



Heavy Metals Biosorption Phenomena Of Cr, Fe, Zn, Cu, Ni, And Mn on the Biomass of Mixed Bacteria of *Bacillus*, *Pseudomonas*, *Arthrobacter* and *Aeromonas*

Zainus Salimin*, Endang Nuraeni

*Pusat Teknologi Limbah Radioaktif, BATAN, Kawasan PUSPIPTEK Gd 50, Serpong, Tangerang Selatan

*E-mail: zainus_s@batan.go.id

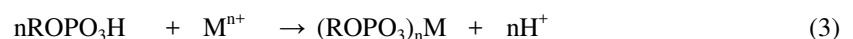
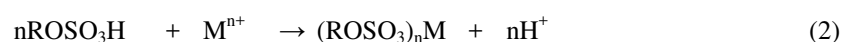
Abstract

The bacterial biomass having the capability of ions biosorption is utilized for the treatment of industrial waste water containing ions pollutant. The Extracellular Polymeric Substance (EPS) on the bacteria functions to support that biosorption mechanism. The EPS has the composition of polysaccharides (40-95% of total EPS), protein (1-60%), nucleic acids (1-10%), lipids (1-10%), and polymer of amino acid and other compounds of bacterial origin. The result of experiment indicates that the pH of 7 and process period of 560 hours was the best of process condition giving the decreasing of BOD and COD on the value of 38 and 74 ppm. On the pH of 6 and 8 the value of BOD and COD are 52 and 102 and 47 and 92 respectively.

Keywords: Extracellular Polymeric Substance (EPS), biosorption, heavy metal.

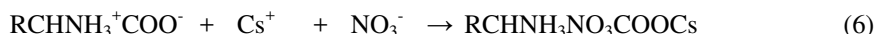
Pendahuluan

Pengolahan limbah cair industri dengan menggunakan mikroorganisme khususnya bakteri aerob adalah metode yang efektif untuk penyisihan kontaminan logam berat dan atau unsur radioaktif (radionuklida) dari air limbah melalui mekanisme biosorpsi pada biomassa bakteri (Wesley, Yu Tian, Tchobanoglous, Fry, J.C et al). Penggunaan secara langsung biomassa bakteri dilakukan melalui proses biooksidasi limbah cair organik yang mengandung kontaminan logam berat dan atau radionuklida. Limbah cair organik tersebut mempunyai nilai BOD, COD dan kadar kontaminan logam berat dan atau radionuklida yang melebihi nilai bakumutunya. Bakteri ditambahkan ke dalam limbah cair yang diaerasi dan diberi nutrisi N dan P pada rasio BOD:N:P=100:5:1 akan beradaptasi dalam waktu tertentu, kemudian tumbuh dan berkembang biak dengan menggunakan zat organik sebagai makanannya (Wesley), zat organik terurai menjadi CO_2 dan H_2O . Pertumbuhan dan perkembangbiakan bakteri tersebut sangat cepat demikian pula dengan kematiannya sehingga terbentuklah biomassa bakteri yang melakukan biosorpsi logam berat dan atau radionuklida dalam larutan sehingga terjadi flokulasi dan pengendapan secara gravitasi. Detoksifikasi larutan berlangsung dengan terbentuknya endapan biomassa yang mengandung logam berat dan atau radionuklida dan beningan yang mempunyai nilai BOD dan COD serta konsentrasi logam berat dan atau radionuklida pada harga kurang dari baku mutunya (Wesley, Yu Tian). Kemampuan biosorpsi logam berat dan atau radionuklida tersebut pada biomassa bakteri dapat berlangsung karena kandungan *Extracellular Polymeric Substance (EPS)*. EPS mempunyai komposisi yang kompleks terdiri dari polisakarida (40-90% dari total EPS), protein (1-60%), asam nukleat (1-10%), lipida (1-10%) dan sisanya polimer asam amino dan senyawa lainnya yang berasal dari bakteri (Yu Tian, Tchobanoglous). EPS dapat melakukan biosorpsi melalui proses pertukaran ion karena EPS banyak mengandung gugus fungsional bermuatan negatif seperti karboksilat (RCOOH), fosfat (ROPO_3H), sulfat (ROSO_3H), dan lain-lain, dan gugus fungsional bermuatan positif seperti hidroksil (ROH), aminokarboksilat [$\text{RCH}(\text{NH}_2)\text{COOH}$] dan lain-lain (Yu Tian). Pengikatan polutan kation melalui mekanisme pertukaran kation pada EPS berlangsung pada gugus fungsional karboksilat, sulfat dan fosfat mengikuti reaksi sebagai berikut (Yu Tian):



M^{n+} adalah kation bermuatan positif n yang mempunyai selektivitas lebih besar dari kation H^+ sehingga M^{n+} dapat mengusir H^+ sesuai reaksi (1), (2) dan (3). Selektivitas kation mengikuti urutan sebagai berikut (Tchobanoglous, Reynold, T.D): $\text{Cr}^{3+} > \text{Fe}^{3+} > \text{Sr}^{2+} > \text{Ca}^{2+} > \text{Ni}^{2+} > \text{Cd}^{2+} > \text{Cu}^{2+} > \text{Co}^{2+} > \text{Mn}^{2+} > \text{Zn}^{2+} > \text{Mg}^{2+} > \text{Ag}^+ > \text{Cs}^+ > \text{K}^+ > \text{NH}_4^+ > \text{Na}^+ > \text{H}^+$. Pengikatan polutan anion melalui mekanisme pertukaran anion pada EPS berlangsung pada gugus fungsional hidroksil dan aminokarboksilat mengikuti reaksi sebagai berikut:



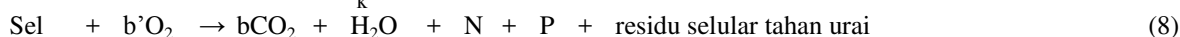
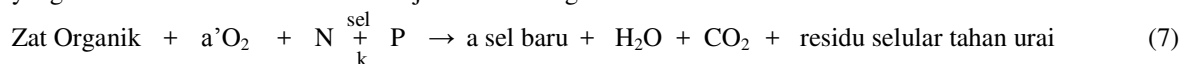


Selektivitas CrO_4^{2-} berharga lebih besar daripada selektivitas OH^- sehingga anion CrO_4^{2-} dapat mengusir anion OH^- sesuai reaksi (4). Gugus fungsional aminokarboksilat dapat beresonansi sehingga terbentuk gugus $\text{RCHNH}_3^+\text{COO}^-$ sesuai reaksi (5), yang selanjutnya dapat menangkap ion-ion Cs^+ dan NO_3^- sesuai reaksi (6). Selektivitas anion mengikuti urutan sebagai berikut (Tchobanoglous, Reynold, T.D): $\text{SO}_4^{2-} > \text{NO}_3^- > \text{CrO}_4^{2-} > \text{Br}^- > \text{Cl}^- > \text{OH}^-$.

Penggunaan secara tidak langsung biomassa bakteri dilakukan melalui ekstraksi EPS dari bakteri, kemudian EPS yang diperoleh digunakan secara langsung melalui operasi terdispersi dalam air limbah atau secara tidak langsung melalui EPS terimobilisasi dalam matriks polimer untuk memperoleh biosorben padat yang digunakan pada operasi kolom. Ekstraksi EPS dilakukan melalui pemanfaatan lumpur aktif hasil pengolahan limbah secara biooksidasi yang tidak mempunyai nilai ekonomis (Yu Tian, Palm J.C, et all, Chudoba J, Hanel L.B.H). Unjuk kerja mekanisme biosorpsi logam berat dan atau radionuklida pada biomassa bakteri sangat menarik untuk dipelajari dalam kaitannya dengan studi penggunaan alternatif biosorben padat atau resin penukar ion dari bahan alam. Studi fenomena biosorpsi logam berat Cr, Fe, Zn, Cu, Ni dan Mn pada biomassa bakteri *bacillus*, *pseudomonas*, *arthobacter*, dan *aeromonas* telah dilakukan melalui penelitian penggunaan secara langsung biomassa bakteri pada proses biooksidasi limbah Cu, Ni dan Mn pada konsentrasi berturut-turut 11,8; 18,46; 15,49; 18,51; 12,50; dan 11,95 ppm, BOD 360 ppm dan COD 720 ppm dengan menggunakan variabel pH 6,7 dan 8.

Teori

Penghilangan kandungan senyawa organik rantai karbon lurus dalam limbah cair dapat dilakukan melalui proses biooksidasi menggunakan bakteri aerob yang diaerasi dan diberi nutrisi untuk sumber energi dan regenerasi sel bakteri (Wesley, Yu Tian, Tchobanoglous, Fry, J.C et all). Bakteri akan menggunakan zat organik sebagai makanannya sehingga terurai menjadi CO_2 dan H_2O mengikuti persamaan reaksi (7) dan (8) (Wesley, Tchobanoglous). Zat organik adalah senyawa toksik, melalui peruraian tersebut terjadilah detoksifikasi larutan. Bakteri (sel) hidup dan mati serta residu selular tahan urai sesuai reaksi (7) dan (8) akan membentuk biomassa bakteri yang tersedimentasi dan berubah menjadi flok biologis.



Dalam persamaan reaksi (7), k adalah konstanta kecepatan reaksi yang merupakan fungsi kemampuan biodegradasi zat organik dalam limbah cair. Koefisien a' adalah fraksi zat organik yang dihilangkan melalui oksidasi menjadi hasil akhir yang berupa energi, dan a adalah fraksi zat organik yang dihilangkan melalui pengubahan menjadi massa sel. Koefisien b adalah fraksi biomassa yang dapat terdegradasi melalui oksidasi perhari dan b' adalah oksigen yang dibutuhkan untuk oksidasi tersebut.

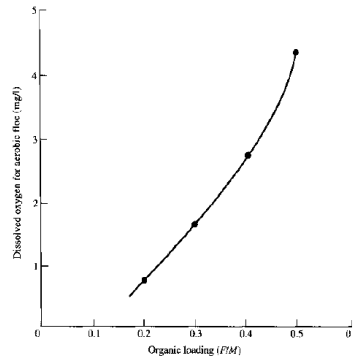
Tabel 1. Nutrisi yang Dibutuhkan Untuk Oksidasi Biokimia dalam Jumlah yang Kecil (Bentuk Ion) (Wesley, Tchobanoglous).

No	Jenis Nutrisi	Kadar mg/mg BOD
1.	Mn	10×10^{-5}
2.	Cu	$14,6 \times 10^{-5}$
3.	Zn	16×10^{-5}
4.	Mo	43×10^{-5}
5.	Se	14×10^{-10}
6.	Mg	30×10^{-4}
7.	Co	13×10^{-5}
8.	Ca	62×10^{-4}
9.	Na	5×10^{-5}
10.	K	45×10^{-4}
11.	Fe	12×10^{-3}
12.	CO_3	27×10^{-4}

Sumber : Eckenfelder, 2000

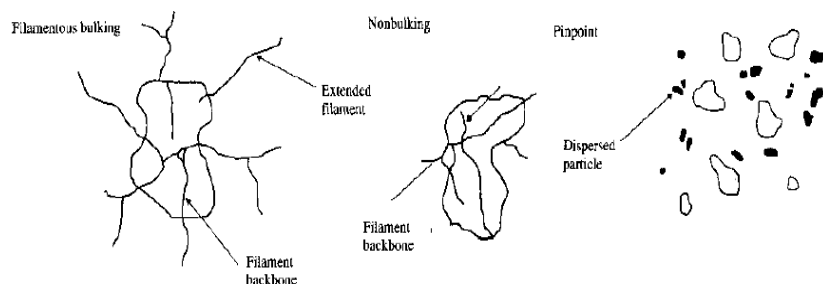
Kebutuhan nutrisi N dan P dalam pengolahan limbah dihitung dari rasio BOD:N:P = 100:5:1 (Wesley, Tchobanoglous, Chudoba J, Brierly JA, Remedial Piranti Jaya PT). Kebutuhan nutrisi minor untuk proses

biooksidasi ditunjukkan pada Tabel 1, nutrisi tersebut biasanya sudah ada dalam air limbah. Bila air limbah mengandung senyawa organik, elemen logam berat dan atau radionuklida maka biomassa bakteri akan menyerap elemen-elemen tersebut melalui proses biosorpsi. Nilai parameter pH, BOD, COD dan oksigen terlarut (*disolved oxigen/DO*) dalam air limbah harus dianalisa untuk penentuan formula kondisi operasi. Nilai parameter DO digunakan digunakan untuk penentuan jumlah kebutuhan bakteri sesuai Gambar 1 (Wesley). Gambar 1 adalah kurva hubungan antara DO (sebagai ordinat) dan F/M (sebagai ordinat) dimana F adalah jumlah makanan untuk bakteri yang merupakan perkalian nilai BOD dan volume air limbah, sedangkan M adalah jumlah kebutuhan bakteri. Nilai DO diplotkan pada Gambar 1 untuk memperoleh rasio F/M dan menghitung nilai M.



Gambar 1. Hubungan Oksigen terlarut dengan rasio F/M (Wesley).

Gambar 2 menunjukkan jenis lumpur aktif yang terbentuk yaitu *filamentous bulking*, *non bulking* dan *pin-point* (Wesley). Lumpur aktif *filamentous bulking* tidak dikehendaki terjadi karena dapat menyumbat penampang aliran transfer air limbah, terbentuk bila resirkulasi dan aerasi tidak sempurna sehingga nilai DO sangat rendah. Lumpur aktif *pin-point* juga tidak dikehendaki karena proses biosorpsi dan presipitasi logam tidak sempurna, terbentuk bila pengadukannya pada rpm yang terlalu tinggi. Lumpur aktif *non bulking* memberikan proses biosorpsi dan presipitasi logam yang paling baik. Urutan proses biooksidasi air limbah secara keseluruhan adalah penambahan nutrisi dan aerasi, penambahan bakteri sejumlah M, adaptasi bakteri dalam larutan, bakteri memakan zat organik, proses detoksifikasi polutan organik, pertumbuhan-regenerasi-kematian bakteri, pembentukan biomassa bakteri, biosorpsi elemen kation dan anion pada biomassa, flokulasi dan presipitasi biomassa termuati polutan kation dan anion, dan detoksifikasi elemen logam. Jenis bakteri spesifik yang sesuai dengan kemampuan penyisihan jenis logam berat dan atau radionuklida ditunjukkan pada Tabel 2.



Gambar 2. Tipe Lumpur Aktif (Wesley).

Metode Penelitian

Bahan

Limbah cair yang digunakan adalah limbah cair simulasi yang mengandung logam Cr, Fe, Zn, Cu, Ni, dan Mn berturut-turut pada konsentrasi 11,8; 18,46; 15,49; 18,51; 12,50; dan 11,95 ppm, BOD 360 ppm dan COD 720 ppm. Bahan yang digunakan meliputi campuran bakteri mutan *bacillus*, *pseudomonas*, *arthrobacter*, dan *aeromonas*, urea, tri super phosphate (TSP), kalium karbonat, asam sulfat, perak sulfat, merkuri sulfat, fero amonium sulfat, mangan sulfat, natrium hidroksida, kalium iodida, natrium tio sulfat, indikator amilum, glukosa monohidrat, dan asam asetat.



Peralatan

Peralatan yang digunakan meliputi akuarium, aerator, *water checker*, spektrometer serapan atom (AAS), dan spektrometer DR 200.

Metode

Sejumlah bahan yang meliputi 0,9252 g K_2CrO_4 , 1,9069 g $Cr(NO_3)_3 \cdot 9H_2O$; 1,8778 g $FeCl_3 \cdot 6H_2O$, 1,3017 g $Zn(NO_3)_2 \cdot 4H_2O$; 1,0436 g $CuCl_2 \cdot 2H_2O$, 0,5742 g $MnCl_2$; 1,1395 g $Ni(NO_3)_2 \cdot 4H_2O$; 14,70 g $C_6H_{12}O_6 \cdot H_2O$; dan 29,40 ml CH_3COOH dimasukkan ke dalam 21 l akuades, kemudian ditambahkan 10 ml HNO_3 , terbentuklah limbah simulasi. Limbah cair simulasi sebanyak 7 l yang telah dimasukkan ke dalam akuarium ditambah 282 mg urea, 56,41 g TSP, dan diaerasi. Bakteri sebanyak M ml ditambahkan ke dalam limbah cair tersebut, pH awal larutan diukur. pH larutan dibuat 6 melalui penambahan NaOH. Aerasi larutan dilanjutkan sehingga proses biooksidasi berlangsung, sampel air bening diambil secara periodik untuk dianalisa kadar logam beratnya, BOD dan COD. Percobaan diulangi pada pH 7 dan 8.

Tabel 2. Akumulasi Logam Berat dan Unsur Radioaktif oleh Mikroba (Fry J.C et all, dll)

Organisme	Unsur	Uptake (% Bobot Kering)	Organisme	Unsur	Uptake (% Bobot Kering)
Bakteri			Jamur		
<i>Streptococcus sp.</i>	U	2-14	<i>Phoma sp.</i>	Ag	2
<i>S. viridochromogenes</i>	U	30	<i>Penicillium sp.</i>	U	8-17
<i>Thiobacillus ferrooxidans</i>	Ag	25	<i>Rhizopus arrhizus</i>	Cu	1,6
<i>Zooglea sp.</i>	Cd	4-9		Cd	3
	Co	25		Pb	10,4
	Cu	34		U	19,5
	Ni	13		Th	11,6-18,5
	U	44		Ag	5,4
	Pb	34-40		Hg	5,6
<i>Citrobacter sp.</i>	Cd	40	<i>Aspergillus niger</i>	Th	18,5
	U	90		U	21,5
	U	15			
<i>Pseudomonas aeruginosa</i>	Cu	30	Ragi		
Kultur campuran	Ag	32	<i>Saccharomyces cerevisiae</i>	U	10-15
Kultur campuran	Ba	60,1		Th	12
<i>Bacillus sp.</i>	Cu	15,2		Zn	0,5
	Zn	13,7	Ragi (14 strains)	Ag	0,05-1
	Cd	21,4			
	Ag	8,6			
Ganggang					
<i>Chlorella vulgaris</i>	Au	10			
<i>Chlorella regularis</i>	U	15			
<i>C. regularis</i>	U	0,4			
	Mn	0,8			

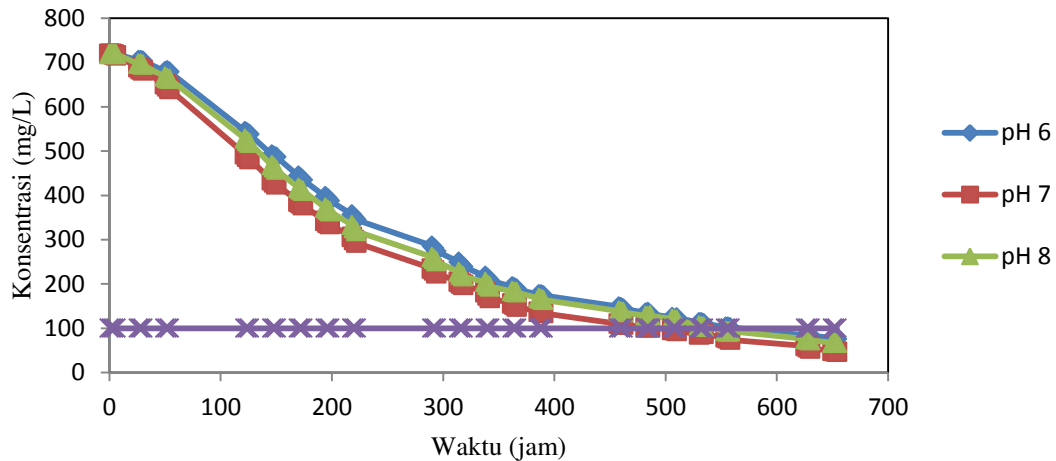
Hasil dan Pembahasan

Dalam proses biooksidasi limbah cair yang diaerasi menghasilkan kadar DO 5,5 ppm, nilai tersebut diplotkan pada Gambar 1 sehingga diperoleh $F/M=0,50$. Harga F merupakan perkalian volume limbah x BOD yang berharga 2,520 g ($=7 \text{ l} \times 360 \text{ mg/l}$), maka M berharga 5,04 g ($=2,52/0,5$). Densitas larutan bakteri adalah 0,986 g/ml, maka $M=5,11 \text{ ml}$. Proses biooksidasi dilakukan pada suhu atmosfer, karena reaksi (7) dan (8) limbah cair terencerkan oleh H_2O dan terasamkan oleh CO_2 hasil reaksi menjadi berpH tetap pada nilai 7,5. Bakteri mencapai adaptasi dalam larutan pada waktu proses 146 jam dimana mulai timbul biomassa warna kecoklatan, bakteri memakan zat organik, tumbuh dan berkembang biak sangat cepat, dalam waktu bersamaan ada bakteri yang mati. Biomassa bakteri semakin lama semakin banyak, yang membentuk lumpur non-bulking sesuai Gambar 2 karena kadar DO hasil aerasi cukup tinggi.

Gambar 3 menunjukkan penurunan nilai COD sebagai fungsi waktu proses, terlihat bahwa pada waktu awal COD berharga 720 ppm kemudian waktu proses 146 jam nilai COD larutan berharga 492 ppm (pada pH 6), 434 ppm (pada pH 7) dan 468 ppm (pada pH 8). Nilai BOD yang mengikuti formula $0,50 \times COD$ pada waktu proses 146 jam berharga 246 ppm (pada pH 6), 217 ppm (pada pH 7) dan 234 ppm (pada pH 8). Pada waktu proses 560 jam nilai COD dan BOD berturut-turut adalah 102 dan 51 ppm (pada pH 6), 74 dan 38 ppm (pada pH 7), dan 93 dan 46,5

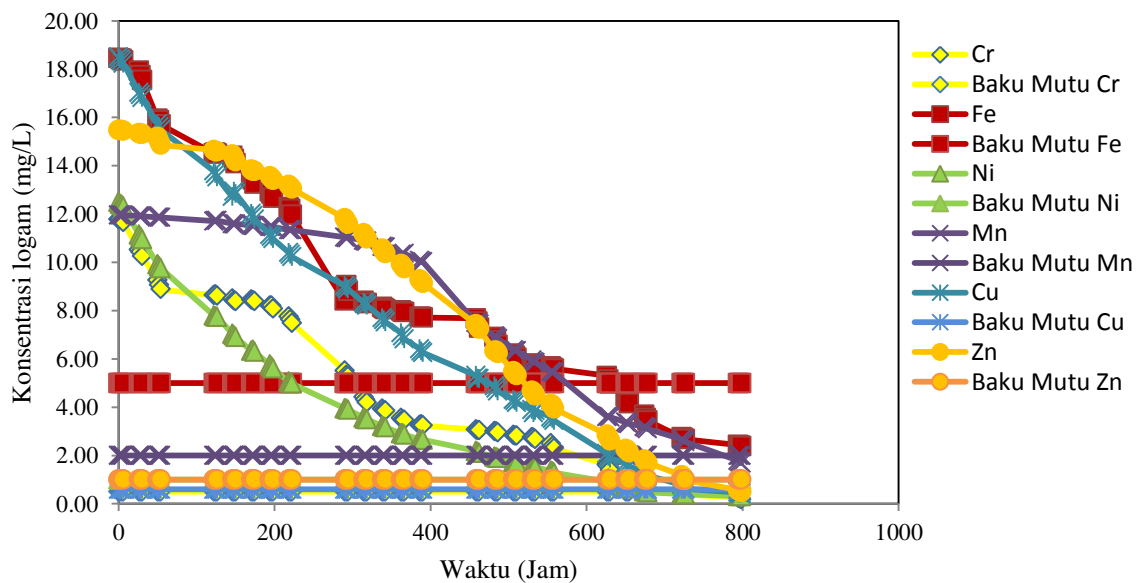


ppm (pada pH 8). Pada Gambar 3 terlihat bahwa pH proses biooksidasi 7 merupakan kondisi proses yang terbaik memberikan nilai penurunan COD yang lebih kecil dibanding pada pH 6 dan 8, pada waktu proses 560 jam nilai COD hasil proses berharga 74 ppm telah memenuhi baku mutunya (100 ppm). pH 7 merupakan kondisi netral yang terbaik untuk proses pertumbuhan bakteri dan pembentukan biomassa.



Gambar 3. Grafik Hubungan Konsentrasi COD Terhadap Waktu Proses

Gambar 4 menunjukkan hubungan waktu proses terhadap kadar logam berat dalam air bening, terlihat bahwa pencapaian konsentrasi minimum logam berat pada waktu proses 560 jam mengikuti urutan Ni 1,5 ppm, Cr 2 ppm, Cu 3 ppm, Zn 3,5 ppm, Fe 5,5 ppm dan Mn 6,5 ppm. Berdasarkan selektivitas kation yaitu $Cr^{3+} > Fe^{3+} > Ni^{2+} > Cu^{2+} > Co^{2+} > Mn^{2+} > Zn^{2+}$, ion Cr^{3+} secara normal mengusir H^+ dan tertangkap awal pada EPS dan terendapkan sebagai flok biomassa lebih dulu.



Gambar 4. Grafik Konsentrasi Logam Berat dalam Beningan pada pH Optimum

Untuk kation yang lain, pengaruh selektivitas tidak mutlak jadi urutan awal mengusir H^+ dan masuk pada EPS, ada sebagian kecil kation juga masuk pada EPS. Berat atom logam berat mengambil alih presipitasinya lewat gaya gravitasi. Kation Ni^{2+} yang kemudian diikuti Cr^{3+} terpresipitasi lewat gaya gravitasi terlebih dahulu. Berat atom Ni, Cr, dan Fe berturut-turut adalah 59, 52 dan 56 dengan demikian berat atom Ni berperan pada presipitasi awal dengan gaya gravitasinya yang lebih besar dibanding untuk Cr, walaupun selektivitasnya paling besar. Urutan presipitasi karena gaya gravitasi berikutnya adalah Cu, Zn dan Fe. Berat atom Cu (63,55) sangat lebih besar dari berat atom Fe (56) oleh karena itu berat atomnya mengambil alih mekanisme presipitasi dengan nilai gaya gravitasi yang besar. Berat atom Zn 65,3 sangat lebih besar dari berat atom Fe (56) dan Mn (55), oleh karena itu Zn mengendap lebih



awal sebab gaya gravitasinya mengalahkan peran selektivitas Fe^{3+} . Selektivitas Fe^{3+} lebih besar dari pada selektivitas dan berat atom Mn^{2+} , oleh karena itu Fe terpresipitasi lebih dulu daripada Mn. Unjuk kerja gabungan antara peran selektivitas dan berat atom memberikan hasil flokulasi dan presipitasi karena gravitasi dengan urutan Ni, Cr, Cu, Zn, Fe, Mn.

Kesimpulan

Dalam proses biosorpsi logam berat Cr, Fe, Zn, Cu, Ni dan Mn yang berturut-turut berkadar 11,80; 18,46; 15,49; 18,51; 12,50; dan 11,95, BOD 360 ppm dan COD 720 ppm pada biomassa campuran bakteri *bacillus*, *pseudomonas*, *arthrobacter* dan *aeromonas*, besaran pH dan waktu proses berpengaruh terhadap hasil. Nilai pH 7 merupakan kondisi proses terbaik, pada waktu proses 146 jam bakteri mulai beradaptasi dalam lingkungan air limbah, flok biomassa warna kecoklatan mulai terjadi, bakteri memakan zat organik, tumbuh dan berkembang biak sangat cepat membentuk biomassa bakteri yang berkomposisi *Extracellular Polymeric Substance (EPS)*. Zat organik terurai menjadi CO_2 dan H_2O , EPS pada biomassa bakteri melakukan biosorpsi logam berat sehingga terjadi flokulasi dan presipitasi karena gaya gravitasi membentuk *sludge* atau lumpur aktif. Pada waktu proses 560 jam konsentrasi logam berat dalam beningan adalah Ni 1,5 ppm, Cr 2 ppm, Cu 3 ppm, Zn 3,5 ppm, Fe 5,5 ppm, dan Mn 6,5 ppm. Dalam proses biosorpsi logam berat pada EPS biomassa bakteri, mekanisme pertukaran ion memegang peran penting namun berat atom logam berat berpengaruh dalam proses presipitasi biomassa bakteri yang telah termuati logam berat melalui gaya gravitasi. Unjuk kerja gabungan antara peran selektivitas dan berat atom memberikan hasil presipitasi dengan urutan Ni, Cr, Cu, Zn, Fe, dan Mn.

Daftar Pustaka

- Brierly JA. Production and Application of a Bacillus-based Product for Use in Metals Biosorption. In Biosorption of Heavy Metals ed. B. Volesky. Boca Raton.1990: CRC Pr.Pg 305-311.
- Chudoba J. Microbial Growth Characteristic. Water Resources. 1985: 18:47.
- Fry, J.C et all. Microbial Control of Pollution. Cambridge University Press: Cambridge, United Kingdom,1992.
- Gadd GM. De Rome L. Biosorption of Copper by Fungal Melanin Appl Microbiol Biotechnol. 1988. 29:610-617.
- Gadd GM. Molecular Biology and Biotechnology of Microbial Interactions with Organic Heavy Metal Compounds. In Molecular Biology and Biotechnology of Extremophiles. eds R.A Herbert & R.J Sharp. Glasgow: Blackie. 1992: Pg 225-237.
- Greene B. Dranal DW. Microbial Oxigenic Photoautotrophs (Cyano-bacteria and algae) for Metal-ion binding. In Microbial Mineral Recovery.New York: McGraw-Hill. 1990: 314-319.
- Hanel, L.B.H. Biological Treatment of Sewage by Activated Sludge Process. Theory and Operation. 3th Ed. John Willey & Son: New York. 1979.
- Hutchin SR et all. Microorganism in reclamation of Metal A Rev Microbiol 40. 1986: 311-336.
- Macaskie LE, Dean ACR. Metal Sequestering Biochemicals In Biosorption of Heavy Metal. Boca Raton 1990: CRC Pr. 199-248.
- Macaskie LE. Dean ACR. Microbial Metabolism. Desolubilization and Deposition of Heavy Metals: Metal Uptake By Immobilized Cells And Application to Treatment of Liquid Waste. In Biological Waste Treatment. New York 1989: AR Liss 150-201.
- Palm J.C, et al. Three Generic Types of Activate Sludge. J.Water Polut. Control Feed: 1980: 52:484.
- Remedial Piranti Jaya PT. Brosur of super Growth Bacteria SGB 102 and SGB 104. Jakarta.1998.
- Reynolds, T.D. Unit Operation and Processes in Environmental Engineering. PWS Publishing Company: Boston, 1982.
- Tchnobanoglous, G et all. Wastewater Engineering. Treatment and Reuse (Fourth Edition). Mc Graw-Hill Book Company: Singapore. 2003.
- Wesley. E Industrial Water Pollution Control (2nd edition). Mc Graw-Hill Book Company: Singapore.
- Yu Tian. Behaviour of Bacterial Extracellular Polymeric Substance from Activated Sludge: a review International Journal Environment and Pollution. 2008: Vol 32, No I.





Lembar Tanya Jawab
Moderator : Luqman Buchori (UNDIP Semarang)
Notulen : Retno Ringgani (UPN "Veteran" Yogyakarta)

1. Penanya : Lulu (UNJANI)
Pertanyaan : Bagaimana penanganan biomassa yang sudah mengadsorpsi logam berat?
Jawaban : Biomassa yang sudah mengandung logam berat, selanjutnya kita kenal dengan lumpur aktif. Lumpur aktif tidak dibuang ke lingkungan tetapi diolah yaitu dibakar selanjutnya menghasilkan abu dan logam berat yang selanjutnya logam yang terkandung diekstraksi.
2. Penanya : Nasti (UPN)
Pertanyaan :
 1. Bakteri apa yang digunakan pada proses pengolahan limbah logam berat seperti yang dilakukan pada penelitian ini?
 2. Apakah uji analitik FTIR?
Jawaban :
 1. Bakteri yang sudah beradsorpsi dalam selama 160 hari dengan limbah logam berat. Bakteri yang akan digunakan di pretreatment dahulu dalam proses adaptasi dengan pH 7, diberi aerasi dan nutrisi gula yang cukup awal. Bakteri mati tetapi setelah ditreatment akan terpilih bakteri yang mampu beradaptasi dan bakteri tersebut malah belum survive lebih baik lagi.
 2. Adalah uji analisa untuk mengidentifikasi gugus fungsional yang ada.

