

FENOMENA BIOSORPSI KROMIUM, TEMBAGA, BESI, DAN ZINK PADA *EXTRACELLULAR POLYMERIC SUBSTANCE* TERDISPERSI DALAM LARUTAN

Zainus Salimin, Endang Nuraeni, dan Mirawaty

Pusat Teknologi Limbah Radioaktif – BATAN, Kawasan PUSPIPTEK Serpong, Tangerang Selatan

zainus_s@batan.go.id

ABSTRAK

FENOMENA BIOSORPSI KROMIUM, TEMBAGA, BESI, DAN ZINK PADA EXTRACELLULAR POLYMERIC SUBSTANCE TERDISPERSI DALAM LARUTAN. Penyisihan logam berat biasa dilakukan dengan koagulan kimia, tapi timbul pencemaran bahan kimia di lingkungan, sehingga perlu dicarikan alternatif penggantinya. Alternatif penggantinya adalah Extracellular Polymeric Substance (EPS) hasil ekstraksi bakteri. EPS mengandung gugus bermuatan negatif (RCOOH, ROPO₃H, ROPO₃Na, ROSO₃H, ROSO₃Na, dan lain-lain) penyerap kation dan gugus positif (ROH, RC(NH₂)HCOOH, dan lain-lain) penyerap anion. EPS yang termuati logam berat terendapkan jadi endapan. Penggunaan EPS dalam penyisihan kromium, tembaga, besi dan zink telah dilakukan untuk mempelajari fenomena biosorpsinya. Dua ratus mg EPS dicampur 300 ml limbah cair ber pH 2,4 dan mengandung krom, tembaga, besi dan zink berturut-turut 3,06; 4,83; 1,6; dan 15,07 ppm, campuran diaduk 150 rpm, pH diatur 7. Beningan diambil setiap 2 jam sekali untuk analisis kandungan logamnya. Percobaan diulangi pada pH 4 dan 8. Hasil analisis EPS memberikan komposisi polisakarida 11%, protein 77% dan lemak 11% dan terdapat ikatan kimia C-H, OH, NH, dan gugus C=O. Jadi EPS mengandung RCOOH, ROH dan RC(NH₂)HCOOH. Hasil terbaik biosorpsi pada pH 8, waktu 6 jam memberikan kadar logam dalam beningan untuk kromium, tembaga, besi dan zink berturut-turut sebesar 0,99 ppm; 0,51 ppm; 0,1742 ppm; dan 4,61 ppm dan 69,42%. Berdasarkan selektivitas $Fe^{3+} > Cr^{3+} > Cu^{2+} > Fe^{2+} > Zn^{2+}$, pada waktu 6 jam lokasi gugus fungsional kation telah diisi oleh Fe^{3+} , Cr^{3+} , Cu^{2+} , dan Fe^{2+} sehingga Zn^{2+} masuk pada periode terakhir, akibatnya konsentrasi zink dalam beningan (4,61 ppm) belum memenuhi baku mutunya (2 ppm). Pada waktu 6 jam nilai persen penyisihan tembaga berharga paling besar (89,44%) dibanding persen penyisihan besi (88,67%) dan krom (67,54%). Hal tersebut dikarenakan berat atom tembaga (63,55) berharga lebih besar dari besi (56) dan krom (52), sehingga tembaga terendapkan terlebih dahulu oleh gaya beratnya walaupun selektivitasnya lebih kecil. Pengeapan selanjutnya disusul oleh besi, baru kemudian krom dengan mekanisme selektivitas. Pada nilai pH 8 ion OH akan ditarik oleh Cr^{3+} dan Fe^{3+} yang telah terikat EPS sehingga flok biologi bermuatan negatif. Flok tersebut menarik kation Cu^{2+} , Fe^{2+} dan Zn^{2+} dan menjadi besar dan kemudian tersedimentasi dan mengendap.

Kata Kunci : Extracellular polymeric substance, logam berat, biosorpsi

ABSTRACT

BIOSORPTION PHENOMENA OF CHROM, COPPER, IRON AND ZINK BY DISPERSED BACTERIAL EXTRACELLULAR POLYMERIC SUBSTANCE. Heavy metals removing is generally performed using chemical coagulant that generates the chemical pollutant, so it is necessary to replace it by another alternative material as the Extracellular Polymeric Substance (EPS) resulting from the extraction of bacteria. The EPS contains the negatively functional groups (RCOOH, ROPO₃H, ROPO₃Na, ROSO₃H, ROSO₃Na, etc) as the cation sorbent and the positively functional groups (ROH, RC(NH₂)HCOOH, etc) as the anion sorbent. The EPS absorbs the ion pollutants, then EPS containing the loaded metals be settled by gravitation. The utilization of EPS for removing of chrom, copper, iron, and zink was performed for biosorption phenomena study. Two hundred mg of EPS is mixed with 300 ml of the liquid waste having the pH of 2,4 containing 3,06 ppm of chrom; 4,83 ppm of copper; 1,6 ppm of iron and 15,07 ppm of zink. The solution is then agitated on 150 rpm and the pH of 7. The separated water supernatant is then sampled every 2 hours for its analysis of metals content. The experiment is repeated again for the solution pH of 4 and 8. The results of experiment indicates that the EPS composition are 11% of polysaccharides, 77% of protein, and 11% of fat, and EPS contains the chemical boundings of C-H, OH, NH, and C=O. Indicating that EPS contains RCOOH, ROH and RC(NH₂)HCOOH. The best condition for metals biosorption is pH 8, and on the 6 hours of process time, the metal concentration on the water supernatant for chrom, copper, iron and zink are 0,99 ppm; 0,51 ppm; 0,17 ppm; and 4,61 ppm respectively. Its selectivities are $Fe^{3+} > Cr^{3+} > Cu^{2+} > Fe^{2+} > Zn^{2+}$, on the 6 hours of process time the location of cations functional groups was filled by the cations of Cr^{3+} , Cu^{2+} , dan Fe^{2+} . The cation of Zn^{2+} enters to that location on the end of periode so on the 6 hours of process time its concentration of 4,61 ppm not conforms to its concentration of regulation value of 2 ppm. On the process time of 6 hours the removing percentage of copper (89,44%) is the biggest result than its value for iron

(88,67%) and chrom (67,54%). The atoms weight of copper (63,55) is the biggest one than for iron (56) and chrom (52) so the atom weight takes over the loading role for the first of sedimentation and coprecipitation by gravitation even though its selectivity is smallest. The next sedimentation and coprecipitation is carried out by iron and chrom using the selectivity role. On the best pH 8, there are the excess of OH⁻ ion, extracting by Cr³⁺ and Fe³⁺ being already on the position of EPS that creates negative charge of the floc. The cations of Cu²⁺, Fe²⁺ and Zn²⁺ are then attracted to the negative charge of the floc. The big size of floc is finally sedimented and then settled.

Keywords : Extracellular polymeric substance, heavy metal, biosorption

PENDAHULUAN

Pengolahan limbah cair industri untuk penyisihan logam berat biasa dilakukan dengan proses kimia menggunakan koagulan kimia agar terjadi proses koagulasi, flokulasi, sedimentasi dan kopresipitasi sehingga logam berat terpisahkan dari larutan menjadi endapan yang berbentuk lumpur (*sludge*). Koagulan kimia yang biasa dipakai adalah senyawa aluminium sulfat (tawas), polyaluminium klorida (PAC), feri klorida, dan lain-lain yang didalamnya terdapat logam dengan muatan sangat elektropositif [1,2]. Proses koagulasi adalah reaksi antara ion logam dalam koagulan dengan ion OH⁻ membentuk endapan logam hidroksida. Untuk koagulan tawas reaksi tersebut membentuk Al(OH)₃. Dalam suasana basa endapan tersebut akan berawan negatif dalam bentuk Al(OH₄)⁻¹ atau Al(OH)₅⁻² yang akan menarik secara elektrostatis kation lain sehingga terjadilah flokulasi atau pembentukan floc. Apabila floc tersebut termuat banyak kation maka melalui gaya beratnya floc terendapkan secara gravitasi dan tersedimentasi. Hasil dari proses sedimentasi tersebut adalah kopresipitasi logam kation yang ikut mengendap bersama floc [3,4]. Penggunaan koagulan kimia dalam pengolahan limbah mempunyai akibat samping pencemaran bahan kimia di lingkungan, sehingga perlu dicari bahan alternatif penggantinya. Bahan alam yang dapat digunakan sebagai alternatif pengganti koagulan kimia adalah Ekstracellular Polymeric Substance (EPS) hasil ekstraksi dari bakteri. Lumpur aktif hasil pengolahan limbah industri secara oksidasi biokimia menggunakan bakteri aerob mengandung jutaan koloni bakteri. Lumpur aktif tersebut biasanya dibuang, padahal dapat dimanfaatkan sebagai bahan baku untuk EPS. EPS dapat diekstraksi dari lumpur aktif melalui proses sentrifugasi pada 9000 rpm dan 4 °C, EPS tersebut dapat digunakan secara langsung melalui teknik EPS terdispersi untuk pengolahan limbah logam berat dan secara tidak langsung melalui pembentukan biosorben dimana EPS dimatrikskan dalam suatu polimer [5,6]. Penggunaan EPS terdispersi hanya dapat untuk sekali pemanfaatan, sedangkan melalui pembentukan biosorben penggunaannya dapat secara kontinyu dan terus menerus karena saat biosorben telah jenuh dengan kation dan anion yang telah diserap, proses

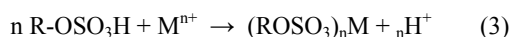
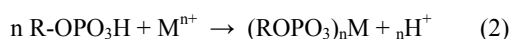
regenerasi biosorben dapat dilakukan. Penggunaan EPS hasil ekstraksi lumpur aktif dari pengolahan limbah cair industri eskrim PT. Unilever secara oksidasi biokimia dengan bakteri aerob untuk penyisihan logam berat kromium, tembaga, besi dan zink telah dilakukan untuk mempelajari fenomena biosorpsinya.

EPS dihasilkan dari bakteri hidup maupun yang telah mati, melalui proses ekstraksi. EPS mempunyai komposisi polisakarida 40-95%, protein 1-60%, asam nukleat 1-10%, lipida 1-10%, dan sisanya polimer asam amino serta senyawa lain dalam bakteri [2,7,8]. EPS mengandung gugus fungsional bermuatan negatif (RCOOH, ROPO₃H, ROPO₃Na, ROSO₃H, ROSO₃Na, dan lain-lain) yang dapat menyerap kation logam berat melalui pertukaran ion, dan gugus fungsional positif (ROH, RC(NH₂)HCOOH, dan lain-lain) yang dapat menyerap anion logam berat melalui pertukaran ion. Polisakarida adalah senyawa organik yang berkomposisi selulosa, kitin, pati, glikogen, dan karbohidrat. Karbohidrat terdiri dari monosakarida, maltosa, laktosa, sukrosa, dan lain-lain [9]. Polisakarida pada konfigurasi atom karbonnya mengandung gugus fungsional karboksilat (RCOOH) dan hidroksilat (ROH). Grup karboksilat pada polisakarida meliputi asam tartarat, asam aldonat, asam aldorat, asam uronat, asam glukonat, asam gulonat, asam asetat, asam askorbat, dan sulfat (dalam bentuk R-OSO₃H dan RNHSO₃H). Polisakarida pada bentuk kation mengandung gugus asam amino [R-CH(NH₂)COOH] [9].

Protein adalah senyawa poliamida, dan dalam hidrolisanya menghasilkan asam amino, terdapat 20 jenis asam amino. Dalam struktur asam amino terdapat gugus amino dan karboksilat. Asam nukleat merupakan pengembangan kode genetik dalam system kehidupan. Dua tipe utama asam nukleat ialah asam deoksiribonukleat (DNA) dan asam ribonukleat (RNA). DNA mempunyai struktur polimer rantai panjang dari senyawa gula deoksiribosa yang diikat menjadi satu oleh gugus fosfat. Hidrolisa sempurna DNA menghasilkan pecahan kecil gula, basa dan ion fosfat. Struktur RNA sama seperti struktur DNA. Hidrolisa dari RNA menghasilkan nukleosida (gula terikat pada basa) dan nukleotida (gula terikat pada basa dan fosfat), ion fosfat dan ribosa. Dalam struktur asam nukleat terdapat gugus fungsional fosfat, karboksilat dan hidroksilat. Lipida adalah

senyawa organik alamiah yang tidak larut dalam air, tetapi larut dalam pelarut organik non polar seperti suatu hidrokarbon atau dietil eter. Lipida terdiri dari lemak dan minyak, terpena, steroida, dan lain-lain. Minyak dan lemak adalah senyawa trigliserida yang terdiri dari asam butirat, asam palmitat, asam stearad, dan lain-lain. Pada struktur lipida terdapat gugus fungsional karboksilat[9].

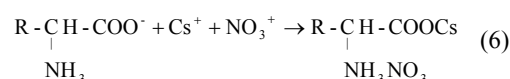
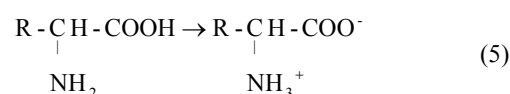
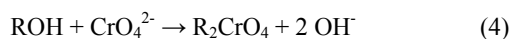
EPS dapat berfungsi sebagai biosorben yang dapat mengikat kation dan anion dari pencemar lingkungan melalui mekanisme pertukaran ion, pembentukan senyawa kompleks, ikatan hidrogen dan adsorpsi. Pengikatan kation yang dilakukan oleh gugus fungsional karboksilat, fosfat, dan sulfat diberikan melalui persamaan sebagai berikut [2,6,7,8]:



M^{n+} adalah kation yang bermuatan positif n yang mempunyai selektivitas lebih besar dari ion H^+ atau kation lain yang menggantikan ion H^+ . Selektivitas yang lebih besar merupakan kondisi untuk dapat mengusir kation yang telah berada dalam gugus fungsional. Proses pertukaran ion cenderung lebih memilih terlebih dahulu ion dengan kondisi[10]:

1. Ion dengan valensi lebih tinggi
2. Ion terlarut dengan volume tersolvatasi yang kecil
3. Ion dengan kemampuan berpolarisasi lebih besar
4. Ion yang bereaksi kuat dengan tempat penukar ion dari padatan resin
5. Ion paling sedikit bereaksi dengan ion lain untuk membentuk kompleks.

Pada penukar kation, deretan kation yang lebih ditarik adalah mengikuti urutan selektivitas sebagai berikut: $\text{Ba}^{2+} > \text{Pb}^{2+} > \text{Sr}^{2+} > \text{Ca}^{2+} > \text{Ni}^{2+} > \text{Cd}^{2+} > \text{Cu}^{2+} > \text{Co}^{2+} > \text{Zn}^{2+} > \text{Mg}^{2+} > \text{Ag}^+ > \text{Cs}^+ > \text{K}^+ > \text{Na}^+$ dan $\text{UO}_2^{2+} > \text{Cu}^{2+} > \text{Co}^{2+}$ [10]. Urutan selektivitas anion adalah sebagai berikut: $\text{SO}_4^{2-} > \text{I}^- > \text{NO}_3^- > \text{CrO}_4^{2-} > \text{Br}^- > \text{Cl}^- > \text{OH}^-$ [9]. Pengikatan anion oleh EPS dilakukan oleh gugus hidrosilat dan amina sebagai berikut[2,6,7,8]:



Melalui reaksi 6, gugus amina dapat mengikat anion dan sekaligus kation.

TATA KERJA

Bahan

Bahan-bahan yang digunakan terdiri dari kertas saring pori besar whatman 41, limbah cair industri pelapisan logam dengan pH 2,4 yang mengandung kadar krom 3,06 ppm, tembaga 4,83 ppm, besi 1,6 ppm dan zink 15,07 ppm, asam klorida, natrium hidroksida, dan lumpur aktif hasil pengolahan limbah cair industri makanan PT. Unilever.

Metode Penelitian

Pengambilan EPS Dari Lumpur Aktif Dengan Sentrifugasi

Lumpur aktif disaring menggunakan kertas saring pori besar, cake yang diperoleh dicuci dengan akuades untuk menghilangkan kontaminan pengotor. Cake bersih diresuspensi kembali dengan akuades sebanyak lima kali volume cake sehingga diperoleh lumpur baru. Lumpur baru dipanaskan pada suhu 80°C selama 10 menit dan didinginkan kembali sampai suhu kamar. Lumpur tersebut kemudian disentrifugasi pada 9000 rpm selama 20 menit pada 4 °C. Beningan yang diperoleh dipisahkan dengan dituang, kemudian beningan disaring untuk menghilangkan sisa pengotor yang masih terikat sehingga diperoleh larutan EPS. Larutan EPS tersebut disimpan dalam lemari pendingin agar awet. Larutan EPS dianalisis kadar berat kering, kandungan protein dan polisakarida, dan lemak, serta analisis gugus fungsional dengan alat spektroskopi *Fourier Transform Infra Red* (FTIR).

Penelitian Biosorpsi Kromium, tembaga, besi, dan Zink dengan EPS

Sebanyak 200 mg EPS dicampur dengan 300 ml limbah cair yang ber pH 2,4 mengandung kadar krom 3,06 ppm, tembaga 4,83 ppm, besi 1,6 ppm dan zink 15,07 ppm. Campuran kemudian diaduk 150 rpm, pH larutan dibuat pada nilai 7. Beningan diambil setiap 2 jam sekali untuk analisis kandungan logam beratnya dengan alat spektrometer serap atom. Percobaan diulangi pada pH 4 dan 8.

HASIL DAN PEMBAHASAN

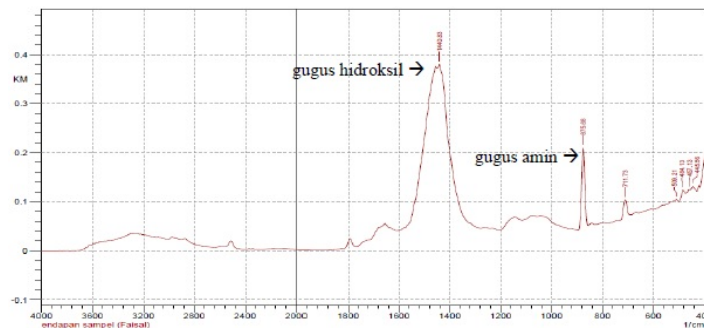
Larutan EPS hasil ekstraksi lumpur aktif mempunyai berat kering 2,96 g/l, sehingga penggunaan 200 mg EPS sama dengan volume 67,57 ml. Hasil analisis kandungan polisakarida, protein dan lemak berturut-turut adalah 11%, 77% dan 11% seperti ditunjukkan pada Tabel 1, nilai tersebut sesuai dengan referensi. Hasil analisis gugus fungsional EPS dengan spektroskopi FTIR ditunjukkan pada Gambar 1. Sesuai Gambar 1 dan data spesifik daerah frekuensi untuk jenis ikatan kimia pada Tabel 2[11],

EPS mengandung ikatan kimia: CH pada intensitas menengah-kuat 1300-1500 cm^{-1} dan intensitas lemah 600-900 cm^{-1} , OH pada intensitas menengah-lemah 1200-1500 cm^{-1} , NH pada intensitas kuat-menengah 1500-1700 cm^{-1} dan intensitas menengah 650-900

cm^{-1} , dan gugus C=O pada intensitas menengah-kuat 1600-1700 cm^{-1} . Berdasarkan ikatan yang ada tersebut maka EPS mengandung gugus fungsional karboksilat, hidroksilat dan aminokarboksilat.

Tabel 1. Persentase kandungan EPS.

Analisa	Persen Analit dalam EPS (%)	Referensi Persen EPS Yu Tian, 2008 (%)	Metode Analisa
Lemak	11	1-10	Gravimetri
Karbohidrat	11	60-95	Luff school
Protein	77	1-60	Kjeldahl

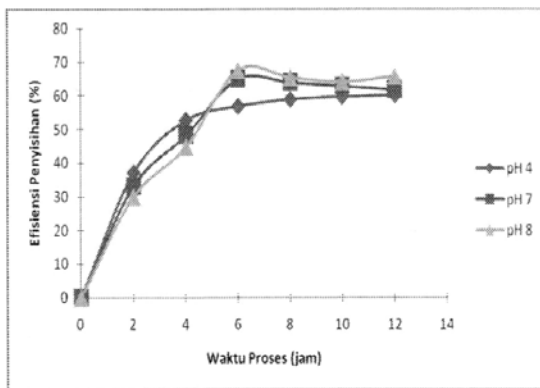


Gambar 1. Hasil analisis gugus fungsi EPS.

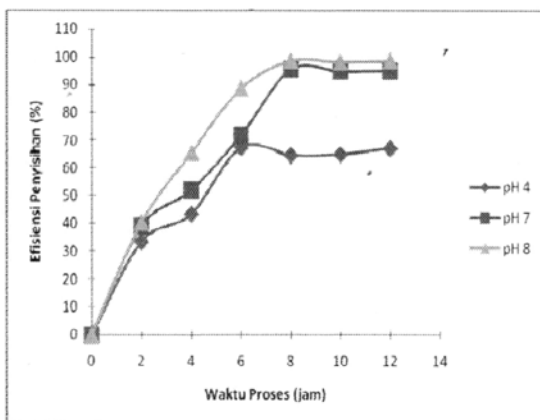
Tabel 2. Standar pembacaan daerah frekuensi FTIR untuk gugus fungsional senyawa organik[11].

Ikatan	Daerah Frekuensi (cm^{-1})	Intensitas
C-H	2700-3300	Kuat
	5600-6300	Menengah
	8300-9000	Lemah
	4200-5000	Menengah
	1300-1500	Menengah-Kuat
	800-830	Lemah
	600-900	Lemah
O-H	3000-3700	Kuat
	6700-7100	Kuat
	1200-1500	Menengah-Lemah
N-H	3000-3700	Kuat
	6300-7100	Lemah
	9000-10000	Menengah
	4800-5300	Menengah-Kuat
	1500-1700	Menengah-Kuat
	700-900	Menengah-Lemah
C-C	800-1200	Menengah-Kuat
C-O	900-1300	Menengah-Kuat
C-N	900-1300	Menengah
C=C	1600-1700	Kuat
C=O	1600-1900	Menengah
	3300-3600	Lemah
	5000-5300	Menengah-Kuat
C=N	1600-1700	Menengah-Lemah
C≡C	2100-2400	Menengah
C≡N	2100-2400	Kuat
C-F	1000-1350	Kuat
C-Cl	710-770	Kuat
C-Br	500-670	Kuat
C-I	480-600	Kuat

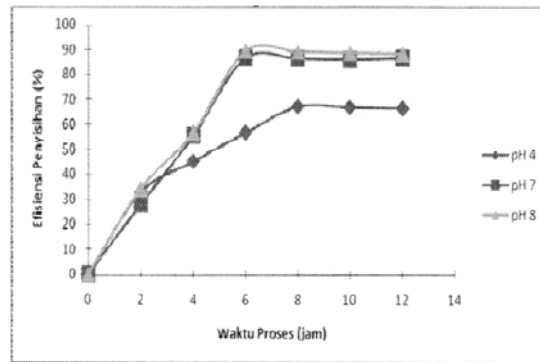
Data hubungan waktu proses terhadap kadar logam dalam beningan dan persentase penyisihan logam pada pH 4,7 dan 8 untuk logam krom, besi, tembaga dan zink ditunjukkan berturut-turut pada Gambar 2, 3, 4 dan 5. Pada gambar tersebut terlihat bahwa semakin lama waktu proses maka nilai efisiensi penyerapan semakin besar karena semakin banyak logam yang terbiosorpsi oleh EPS atau semakin kecil kadar logam dalam beningan. EPS yang termuati logam menjadi mengendap membentuk sludge sehingga kadar logam dalam beningan menjadi kecil. Hasil terbaik proses biosorpsi logam berat menunjukkan bahwa pada pH 8 nilai dari kadar logam berat dalam beningan dan persentase penyisihan logam berharga lebih besar dari pH 4 dan 7.



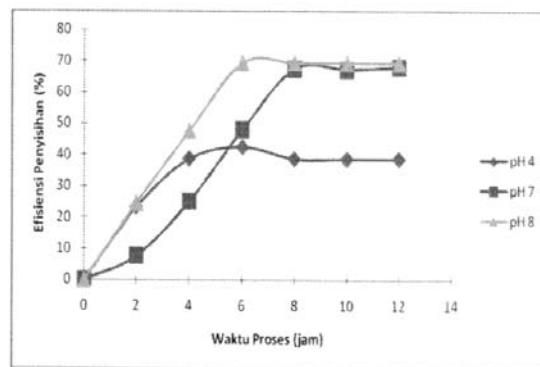
Gambar 2. Grafik efisiensi penyisihan logam krom (Cr) terhadap waktu proses.



Gambar 3. Grafik efisiensi penyisihan logam besi (Fe) terhadap waktu proses.



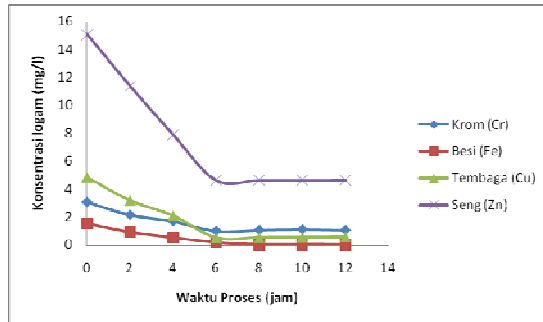
Gambar 4. Grafik efisiensi penyisihan logam tembaga (Cu) terhadap waktu kontak.



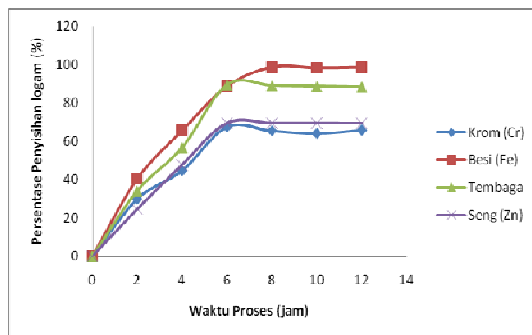
Gambar 5. Grafik efisiensi penyisihan logam seng (Zn) terhadap waktu proses.

Gambar 6 dan Gambar 7 berturut-turut menunjukkan kurva hubungan waktu proses terhadap kadar logam dan persentase penyisihan logam pada pH 8. Pada Gambar 6 terlihat bahwa pada pH 8 konsentrasi zink dalam beningan mempunyai nilai dan tempat kedudukan pada kurva yang paling atas. Konsentrasi besi dalam beningan mempunyai nilai dan tempat kedudukan pada kurva yang paling bawah. Kadar logam berat dalam beningan pada waktu proses 6 jam yang belum memenuhi syarat baku mutunya hanya logam zink (kadar 4,61 ppm) sedangkan baku mutunya 2 ppm[12]. Sedangkan kadar logam dalam beningan untuk kromium, tembaga dan besi berturut-turut sebesar 0,99 ppm; 0,51 ppm; dan 0,1742 ppm telah memenuhi baku mutunya. Baku mutu untuk logam kromium, tembaga dan besi berturut-turut adalah 2, 3 dan 5 ppm[12]. Urutan selektivitas 4 logam berat tersebut adalah: $Fe^{3+} > Cr^{3+} > Cu^{2+} > Fe^{2+} > Zn^{2+}$.

Berdasarkan urutan selektivitas tersebut lokasi gugus fungsional kation telah diduduki terlebih dahulu oleh kation berturut-turut Fe^{3+} , Cr^{3+} , Cu^{2+} , dan Fe^{2+} sehingga kation Zn^{2+} hanya berkesempatan masuk pada periode setelah 4 kation tersebut masuk. Akibatnya pada waktu proses 6 jam konsentrasi zink dalam beningan belum memenuhi syarat baku mutunya.



Gambar 6. Kurva hubungan waktu proses terhadap kadar logam pada pH 8.



Gambar 7. Kurva persentase penyisihan logam pada pH 8.

Pada waktu proses 6 jam nilai persen penyisihan logam tembaga berharga paling besar (89,44%) dibanding penyisihan besi (88,67%) dan krom (67,54%). Hal tersebut dikarenakan berat atom tembaga (63,55) berharga lebih besar dari besi (56) dan krom (52), sehingga logam tembaga terapan terlebih dahulu oleh gaya beratnya secara gravitasi, walaupun selektivitasnya lebih kecil. Pengenapan selanjutnya disusul oleh logam besi, dan kemudian baru logam krom dengan mekanisme selektivitas, peran berat atom tidak ada karena berat atomnya mempunyai nilai hampir sama. Sehingga pH terbaik adalah 8 karena pada nilai tersebut terdapat kelebihan ion OH^- dalam larutan yang akan ditarik oleh logam elektropositif +3 dari Cr^{3+} dan Fe^{3+} yang telah berada dalam gugus fungsional EPS sehingga flok biologi

bermuatan negatif. Flok bermuatan negative tersebut selanjutnya akan menarik kation Cu^{2+} , Fe^{2+} , dan Zn^{2+} . Flok menjadi besar dan kemudian tersedimentasi dan mengendap.

KESIMPULAN

EPS yang dihasilkan dari ekstraksi lumpur aktif mengandung 11% polisakarida, 77% protein dan 11% lemak serta gugus fungsional RCOOH , ROH dan $\text{RCHNH}_2\text{COOH}$. Penggunaan 200 mg EPS yang didispersikan dalam 300 ml limbah cair berpH 2,4 dan mengandung krom, tembaga, besi, dan zink berturut-turut 3,06; 4,83; 1,6; 15,07 ppm pada pH operasi 8 dan waktu 6 jam memberikan hasil terbaik kadar logam dalam beningan dan persentase penyisihan untuk logam krom, tembaga, besi dan zink berturut-turut 0,99 ppm dan 67,54%; 0,51 ppm dan 89,44%; 0,1742 dan 88,67%; dan 4,61 ppm dan 69,42%. Berdasarkan selektivitasnya : $\text{Fe}^{3+} > \text{Cr}^{3+} > \text{Cu}^{2+} > \text{Fe}^{2+} > \text{Zn}^{2+}$, pada waktu proses 6 jam kation Zn^{2+} berkesempatan menempati gugus EPS tersebut pada periode setelah kation masuk. Hal tersebut berakibat hanya konsentrasi zink dalam beningan (4,61 ppm) belum memenuhi syarat baku mutunya (2 ppm). Persen penyisihan tembaga berharga paling besar (89,44%) dibanding persen penyisihan besi (88,67%) dan krom (67,54%) karena berat atom tembaga (63,55) berharga lebih besar dari besi (56) dan krom (52) sehingga tembaga terapan terlebih dahulu oleh gaya beratnya secara gravitasi walaupun selektivitasnya lebih kecil. pH 8 yang merupakan kondisi yang terbaik, terdapat kelebihan ion OH^- yang ditarik oleh Cr^{3+} dan Fe^{3+} yang telah berada dalam EPS sehingga flok biologi menjadi bermuatan negatif. Flok tersebut kemudian menarik kation Cu^{2+} , Fe^{2+} dan Zn^{2+} , sehingga flok menjadi besar dan kemudian terapan dan mengendap.

DAFTAR PUSTAKA

1. Zainus, S., *Treatment Procecces of Chemical Radioactive Liquid Waste in Serpong Nuclear Facilities*, Proceeding of the 7th International Conference on Radioactive Waste Management and Environmental Remediation, Nagoya, Japan, 1999.
2. Tchobanoglous, G. et al., *Wastewater Engineering, Treatment and Reuse (4th Edition)*, Mc Graw-Hill Book Company, Singapore, 2003.
3. Wesly, *E Industrial Water Pollution Control (2nd edition)*, Mc Graw-Hill Book Company: Singapore, 1989.
4. Metcalf & Eddy, *Wastewater Engineering Treatment and Reuse 4th Ed.*, MC. Graw- Hill. New York, 2003.

5. Zainus S., dkk., *Penggunaan Biosorben Extracellular Polymeric Substance Terdispersi Untuk Penyisihan Uranium*, Seminar Rekayasa Kimia dan Proses, Jurusan Kimia Fakultas Teknik Universitas Diponegoro, Semarang, 2011.
6. Zainus, S., dkk., *Utilization Potency of Extracellular Polymeric Substance as Industrial Bioisobren and Ion Exchange Resin*, Proceeding of International Conference on Chemical and Material Engineering, Department of Chemical Engineering, Diponegoro University, Semarang, 2012.
7. Yu Tian, *Behaviour of Bacterial Extracellular Polymeric Substance from Activated Sludge : a Review*, International Journal Environment and Pollution, Vol 32, No. I, 2008.
8. Bhaskar, P. V., *Microbial Extracellular Polymeric Substance in Marine Biogeochemical Process*, J. Current Science 88.1 :45-53, 2005.
9. Ralph J. Fressenden and Joan S. Fressenden, *Organic Chemistry*, 2nd Edition, Williard Grant Press/PWS Publisher, Massachuset, USA, 1982.
10. Reynold, T.D., *Unit Operation and Processes in Environmental Engineering*, PWS Publishing Company, Boston, 1982.
11. Ewing, G.W, *Instrumental Methods of Chemical Analysis*, Mc Graw-Hill, Tokyo, 1975.
12. Keputusan Menteri Negara Lingkungan Hidup Nomor : KEP-51/MENLH/10/1995 Tentang Baku Mutu Limbah Cair Bagi Kegiatan Industri.

TANYA JAWAB

Sukirno

- EPS beningan berapa pH-nya (mulai dari pH berapa? pH dalam pertukaran ion berapa yang maksimum.

- EPS, apakah ditambahkan zat aditif supaya EPS bekerja/proses pertukaran lebih baik.
- EPS sebelumnya telah dianalisis logam-logam yang akan ditentukan.

Zainus Salimin

- EPS adalah beningan hasil ekstraksi lumpur aktif yang telah dicuci beberapa kali dengan akuadest dan diresuspendensi dalam akuadest dan dipanasi, baru diekstraksi. Beningan hasil ekstraksi bersifat netral (pH ≈ 7).
- pH dalam pertukaran ion yang maksimum adalah pH 8. Logam elektropositif Fe^{3+} dan Cr^{3+} yang telah masuk pada EPS akan menarik kelebihan ion OH^- dalam larutan sehingga (flok) berwarna negative. Flok berwarna negative akan menarik logam kation Fe^{2+} dan Zn^{2+} secara elektrostatik juga.
- EPS digunakan langsung secara terdispersi tanpa penambahan aditif.
- Logam-logam yang dalam larutan yang dianalisis, EPS yang telah menarik/menyerap berat tidak dianalisis.

Dwi Biyantoro

- EPS sebagai pengganti koagulan, setelah dipakai bagaimana caranya supaya dapat dipakai lagi.
- Yang dianalisis adalah beningannya supaya di bawah 2 ppm, apakah sebaiknya dibuatkan lagi ke EPS.

Zainus Salimin

- Penggunaan EPS terdispersi hanya sekali pakai saja, setelah menjadi sludge yang terisi logam berat tidak bisa dipakai lagi. Penggunaan EPS yang dimatrikskan dalam polimer sebagai biosorben padat dimana penggunaannya untuk operasi kolom, setelah jenuh oleh logam berat dapat diregenerasi dengan larutan NaCl sehingga dapat dipakai kembali.
- Iya beningan dari proses tahap 1 bisa diproses lagi dengan penambahan EPS sebagai proses tahap 2.