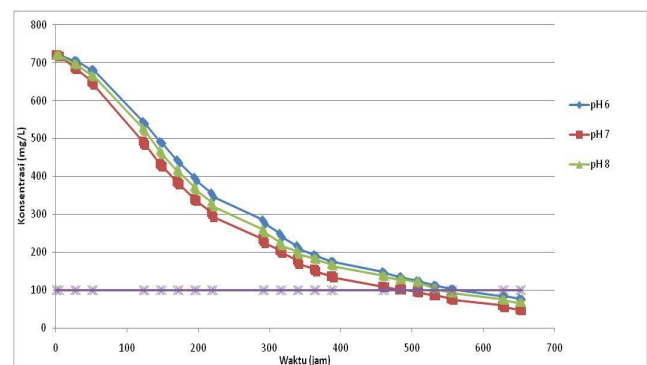
Parameter yang diukur dalam penelitian ini meliputi :

1. Analisis COD dilakukan dengan pembacaan langsung menggunakan alat Spectrophotometer HACH Direct Reading DR 2000
2. Analisis logam berat Cr, Fe, Zn, Cu, Ni, dan Mn dengan AAS

HASIL DAN PEMBAHASAN

1. Penurunan COD

Dari hasil penelitian dengan operasi batch didapat grafik penurunan konsentrasi COD seperti dibawah ini :



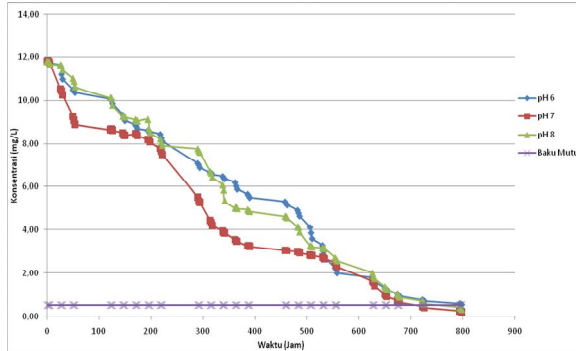
Gambar 2 Grafik Hubungan Konsentrasi COD terhadap Waktu Proses

Gambar 2 menunjukkan bahwa semakin lama waktu proses maka konsentrasi COD semakin kecil, karena bakteri berkembang biak semakin banyak membentuk biomassa yang berfungsi untuk mengurai zat organik, sehingga jumlah zat organik yang terkandung dalam limbah akan semakin sedikit.

Selama proses oksidasi biokimia berjalan, efisiensi total penurunan konsentrasi COD dari jam ke-0 hingga jam ke-654 sebesar 89,44% pada pH 6; 93,47% pada pH 7; dan 90,68% pada pH 8.

2. Penurunan Logam Berat

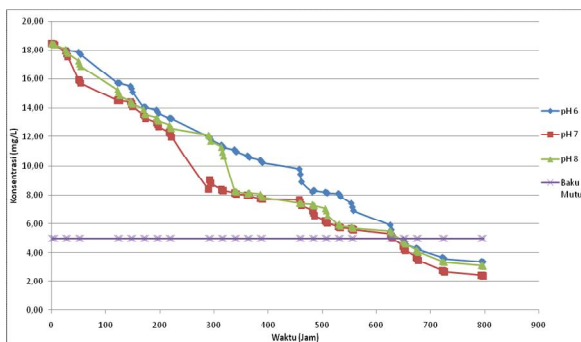
Limbah logam berat hasil penelitian oksidasi biokimia diujikan dengan alat AAS (*Atomic Absorbtion Spectofotometer*).



Gambar 3 Grafik Hubungan Konsentrasi Cr dalam Beningan terhadap Waktu Proses

Gambar 3 menunjukkan bahwa semakin lama waktu proses maka konsentrasi logam berat Cr semakin kecil, karena bakteri berkembang biak semakin banyak membentuk biomassa yang dapat berfungsi untuk menyisihkan logam Cr, sehingga semakin sedikit jumlah konsentrasi Cr yang terkandung dalam limbah.

Selama proses oksidasi biokimia efisiensi total penurunan konsentrasi Cr dari jam ke-0 hingga jam ke-798 sebesar 95,51% pada pH 6, 98,39% pada pH 7, dan 97,37% pada pH 8.

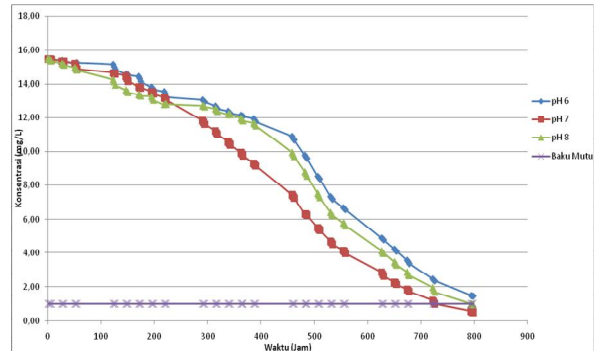


Gambar 4 Grafik Hubungan Konsentrasi Fe dalam Beningan terhadap Waktu Proses

Gambar 4 menunjukkan bahwa semakin lama waktu proses maka konsentrasi logam berat Fe semakin kecil, karena bakteri berkembang biak dan

membentuk biomassa yang dapat berfungsi untuk menyisihkan logam Fe, sehingga semakin sedikit konsentrasi Fe yang terkandung dalam limbah.

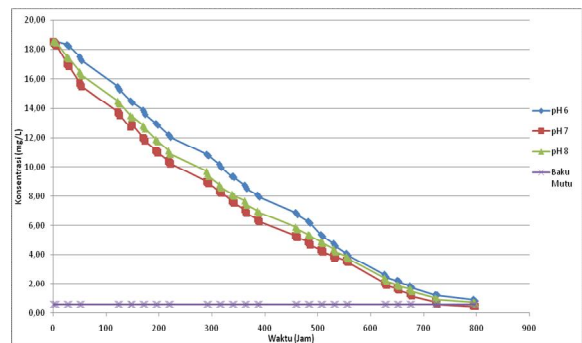
Selama proses oksidasi biokimia efisiensi total penurunan konsentrasi Fe dari jam ke-0 hingga jam ke-798 sebesar 81,86% pada pH 6, 87,12% pada pH 7, dan 83,40% pada pH 8.



Gambar 5 Grafik Hubungan Konsentrasi Zn dalam Beningan terhadap Waktu Proses

Gambar 4.5 menunjukkan bahwa semakin lama waktu proses maka konsentrasi logam berat Zn semakin kecil, karena semakin lama bakteri berkembang biak dan membentuk biomassa yang dapat berfungsi untuk menyisihkan logam Zn.

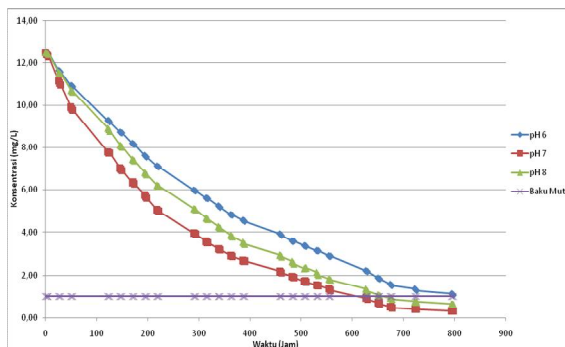
Selama proses oksidasi biokimia efisiensi total penurunan konsentrasi Zn dari jam ke-0 hingga jam ke-798 sebesar 90,65% pada pH 6, 96,83% pada pH 7, dan 93,80% pada pH 8.



Gambar 6 Grafik Hubungan Konsentrasi Cu dalam Beningan terhadap Waktu Proses

Gambar 6 menunjukkan bahwa semakin lama waktu proses maka konsentrasi logam berat Cu semakin kecil, karena bakteri berkembang biak dan membentuk biomassa yang dapat berfungsi untuk menyisihkan logam Cu.

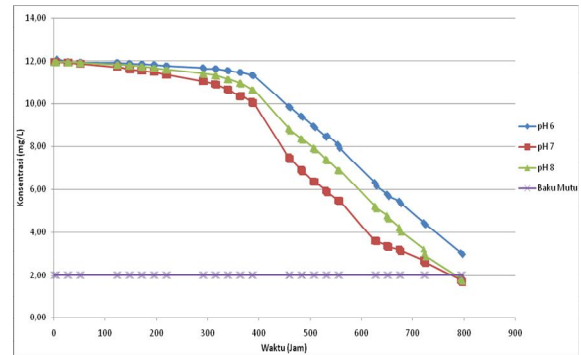
Selama proses oksidasi biokimia efisiensi total penurunan konsentrasi Cu dari jam ke-0 hingga jam ke-798 sebesar 95,57% pada pH 6, 97,68% pada pH 7, dan 96,60% pada pH 8.



Gambar 7 Grafik Hubungan Konsentrasi Ni dalam Beningan terhadap Waktu Proses

Gambar 7 menunjukkan bahwa semakin lama waktu proses maka konsentrasi logam berat Ni semakin kecil, selain itu semakin besar pula kesempatan bakteri berkembang biak membentuk biomassa yang dapat berfungsi untuk menyisihkan logam Ni, sehingga semakin sedikit konsentrasi Ni yang terkandung dalam limbah.

Selama proses oksidasi biokimia efisiensi total penurunan konsentrasi Ni dari jam ke-0 hingga jam ke-798 sebesar 91,52% pada pH 6, 97,44% pada pH 7, dan 95,04% pada pH 8.



Gambar 8 Grafik Hubungan Konsentrasi Mn dalam Beningan terhadap Waktu Proses

Gambar 8 menunjukkan bahwa semakin lama waktu proses maka konsentrasi logam berat Mn semakin kecil, karena bakteri berkembang biak dan membentuk biomassa yang dapat berfungsi untuk menyisihkan logam Mn.

Selama proses oksidasi biokimia efisiensi total penurunan konsentrasi Mn dari jam ke-0 hingga jam ke-798 sebesar 75,48% pada pH 6, 85,94% pada pH 7, dan 85,52% pada pH 8.

3. Pengaruh pH Terhadap Pertumbuhan Bakteri

Salah satu faktor penting dalam pertumbuhan bakteri adalah nilai pH. Bakteri memerlukan suatu pH optimum untuk tumbuh optimal. Pengaruh pH terhadap pertumbuhan bakteri ini berkaitan dengan aktivitas enzim. Enzim merupakan molekul kompleks berbasis protein yang dihasilkan oleh sel-sel. Enzim ini dibutuhkan oleh bakteri untuk mengkatalis reaksi-reaksi yang berhubungan dengan pertumbuhan bakteri (Pelczar dan Chan, 1986 dalam Suriani, 2013). Ketika nilai pH menjadi terlalu tinggi atau rendah, maka struktur dasar enzim dapat mengalami perubahan. Sehingga sisi aktif enzim tidak dapat mengikat substrat dengan benar dan aktivitas enzim menjadi sangat terpengaruhi. Bahkan enzim dapat sampai benar-benar berhenti berfungsi.

Dalam penelitian ini pH paling optimal untuk pertumbuhan bakteri dalam menyisihkan zat organik dan logam berat berada di pH 7. Hal tersebut dapat dilihat dari efisiensi tiap parameter zat organik dan logam berat yang dianalisis. Sedangkan untuk pertumbuhan bakteri pada pH 8 tampak lebih baik dibandingkan dengan pH 6, ini disebabkan karena bakteri SGB 102 yang digunakan tumbuh optimal pada pH 7-9.

4. Pengaruh pH Terhadap Konsentrasi Logam Bera

Ayres (1994) mengungkapkan bahwa meningkatnya pH larutan menjadi basa dapat menurunkan konsentrasi logam berat. Ketika dilakukan penambahan kaustik pada air limbah yang mengandung logam berat, logam berat akan bereaksi dengan ion hidroksida sehingga membentuk padatan logam hidroksida.

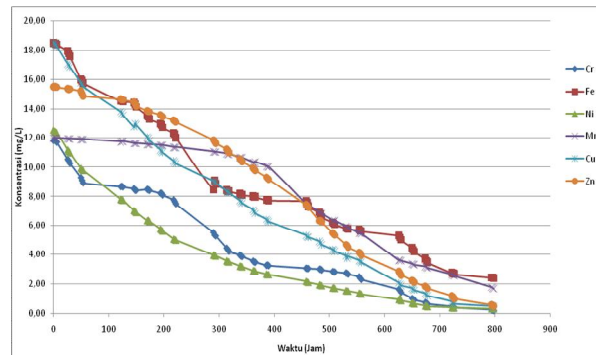
Sedangkan pada penelitian yang telah dilakukan, peningkatan pH larutan limbah yang pada awalnya memiliki pH 2,28 menjadi pH 6, 7, dan 8, tidak terjadi perubahan konsentrasi logam berat sama sekali, baik itu konsentrasi logam berat Cr, Fe, Zn, Cu, Ni, dan Mn. Namun setelah adanya penambahan bakteri dan proses oksidasi biokimia telah berjalan, konsentrasi dari seluruh logam berat mengalami penurunan. Sehingga dalam penelitian ini penyisihan logam berat bukan disebabkan oleh peningkatan pH namun terjadi karena biomassa bakteri yang terbentuk dari proses oksidasi biokimia.

5. Penyerapan Ion Logam Pada pH Optimum

Penyerapan ion logam berat oleh biomassa hasil dari proses oksidasi biokimia tidak hanya dipengaruhi oleh selektivitas ion, namun berat atom juga dapat berperan dalam proses penyerapan logam berat. Berdasarkan Reynold (1982 dalam Salimin, 2002) pada penukar kation, deretan kation yang lebih ditarik adalah mengikuti urutan

selektivitas sebagai berikut : $Cr^{3+} > Fe^{3+} > Ni^{2+} > Mn^{2+} > Cu^{2+} > Zn^{2+}$. Sedangkan berat atom Cr, Fe, Ni, Mn, Cu, dan Zn masing-masing adalah 52; 56; 58,7; 55; 63,55; dan 65,3.

Gambar 9 menunjukkan hasil konsentrasi logam berat dalam beningan setelah melalui proses oksidasi biokimia di pH optimum yaitu pada pH 7.



Gambar 9 Grafik Konsentrasi Logam Berat dalam Beningan Pada pH Optimum

Biomassa yang telah termuati oleh logam berat akan membentuk flok dan mengendap oleh gaya gravitasi sehingga terjadi akumulasi logam berat pada flok biologi atau lumpur aktif.

Gambar 9 menunjukkan bahwa konsentrasi logam berat Ni terhadap fungsi waktu berada dibagian paling rendah dibandingkan konsentrasi logam berat Cr, hal ini menunjukkan peranan dari berat atom Ni yang lebih besar nilainya dibandingkan dengan berat atom Cr sehingga logam berat Ni lebih mudah mengendap dengan adanya gaya gravitasi.

Konsentrasi logam berat Cr terhadap fungsi waktu lebih rendah dibandingkan dengan logam berat Cu, hal ini menunjukkan peranan dari selektivitas ion Cr yang lebih besar dibandingkan dengan selektivitas ion Cu, sehingga logam berat Cr lebih mudah ditarik oleh gugus karboksil, hidroksil dan gugus lain yang berada didalam biomassa bakteri.

Konsentrasi logam berat Cu terhadap fungsi waktu lebih rendah dibandingkan dengan logam berat Zn, hal ini menunjukkan peranan dari selektivitas ion Cu yang lebih besar dibandingkan dengan selektivitas ion Zn, sehingga logam berat Cu lebih mudah ditarik oleh gugus karboksil, hidroksil dan gugus lain yang berada didalam biomassa bakteri.

Konsentrasi logam berat Zn terhadap fungsi waktu lebih rendah dibandingkan dengan konsentrasi logam berat Fe, hal ini menunjukkan peranan dari berat atom Zn yang lebih besar nilainya dibandingkan dengan berat atom Fe sehingga logam berat Zn lebih mudah mengendap dengan adanya gaya gravitasi.

Konsentrasi logam berat Fe terhadap fungsi waktu lebih rendah dibandingkan dengan konsentrasi logam berat Mn, hal ini menunjukkan tidak hanya peranan dari selektivitas ion logam Fe yang lebih besar namun juga berat atom Fe yang lebih besar dibandingkan dengan logam berat Mn, sehingga logam berat Fe lebih mudah ditarik oleh gugus-gugus yang berada didalam biomassa bakteri dan juga logam berat Fe lebih mudah mengendap dengan adanya gaya gravitasi.

PENUTUP

Kesimpulan

Kesimpulan yang dapat ditarik berdasarkan hasil penelitian adalah sebagai berikut :

1. Pengaruh waktu dalam proses oksidasi biokimia pada air limbah simulasi elektroplating yaitu semakin lama waktu proses maka semakin kecil kandungan logam berat dan COD. Hasil penelitian menunjukkan bahwa waktu optimum untuk memenuhi baku mutu Keputusan Menteri Negara Lingkungan Hidup Nomor Kep-51/MENLH/10/1995 berada pada pH 7 yaitu penyisihan COD dengan waktu optimum 506 jam, Cr

dengan waktu optimum 722 jam, Fe dengan waktu optimum 630 jam, Zn dengan waktu optimum 726 jam, Cu dengan waktu optimum 794 jam, Ni dengan waktu optimum 630 jam, dan Mn dengan waktu optimum 794 jam.

2. Hasil penelitian yang telah dilakukan menunjukkan penyisihan logam berat yang paling besar berada di pH 7, ini berarti bakteri tumbuh dan berkembang biak pada kondisi netral. Hal ini berkaitan dengan enzim yang terkandung dalam sel bakteri. Ketika nilai pH menjadi tinggi atau rendah, struktur dasar enzim mengalami perubahan sehingga mempengaruhi kinerja enzim dalam mengikat substrat dengan benar.
3. Hasil akhir penelitian menunjukkan efisiensi penyisihan optimum COD sebesar 93,47%; Cr sebesar 98,39%; efisiensi optimum Fe sebesar 87,12%; efisiensi optimum Zn sebesar 96,83%; efisiensi optimum Cu sebesar 97,68%; efisiensi optimum Ni sebesar 97,44%; dan efisiensi optimum Mn sebesar 85,94%.

Saran

Berdasarkan percobaan yang telah dilakukan, ada beberapa saran sebagai bahan masukan bagi percobaan selanjutnya:

1. Perlu adanya penelitian proses kontinyu untuk mengetahui perbedaan hasil akhir dengan proses batch.
2. Perlu adanya penelitian lebih lanjut dengan rentang waktu yang lebih lama untuk mengetahui titik jenuh bakteri.
3. Perlu adanya berbagai variabel bebas yang digunakan dalam penelitian berikutnya seperti penggunaan jenis bakteri SGB yang berbeda.



DAFTAR PUSTAKA

- Ayres, D. M.; Davis, A. P.; Gletka, P. M. 1994. *Removing Heavy Metals from Wastewater*. <http://www.bluevantage.net/userdata/userfiles/file/Heavy%20Metals%20Removal.pdf>
- Kresnawaty, Irma. 2007. *Biosorpsi Logam Zn oleh Biomassa Saccharomyces cerevisiae*. Balai Penelitian Bioteknologi Perkebunan Indonesia. Bogor.
- Purwanto dan Syamsul H. 2005. *Teknologi Industri Elektroplating*. Badan Penerbit Universitas Diponegoro. Semarang.
- Roekmijati. 2002. *Presipitasi Bertahap Logam Berat Limbah Cair Industri Pelapisan Logam Menggunakan Larutan Kaustik Soda*. Jurnal Kimia Lingkungan. Jakarta : Universitas Indonesia.
- Salimin, Zainus. 2002. *Pengolahan Limbah Radioaktif Cair Aktivitas Rendah yang Mengandung Deterjen Persil dengan Proses Oksidasi Biokimia*. Program Pasca Sarjana IPB. Bogor.
- Salimin, Zainus dan Gunandjar. 2009. *Pengolahan Limbah Radioaktif Cair Organik dari Kegiatan Dekomisioning Fasilitas Pemurnian Asam Fosfat Petrokimia Gresik melalui Proses Oksidasi Biokimia*. PTLR-BATAN. Tangerang.
- Salimin, Zainus; Gunandjar; Purnomo, Sugeng; Wati. 2008. *Pengolahan Limbah Solvent dengan Metode Oksidasi Biokimia*. PTLR-BATAN. Tangerang.
- Soeprijanto; Aryanto, B.; Fabella, R. 2009. *Biosorpsi Ion Logam Berat Cu (II) dalam Larutan Menggunakan Biomassa Phanerochaete chrysosporium*. ITS. Surabaya. <http://personal.its.ac.id/files/pub/3145-soeprijanto-chem-eng-soeprijanto%20Cu%20biosorption.doc>
- Suriani, Sanita; Soemarno; Suharjono. 2013. *Pengaruh Suhu dan pH terhadap Laju Pertumbuhan Lima Isolat Bakteri Anggota Genus Pseudomonas yang Diisolasi dari Ekosistem Sungai Tercemar Deterjen di Sekitar Kampus Universitas Brawijaya*. J-PAL. Vol 3 (2013). <http://jpal.ub.ac.id/index.php/jpal/article/download/126/121>