

## THE EFFECT OF SALINITY ON THE RELEASE OF COPPER (Cu), LEAD (Pb) AND ZINC (Zn) FROM TAILING

### *Pengaruh Salinitas terhadap Pelarutan Tembaga (Cu), Timbal (Pb) dan Seng (Zn) dalam Sampel Tailing (Pasir Sisa)*

APRIANI SULU PARUBAK

*Faculty of Agriculture, Cendrawasih University, Manokwari, Irian Jaya*

EKO SUGIHARTO, H. MUDJIRAN

*Chemistry Dept. FMIPA Gadjah Mada University, Yogyakarta*

#### ABSTRACT

The effect of salinity on the release of copper (Cu), lead (Pb) and zinc (Zn) in tailing sediment have been studied by stripping voltammetry. The purpose of the research is to know the effect of salinity on the release of metals with certain pH, conductivity and variety of metals.

Simultaneous determination of copper, lead and zinc in tailing was done by Differential Pulse Anodic Stripping Voltammetry (DPASV) onto hanging mercury drop electrode (HMDE) and nitric acid 65% as support electrolyte. The limit of detection for this method 0.60  $\mu\text{g/L}$ , 0.150  $\mu\text{g/L}$  and 0.238  $\mu\text{g/L}$  for copper, lead and iMc respectively.

The stripping solution of 30 ‰ salinity with pH= 7.85, conductivity= 46.62 mS/cm gives the amounts of released metals as follows :14.867  $\mu\text{g/L}$  Cu, 0.976  $\mu\text{g/L}$  Pb and 6.224  $\mu\text{g/L}$  Zn. These results are higher as compared with the results from 15 ‰ salinity with pH= 7.66, conductivity= 23.22 mS/cm that give released metals of Cu= 7.988  $\mu\text{g/L}$ , Pb= 0.311  $\mu\text{g/L}$  and Zn= 4.699  $\mu\text{g/L}$ . the results from ANOVA suggest that this is due to different in salinity of the solution. It also found that the conductivity does not give any effect. It can be concluded that the higher salinity will that give higher concentration or released metals.

Keywords: tailing, salinity and voltammetry

#### PENDAHULUAN

**T**ailing adalah limbah yang dihasilkan dari proses penambangan mineral yang terdiri dari partikel batuan berukuran pasir atau yang lebih kecil/halus. Pada proses penambangan mineral, batuan tambang dihaluskan dengan *grinding* kemudian logam yang diharapkan dipisahkan melalui proses *flotasi* selanjutnya dihasilkan konsentrat sebagai campuran dengan kadar mineral (tembaga) yang besar, sedangkan tailing dialirkan melalui sistem pembuangan yang telah disiapkan. Tailing tersebut mengandung logam-logam berat diantaranya tembaga, seng, kadmium, timbal, besi dan lain-lain. Sedimen tersebut secara fisik selalu mengalami pelarutan dalam badan air, oleh sebab itu keberadaan logam-logam dalam tailing akan sangat berbahaya bagi lingkungan perairan dan sekitarnya, karena logam tersebut mengalami proses *leaching* ke dalam sistem perairan [4].

Salah satu parameter limbah yang dapat menimbulkan dampak negatif terhadap lingkungan adalah logam berat. Pencemaran logam berat tidak dihasilkan oleh semua jenis industri, melainkan beberapa jenis industri

yang di dalam proses produksinya menggunakan bahan-bahan atau senyawa-senyawa yang mengandung logam berat, seperti krom (Cr), seng (Zn), merkuri (Hg) dan lain-lain. Tembaga, timbal dan seng merupakan logam berat dalam tailing dengan konsentrasi rendah. Walaupun demikian pemantauan terhadap besarnya konsentrasi logam dalam sistem sebagai hasil dari proses pelarutan perlu untuk mengetahui toksisitas dari logam tersebut [2,5,6].

Menurut Van der Weijden, dkk (1977) bahwa pH, salinitas dan zat pengkelat alami maupun sintetik merupakan faktor yang menentukan penyerapan logam dari sedimen ke perairan [6,7,8].

Nurberg (1984) melakukan penelitian dengan membandingkan metode VPK dengan metode AAS bahwa metode Voltametri Pelarutan Kembali (VPK) memberi batas deteksi yang lebih rendah (ppt) khususnya untuk logam-logam toksik dalam air alam. Kelebihan metode ini adalah dapat mendeteksi beberapa logam secara serentak, sedangkan kelemahannya adalah memerlukan waktu yang lebih lama dan faktor kontaminasi yang sangat mudah terjadi.

Dalam penelitian ini akan dilakukan analisis Cu, Pb dan Zn dalam sampel tailing secara serentak dengan menggunakan metode Voltametri Pelarutan Kembali Anodik (selanjutnya disingkat VPK-An). Metode ini dilengkapi dengan Hanging Mercury Dropping Electrode (HMDE) atau Elektroda Merkuri Tetes Gantung (EMTG). Sebagai elektrolit pendukung pada penelitian ini digunakan asam nitrat 65%. Parameter kimia yang dipelajari adalah pH larutan dan pengaruh salinitas terhadap logam-logam yang terlarut dari tailing dengan ukuran partikel  $>38 \mu\text{m}$ . Untuk menghilangkan variabel-variabel yang tidak diinginkan, pada penelitian ini dilakukan dalam skala laboratorium dengan membuat simulasi air laut pada salinitas 15 ‰ dan 30 ‰ [7,8,10].

Penelitian ini bertujuan untuk mempelajari pengaruh salinitas terhadap pelarutan (*release*) tembaga, timbal dan seng dalam sampel tailing dan mengembangkan metode analisis VPK pada sampel tailing.

## EKSPERIMEN

### Bahan yang digunakan:

Larutan 0,5 % (v/v)  $\text{HNO}_3$ , larutan 10 % (v/v)  $\text{HNO}_3$ , larutan standar 5 mg/L Cu dalam 0,5 %  $\text{HNO}_3$ , larutan standar 5 mg/L Pb dalam 0,5 %  $\text{HNO}_3$ , larutan standar 5 mg/L Zn dalam 0,5 %  $\text{HNO}_3$ , larutan standar SLEW-2 produk NRC-CNRC Kanada, larutan standar SLRS-3 produk NRC-CNRC, standar salinitas 15 ‰ dan salinitas 30 ‰.

### Alat yang digunakan:

Voltammetric Trace Analyzer tipe VA-Processor 746, Autosampler tipe 695 dan VA-Stand 694 yang dilengkapi dengan sel voltametrik yang terbuat dari gelas *pyrex* dan tiga jenis elektroda: merkuri tetes gantung (EMTG), pembanding sistem Ag/AgCl dan elektroda pembantu platina, UV-digester buatan Metrohm tipe 705 kapasitas 500 watt dilengkapi dengan lampu merkuri dan tabung dekomposisi yang terbuat dari kuarsa dan penutup teflon, pH meter buatan Beckman, conductivity meter buatan Radiometer tipe CDM-230, Salinometer buatan Radiometer, pengaduk magnet buatan Thermolyne, mikropipet Eppendorf ukuran 10-100  $\mu\text{L}$ , 100-250  $\mu\text{L}$  dan 250-1000  $\mu\text{L}$ .

### Preparasi sampel

Sepuluh sampel tailing (Maret 1998) yang diambil secara acak dengan ukuran diameter  $>38 \mu\text{m}$  masing-masing diambil sebanyak  $\pm 100 \text{ mg}$  kemudian diaduk secara manual sampai homogen. Selanjutnya 200 mg sampel tailing ditambahkan masing-masing ke dalam larutan blanko air bebas ion, 1000 mL larutan salinitas 15 ‰, dan 1000 mL larutan salinitas 30 ‰, kemudian masing-masing diambil 50 mL dan diukur pH serta konduktivitas pada  $\pm 1$  menit, kemudian diaduk dengan menggunakan pengaduk magnet. Selanjutnya pada variasi waktu dari 5 menit sampai 48 jam, diambil sebanyak 50 mL, dicatat pH dan konduktivitas dari setiap pengambilan sampel (sementara pengadukan terus dilakukan), kemudian disaring dengan menggunakan filter membran 0,45  $\mu\text{m}$ , diasamkan dengan asam nitrat 65 % supra murni sebanyak 250  $\mu\text{L}$ , kemudian didiamkan selama 24 jam.

Selanjutnya sampel yang akan didekomposisi diambil dengan menggunakan pipet ukur sebanyak 13 mL dimasukkan ke dalam tabung yang terbuat dari kuarsa, kemudian ditambahkan sebanyak 75  $\mu\text{L}$  hidrogen peroksida 30 % ditutup dengan penutup yang terbuat dari teflon. Tabung dimasukkan ke dalam peralatan UV-Digester yang dilengkapi dengan Water bath yang suhunya 25 °C, kemudian waktu dekomposisi diatur selama 60 menit, sambil mengalirkan pendingin air. Setelah didinginkan selanjutnya sampel siap dianalisis dengan metode VPK.

### Analisis sampel dengan metode VPK

Larutan sebanyak 13 mL dimasukkan ke dalam sel voltametrik. Program VA-Processor diatur mulai dari pengadukan 2000 rpm, potensial deposisi -300 mV untuk Cu, -800 mV untuk Pb dan -700 mV untuk seng, waktu pelarutan kembali, volume larutan 10 mL, jumlah replikasi dua kali dan banyaknya adisi dua kali yang akan dilakukan.

Setelah alat dioperasikan, dilakukan pengadukan dengan laju tertentu selama waktu tertentu. Pada tahap ini oksigen yang terdapat dalam larutan dihilangkan dengan mengalirkan gas nitrogen murni (99,99 %) ke dalam larutan dengan tekanan 1 bar. Dekomposisi dilakukan dengan memberikan potensial tetap untuk mengendapkan ion-ion logam yang dianalisis pada permukaan

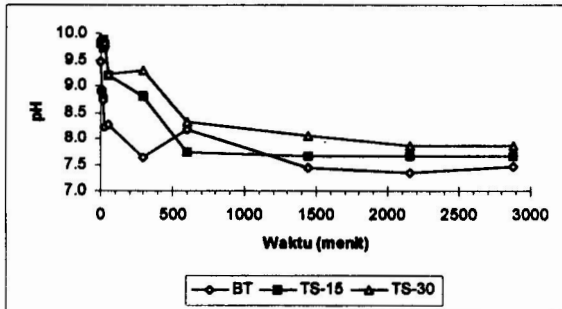
elektroda kerja melalui proses elektrolisis pada waktu tertentu.

Setelah ion-ion diendapkan pada elektroda, potensial kemudian diubah dari potensial yang lebih negatif ke potensial yang lebih positif. Pada tahap ini terjadi pelarutan kembali logam yang akan dianalisis menjadi ionnya. Arus yang dihasilkan dicatat dan dengan mode pulsa differensial dihasilkan voltagram. Puncak yang dihasilkan dalam bentuk voltagram dievaluasi maka hasil pengukuran konsentrasi dapat ditentukan.

**HASIL DAN PEMBAHASAN**

**Pengaruh lama pengadukan terhadap pH larutan tailing**

Hasil yang diperoleh dari grafik pH dan waktu pelarutan dapat dijelaskan pada Gambar 1 sebagai berikut:



Gambar 1. Pengaruh lama pengadukan terhadap pH

Dari Gambar 1 memperlihatkan bahwa pH sampel dalam larutan mengalami penurunan, pada larutan blanko mulai dari pH 9,46 sampai 7,46, pada larutan salinitas 15 ‰ penurunan terjadi mulai dari pH 9,8 sampai 7,66 dan pada larutan salinitas 30 ‰ dari pH 9,83 sampai 7,85. Berdasarkan pengujian analisis ragam dua arah diperoleh hasil yang dirangkum dalam Tabel 1 sebagai berikut.

Tabel 1. Hasil perhitungan analisis ragam pada variabel pH dalam sampel tailing

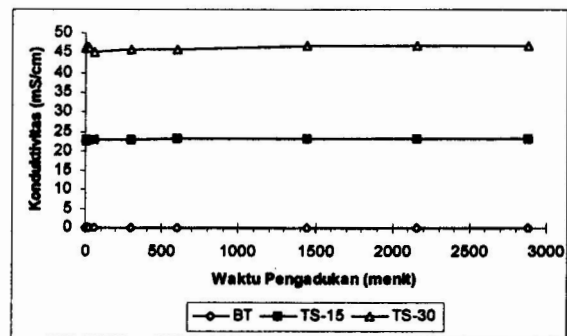
Sumber keragaman	Derajat bebas	Jumlah kuadrat	Rataan kuadrat	F <sub>hitung</sub>
Waktu	11	22,271	2,025	21,27
Salinitas	2	4,967	2,4845	26,10
Galat	22	2,094	0,095	
Total	35	29,334		

Dari Tabel 1 perhitungan statistik menyatakan bahwa untuk waktu pengadukan memberikan nilai F hitung= 21,27 lebih besar

dari F tabel (11,22) adalah 3,226 (P=0,05) berarti bahwa ada pengaruh antara waktu pengadukan dan pH atau dengan kata lain bahwa waktu pengadukan tergantung pada salinitas larutan; sedang untuk salinitas larutan memberikan nilai F hitung adalah 26,10 lebih kecil F tabel (2,22) = 4,461 (P=0,05) berarti bahwa ada perbedaan yang nyata antara larutan blanko, larutan salinitas 15 ‰ dan larutan salinitas 30 ‰. Dari hasil yang diperoleh dapat dijelaskan bahwa semakin lama pengadukan maka semakin rendah pH larutan. Hasil pengamatan terhadap pengaruh pengadukan terhadap pH larutan tailing menunjukkan bahwa terdapat penurunan pH pada variasi larutan. hal ini kemungkinan disebabkan adanya tumbukan antara partikel tailing yang terikat dengan logam dan larutan salinitas yang mengandung ion Na<sup>+</sup>, Mg<sup>++</sup>Cl<sup>-</sup>, CO<sub>3</sub><sup>-</sup>, CO<sub>3</sub><sup>=</sup> dan ligan lainnya, sehingga terjadi pelepasan ion H<sup>+</sup> ke dalam larutan.

**Pengaruh lama pengadukan terhadap konduktivitas larutan tailing**

Pengamatan lama pengadukan terhadap konduktivitas larutan tailing pada variasi larutan salinitas, menunjukkan bahwa pada semakin tinggi salinitas semakin besar konduktivitas dari larutan. Konduktivitas pada larutan blanko tanpa penambahan garam laut (Nature Sea Salt) adalah 0,051 mS/cm selama 2 hari pengadukan; pada larutan salinitas 15 ‰ adalah 23,22 mS/cm dan pada larutan salinitas 30 ‰ adalah 46,63 mS/cm. Hal tersebut dapat dilihat pada Gambar 2 sebagai berikut:



Gambar 2. Pengaruh lama pengadukan terhadap konduktivitas larutan blanko, larutan salinitas 15 ‰ dan larutan salinitas 30 ‰.

Hasil yang diperoleh dengan pengujian analisis ragam dua arah terhadap konduktivitas larutan dirangkum pada Tabel 2 sebagai berikut.

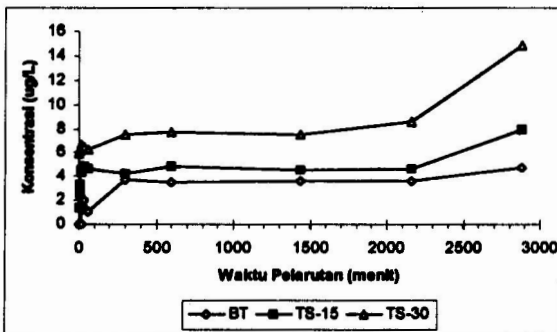
**Tabel 2.** Hasil perhitungan analisis ragam pada variabel konduktivitas dalam sampel tailing

Sumber keragaman	Derajat bebas	Jumlah kuadrat	Rataan kuadrat	F <sub>hitung</sub>
Waktu	11	1,2474	0,1134	1,66
Salinitas	2	12773,1393	6386,5697	933314,90
Galat	22	1,5057	0,0684	
Total	35	12775,8924		

Dari Tabel 2 diatas dapat dilihat bahwa waktu pengadukan memberikan F hitung adalah 1,66 lebih kecil dari F tabel (11,22) adalah 3,226 (P=0,05) ini menunjukkan bahwa konduktivitas tidak berpengaruh terhadap waktu pengadukan. Sedangkan pada salinitas memberikan nilai F hitung adalah 93314,90 lebih besar dari F tabel (2,22) = 4,461 (P=0,05), menunjukkan bahwa salinitas berpengaruh terhadap konduktivitas. Sehingga dapat disimpulkan bahwa pada salinitas 30 ‰ memberikan hasil yang paling tinggi kemudian salinitas 15 ‰ dan terakhir larutan blanko. Hal ini menunjukkan bahwa semakin banyak salinitas larutan, semakin banyak pula jumlah logam yang terlepas yang dilihat dengan semakin besarnya konduktivitas larutan, karena semakin besar konduktivitas semakin besar logam yang terlarut.

**Pengaruh lama pengadukan terhadap konsentrasi Cu**

Hasil yang diperoleh untuk pelarutan logam Cu pada beberapa variasi salinitas dapat dilihat pada Gambar 3 sebagai berikut.



**Gambar 3.** Hasil analisis Cu dalam tailing terhadap lama pelarutan

Dari Gambar 3 terlihat bahwa konsentrasi logam Cu meningkat dengan semakin lama waktu pengadukan. Pada larutan blanko konsentrasi Cu meningkat

mulai dari 0,029-4,785 µg/L; pada larutan tailing yang ditambahkan larutan salinitas 15 ‰ adalah 1,413-7,988 µg/L dan pada salinitas 30 ‰ adalah 5,938-14,857 µg/L. peningkatan konsentrasi logam terjadi karena adanya pertukaran ion-ion dan adsorpsi/desorpsi dalam larutan. Sehingga dapat disimpulkan bahwa larutan salinitas berpengaruh terhadap pelarutan Cu ke dalam larutan. Selain itu proses desorpsi terjadi karena adanya interaksi kimia yaitu pertukaran kation antara Cu dengan logam yang ada dalam larutan salinitas (Na<sup>+</sup>, Mg<sup>2+</sup>, Cl<sup>-</sup>) atau ion lain (CO<sub>3</sub><sup>2-</sup>, HCO<sub>3</sub><sup>-</sup>).

Perhitungan analisis ragam dua arah pada pengaruh salinitas terhadap waktu pelarutan logam Cu dalam tailing dapat dilihat pada Tabel 3 sebagai berikut.

**Tabel 3.** Hasil perhitungan analisis ragam pada pelarutan logam Cu dalam sampel tailing

Sumber keragaman	Derajat bebas	Jumlah kuadrat	Rataan kuadrat	F <sub>hitung</sub>
Waktu	11	104,324	9,484	8,63
Salinitas	2	187,392	93,696	85,21
Galat	22	24,190	1,099	
Total	35			

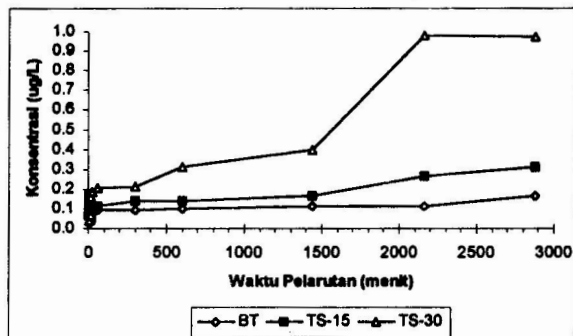
Dari Tabel 3 dapat terlihat bahwa nilai F hitung adalah 8,63 yang lebih kecil dari nilai F tabel (11,22) adalah 3,226 (P=0,05) ini menunjukkan bahwa ada pengaruh waktu pelarutan terhadap konsentrasi logam Cu selama proses pelarutan. Sedangkan pada variasi memberikan nilai F hitung sebesar 85,21 lebih besar dari F tabel (2,22) = 4,461 (P=0,05). Hal ini menunjukkan bahwa ada pengaruh perbedaan yang nyata antara variasi salinitas. Dari gambar dan hasil perhitungan analisis ragam dapat dijelaskan bahwa pada larutan salinitas 30 ‰ memberikan nilai yang lebih besar dibandingkan dengan larutan salinitas 15 ‰ dan larutan blanko.

**Pengaruh lama pengadukan terhadap pelarutan Pb**

Dari Gambar 4 terlihat bahwa konsentrasi logam Pb meningkat dengan meningkatnya lama waktu pengadukan. Pada larutan blanko konsentrasi logam Pb meningkat mulai dari 0,001-0,2037 µg/L; pada larutan tailing/salinitas 15 ‰ konsentrasi Pb adalah 0,001-0,3531 µg/L dan yang paling jelas peningkatannya adalah pada larutan

tailing dan salinitas 30 ‰ yaitu 0,016-0,992 µg/L.

Hasil yang diperoleh untuk pelarutan logam Pb pada beberapa variasi salinitas dapat dilihat pada Gambar 4 sebagai berikut.



Gambar 4. Pengaruh waktu pengadukan terhadap Pb

Dari gambar dan perhitungan analisis ragam dua arah dapat dijelaskan bahwa kelarutan logam Pb ke dalam larutan disebabkan karena adanya penggantian ion-ion logam dari permukaan padatan dengan pasangannya yang ada dalam larutan.

Dari hasil yang diperoleh pada Lampiran 4 dengan pengujian analisis ragam 2 arah, dirangkum pada Tabel 4 sebagai berikut.

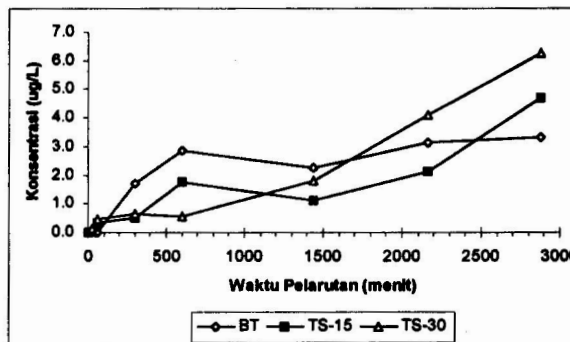
Tabel 4. Hasil perhitungan analisis ragam pada pelarutan logam Pb dalam sampel tailing

Sumber keragaman	Derajat bebas	Jumlah kuadrat	Rataan kuadrat	F <sub>hitung</sub>
Waktu	11	0,755	0,061	2,22
Salinitas	2	0,051	0,126	5,52
Galat	22	0,085	0,028	
Total	35	1,589		

Dari Tabel 4, analisis ragam logam Pb dapat dilihat bahwa untuk fungsi waktu pengadukan, nilai F hitung adalah 2,22 lebih kecil dari F tabel (11,22) adalah 3,226 (P=0,05), ini menunjukkan bahwa tidak ada pengaruh yang nyata waktu pengadukan terhadap konsentrasi logam Pb. Sedangkan untuk fungsi salinitas memberikan nilai F hitung adalah 5,52 lebih besar dari F tabel (2,22) adalah 4,461 (P=0,05) menunjukkan bahwa ada pengaruh terhadap variasi salinitas. Dan dapat dijelaskan bahwa pada salinitas 30 ‰ memberikan kelarutan logam Pb yang tinggi.

### Pengaruh lama pengadukan terhadap kelarutan Zn

Pengamatan lama pengadukan terhadap pelarutan Zn dapat dilihat pada Lampiran dan Gambar 5 yang terlihat sebagai berikut.



Gambar 5. Hasil analisis Zn pada berbagai konsentrasi salinitas

Dari Gambar 5 menunjukkan bahwa pelarutan logam Zn dalam sampel tailing pada salinitas 30 ‰ memberikan hasil yang tinggi dibandingkan dengan salinitas 15 ‰ dan larutan blanko, sedangkan pada larutan blanko memberikan hasil yang lebih besar dari larutan salinitas 15 ‰. Kemungkinan hal ini disebabkan karena keterikatan logam dengan zat organik pada larutan salinitas 15 ‰, sedangkan pada larutan salinitas 30 ‰ logam yang terlarut semakin banyak.

Dari hasil yang diperoleh dengan pengujian analisis ragam dua arah, untuk konsentrasi logam Zn dalam tailing, dirangkum dalam Tabel 5 sebagai berikut.

Tabel 5. Hasil perhitungan analisis ragam pada pelarutan logam Zn dalam sampel tailing

Sumber keragaman	Derajat bebas	Jumlah kuadrat	Rataan kuadrat	F <sub>hitung</sub>
Waktu	11	77,6128	7,0557	15,55
Salinitas	2	0,5776	0,2888	0,64
Galat	22	9,9812	0,4536	
Total	35	88,1716		

Dari Tabel 5 dapat dilihat untuk pengaruh waktu memberikan nilai F hitung adalah 15,55 lebih besar dari F tabel (11,22) adalah 3,226 (P=0,05), ini menunjukkan bahwa ada pengaruh yang nyata antara waktu pengadukan dengan konsentrasi logam Zn yang terlarut. Untuk variabel salinitas memberikan nilai F hitung adalah 0,64 lebih kecil dari F tabel (2,22) adalah 4,461 (P=0,05), ini menunjukkan bahwa tidak ada pengaruh yang nyata antara larutan blanko,

larutan salinitas 15 ‰ dan larutan salinitas 30 ‰.

Dari Gambar 5 dapat dijelaskan bahwa semakin lama pengadukan, semakin besar konsentrasi logam yang terlepas (*release*). Hal ini disebabkan adanya saling kontak antara partikel tailing dalam larutan dan ion-ion yang terdapat dalam larutan salinitas. Menurut Leckie (1986), menjelaskan bahwa pelarutan logam dalam ekstraktn terjadi karena adanya pertukaran kation akibat putusannya ikatan elektrostatis logam dengan padatan.

### KESIMPULAN

Dari hasil penelitian dan pembahasan tentang pengaruh salinitas terhadap pelarutan logam dengan metode Voltametri Pelarutan Kembali dapat diterapkan dalam sampel tailing. Kesimpulan yang dapat ditarik pada penelitian ini sebagai berikut:

1. analisis secara serentak logam Cu, Pb dan Zn dengan menggunakan metode Voltametri Pelarutan Kembali pada elektroda merkuri tetes gantung dan asam nitrat 65% sebagai elektrolit pendukung. Pada kondisi optimum diperoleh batas deteksi untuk metode ini adalah Cu 0,060 µg/L, Pb 0,150 µg/L dan Zn 0,237 µg/L.
2. hasil pelarutan logam pada salinitas 15 ‰ dengan pH 7,66, konduktivitas 23,22 mS/cm dapat memberikan konsentrasi logam yang terlarut Cu 7,988 µg/L, Pb 0,311 µg/L dan Zn 4,699 µg/L.
3. hasil pelarutan logam pada salinitas 30 ‰ dengan pH 7,85, konduktivitas 46,62 mS/cm dapat memberikan konsentrasi logam yang terlarut Cu 14,857 µg/L, Pb 0,976 µg/L dan Zn 6,245 µg/L.

### DAFTAR PUSTAKA

1. Anderson, R., 1987, "Sample Pretreatment and Separation", John Wiley & Son.
2. Donat, J.R., and K.W. Bruland., 1995, "Trace Elements in the Oceans" in Trace Element in Natural Water, Chapter 11, CRC Press, Boca Raton, London.
3. Florence, T.M., and Batley, G.E., 1980, "Chemical Speciation in Natural Water", CRC, Crit. Rev. Anal. Chem., 9, 219.
4. Manahan, E.S., 1994, "Environmental Chemistry", 6<sup>th</sup> edition, Lew1si Publisher, CRC Press Inc.

5. Miller, J.C., dan Miller, J.N., 1991, "Statistika untuk Kimia Analitik", Edisi Kedua, Penerbit ITB, Bandung.
6. Moore, J.W., and S. Ramammoorthy., 1989, "Heavy Metal in Natural Water, Applied Monitoring and Impact Assesment", Springer-Verlag, New York.
7. Nurnberg, H.W., and L. Mart., 1988, "The Determination of Trace Metals in natural Water", Blackwell Scientific Publication, Oxford, London.
8. Osptapczuk, P., P. Valenta., and H.W. Nurnberg., 1986, "Square Wave Voltammetry-A Rapid Reliable Determination Method of Zn, Cd, Cu, Ni and Co in Biological and Environment Samples", *J. Electroanal. Chem.*, 214, 51-64.
9. Van der Weijden, O.H., M.J.H.L. Arnoldos., and C.J. Meurs., 1977, "Desorption of Metal from Suspended Material in the Rhine Estuary", *Netherlands Journal of Sea Research*, 11, 130-145.
10. Wang, J., 1985, *Stripping Analysis, Principles, Instrumentation and Application*, VCH Publishers, Deerfield Beach, FL.

### Lampiran 1. Hasil pengamatan lama pengadukan terhadap pH larutan tailing.

Waktu (menit)	pH		
	BT	TS-15	TS-30
0	9,46	9,80	9,83
5	8,93	9,81	9,84
10	8,88	9,84	9,85
15	8,81	9,74	9,85
20	8,73	9,87	9,85
30	8,22	9,77	9,82
60	8,26	9,19	9,21
300	7,63	8,80	9,29
600	8,16	7,72	8,31
1440	7,44	7,65	8,04
2160	7,34	7,67	7,85
2880	7,46	7,66	7,85

**Lampiran 2.** Hasil pengukuran lama pelarutan terhadap konduktivitas larutan tailing.

Waktu (menit)	konduktivitas		
	BT	TS-15	TS-30
0	0,030	22,42	45,97
5	0,010	22,81	46,25
10	0,010	22,68	46,23
15	0,010	22,82	46,23
20	0,010	22,85	46,27
30	0,020	22,86	46,21
60	0,020	22,89	45,13
300	0,030	22,91	45,78
600	0,033	23,05	45,86
1440	0,036	23,15	46,63
2160	0,042	23,17	46,79
2880	0,051	23,22	46,62

**Lampiran 3.** Hasil analisis logam Cu dalam tailing pada variasi salinitas.

Waktu (menit)	Konsentrasi logam Cu ( $\mu\text{g/L}$ )		
	BT	TS-15	TS-30
0	0,0295	1,4159	5,9375
5	0,0295	2,5319	6,1105
10	0,0295	3,2879	6,2511
15	0,0295	4,5264	6,6451
20	1,1293	4,3106	6,3553
30	1,9946	4,8879	6,4721
60	1,0537	4,6908	6,2048
300	3,6767	4,2649	7,5633
600	3,5478	4,8938	7,7873
1440	3,5957	4,5731	7,5161
2160	3,5786	4,6988	8,6099
2880	4,7851	7,9878	14,8571

**Lampiran 4.** Hasil analisis logam Pb dalam tailing pada variasi salinitas.

Waktu	Konsentrasi logam Pb ( $\mu\text{g/L}$ )		
	BT	TS-15	TS-30
0	0,0662	0,0662	0,0746
5	0,0663	0,1288	0,0719
10	0,0283	0,1728	0,0391
15	0,0811	0,0474	0,0638
20	0,0545	0,0894	0,1588
30	0,0867	0,1111	0,1831
60	0,0958	0,1130	0,2037
300	0,0941	0,1411	0,2134
600	0,1008	0,1367	0,3141
1440	0,1124	0,1651	0,3963
2160	0,1128	0,2651	0,9806
2880	0,1676	0,3109	0,9759

**Lampiran 5.** Hasil analisis logam Zn dalam tailing pada variasi salinitas.

Waktu (menit)	Konsentrasi logam Zn ( $\mu\text{g/L}$ )		
	BT	TS-15	TS-30
0	0,0118	0,0118	0,0118
5	0,0118	0,0118	0,0118
10	0,0118	0,0118	0,0118
15	0,0118	0,0118	0,0321
20	0,0118	0,0118	0,0235
30	0,0118	0,0118	0,1456
60	0,0118	0,3309	0,4776
300	1,6819	0,4988	0,6522
600	2,8549	1,7479	0,5561
1440	2,2345	1,0894	1,7768
2160	3,1546	2,0964	4,1131
2880	3,3269	4,6988	6,2448

Keterangan:

- BT = larutan blanko tailing + air bebas ion  
 TS-15 = larutan tailing + larutan salinitas 15 ‰  
 TS-30 = larutan tailing + larutan salinitas 30 ‰