

PEMANFAATAN AIR ASAM TAMBANG DALAM TEKNIK ELEKTROKINETIK UNTUK MENURUNKAN KADAR LOGAM BERAT BAHAN TIMBUNAN BEKAS TAMBANG

D.T. Suryaningtyas¹, A. Firosoy² dan Darmawan¹

Abstrak

Teknik elektrokinetik merupakan salah satu teknik remediasi tanah atau bahan lain yang terkontaminasi logam berat. Teknik ini dikembangkan terutama untuk mengatasi lokasi-lokasi yang terkontaminasi logam berat dalam level yang cukup tinggi. Prinsip dasar teknik ini adalah dengan memberikan arus searah pada bahan yang terkontaminasi dengan menggunakan elektroda (katoda dan anoda) pada tegangan rendah. Penggunaan air asam tambang (AAT) sebagai larutan elektrolit pada percobaan laboratorium untuk mengurangi kandungan logam berat pada bahan timbunan bekas tambang telah dilakukan. Penambahan asam cenderung meningkatkan efektivitas teknik ini. Hasil penelitian menunjukkan bahwa teknik elektrokinetik dapat digunakan untuk menurunkan kandungan logam berat (Fe, Cu, Pb, dan Mn) lebih dari 6% sampai 90% dari kandungan semula. Penggunaan air asam tambang sebagai elektrolit tidak menunjukkan hasil yang berbeda nyata dengan penggunaan air sebagai elektrolit. Akan tetapi untuk aplikasi di lapang, pemanfaatan asam tambang yang telah tersedia di daerah pertambangan akan lebih efisien digunakan dibandingkan dengan menggunakan air bersih.

Kata kunci : air asam tambang, kontaminasi, logam berat, remediasi, teknik elektrokinetik.

Pendahuluan

Pencemaran tanah dan air oleh logam berat adalah salah satu masalah besar seiring dengan meningkatnya kegiatan industri, pertambangan dan lain-lain. Kebocoran maupun tumpahan limbah atau cara pencemaran lain seperti penumpukan (*dumping*) sisa kegiatan pertambangan merupakan beberapa penyebab proses pencemaran logam berat ini. Meskipun tanah mempunyai kemampuan menjerap atau mengikat tetapi melalui proses pertukaran ion, logam berat secara berangsur dapat terlarut sehingga mencemari air permukaan dan bawah tanah. Beberapa bentuk logam berat dalam tanah adalah (i) dapat larut, (ii) dapat dipertukarkan, dan (iii) dalam bentuk oksida dan hidroksida (Harmsen, 1997 dalam Darmawan, 2001). Diantara banyak teknologi yang dikembangkan untuk menurunkan kontaminasi logam berat pada tanah, teknik elektrokinetik termasuk salah satu teknik yang efektif terutama untuk tanah yang memiliki konduktifitas hidrolis rendah. Prinsip teknik elektrokinetik ini ialah pemanfaatan arus listrik searah untuk menggerakkan kontaminan di dalam bahan yang tercemar terutama secara elektromigrasi (Acar dan Alshwabkeh, 1993). Kation logam berat dalam bentuk ion terlarut dapat bergerak dalam bahan padat dan porous. Perubahan bentuk logam berat ke dalam bentuk ion terlarut akan meningkatkan efektifitas teknik elektrokinetik pada tanah dan bahan porous tercemar lainnya. Logam berat dapat berbentuk mudah

larut, bentuk dapat ditukarkan dan bentuk terikat kuat. Karakteristik kimia dari kation logam menunjukkan bahwa jerapan logam oleh tanah menurun secara eksponensial dengan menurunnya pH. Dari sini diketahui bahwa penurunan pH dapat membantu meningkatkan jumlah logam berat ke dalam bentuk ion terlarut. Terbentuknya ion hidrogen (H^+) pada sisi anoda selama proses elektrokinetik dapat menghasilkan efek pemasaman bahan yang sedang diberi perlakuan. Namun sebaliknya, pembentukan OH^- di sisi katoda menghambat hal ini. Pemberian asam selama perlakuan merupakan alternatif untuk meningkatkan efek pemasaman selama perlakuan elektrokinetik. Masalah pencemaran logam berat dilaporkan banyak terjadi di daerah pertambangan. Pada saat yang sama pada lokasi pertambangan tersebut terjadi pula masalah air asam tambang (AAT). Terbentuknya air asam tambang ialah masalah penting yang tidak diinginkan dari aktifitas industri pertambangan. Air asam tambang terbentuk diareal pertambangan yang kaya akan bahan sulfidik, seperti di pertambangan batubara dan beberapa tambang logam lainnya. Pada kondisi alami, umumnya sedimen yang mengandung mineral-mineral sulfidik (terutama pirit) berada jauh di bawah permukaan. Ketika lapisan batuan digali maka mineral sulfidik tersebut akan berpindah ke permukaan tanah dan kemudian teroksidasi (Rochani dan Damayanti, 1997).

¹ Staf Pengajar Departemen Ilmu Tanah dan Sumberdaya Lahan, Fakultas Pertanian IPB

² Alumni Departemen Ilmu Tanah dan Sumberdaya Lahan, Fakultas Pertanian IPB

Jl. Meranti Kampus IPB Darmaga, Bogor 16680

Air asam tambang (AAT) berpotensi untuk digunakan sebagai larutan pengkondisi dalam perlakuan elektrokinetik dari tanah yang terkontaminasi logam berat karena kemasamannya. Penggunaan AAT ini terutama akan bermanfaat untuk lokasi yang tercemar di mana AAT dihasilkan, seperti di lokasi lahan pertambangan.

Remediasi (perbaikan) tanah tercemar telah banyak dilakukan. Teknik remediasi yang digunakan harus efektif dalam mengatasi pencemaran, sehingga pemilihan teknik remediasi sangat tergantung dari jenis-jenis pencemarannya (Reddy, 2000). Teknik remediasi yang telah dilakukan antara lain pencucian (*soil washing*), *bioremediasi*, dan teknik elektrokinetik. Pencemaran tanah pada *site-site* tertentu di daerah industri dan pertambangan biasanya terjadi pada tingkat pencemaran yang tinggi, sehingga tidak dapat dibiarkan. Salah satu teknik remediasi yang dikembangkan untuk mengatasinya adalah teknik elektrokinetik. Teknik elektrokinetik adalah salah satu teknik remediasi *in situ* yang dinilai potensial untuk bahan yang mempunyai konduktifitas hidrolis rendah, seperti tanah dan bahan sedimen lainnya (Reddy, 2000).

Dibandingkan dengan metode lain, teknik remediasi elektrokinetik ini mempunyai keunggulan terutama untuk bahan yang mempunyai konduktifitas hidrolis yang rendah (Acar dan Alshawabkeh, 1993). Elektrolisis air di sisi anoda yang menghasilkan H^+ merupakan hal mendasar yang penting dalam penerapan teknik ini untuk remediasi tanah yang tercemar logam berat. Sebaliknya, pembentukan OH^- di katoda menjadi hal yang menghambat. Oleh karena itu untuk meningkatkan efektifitas teknik elektrokinetik pada penerapan untuk dekontaminasi logam berat, berbagai teknik dilakukan seperti (a) mengontrol pH pada sisi tanah dekat anoda dan katoda, (b) menetralkan pembentukan ion hidroksil, (c) mengkelat logam berat tertentu dengan *reagent*, dan (d) penggunaan elektroda atau membran (Puppala dkk, 1997 dalam Darmawan, 2001).

Berdasarkan fakta bahwa kebanyakan logam berat dalam lingkungan asam berada dalam bentuk dapat larut dan mobil, kebanyakan dalam sebagai kation dan beberapa sebagai anion kompleks, oleh karena itu penambahan asam pada seluruh tanah di antara elektroda dipercaya akan meningkatkan efektifitas teknik ini. Sebagai contoh, penambahan asam lemah seperti asam asetat (*acetic acid*) ke sisi katoda dapat dilakukan untuk menetralkan pembentukan ion hidroksil (Alshawabkeh dkk, 1999).

Tujuan

Mempelajari efektifitas teknik elektrokinetik dalam menurunkan kadar logam berat pada bahan timbunan bekas tambang dengan menggunakan AAT sebagai elektrolit dibandingkan dengan H_2O .

Metoda Penelitian

Contoh bahan timbunan dan air asam tambang yang digunakan dalam penelitian ini diambil dari lokasi penambangan batubara di PT Bukit Asam, Tanjung Enim. Contoh bahan timbunan diambil dari 2 blok penambangan yang berbeda, yaitu dari Bangko dan Air Laya Putih (ALP). Analisa awal karakteristik utama contoh bahan timbunan meliputi tekstur, distribusi ukuran butir, susunan mineral, sifat-sifat kimia utama: pH, kadar C organik, jumlah kation dan kapasitas tukar kation, serta kandungan logam berat (Fe, Pb, Cu, Mn).

Contoh bahan timbunan ditempatkan dalam reaktor terbuka berukuran panjang 20 cm, lebar 10 cm dan tinggi 10 cm terbuat dari akrilik. Pada salah satu ujung reaktor ditempatkan grafit sebagai anoda dan di ujung lain dipasang kasa dari stainless steel yang berfungsi sebagai penyekat sekaligus katoda. Kedua elektroda dihubungkan dengan *power supply* (DC) yang dirangkai dengan amperemeter. Listrik dialirkan dengan kekuatan 20 V sampai pH contoh di dekat katoda mendekati 2. Percobaan menggunakan aqua destilata dan air asam tambang sebagai elektrolit. Percobaan dilakukan dengan 2 seri, yaitu seri (1) baik air maupun air asam tambang dialirkan dari botol Mariot melalui katoda dan anoda, seri (2) elektrolit dialirkan hanya dari anoda. Di ujung katoda dibuat outlet yang permukaannya dibuat 3-5 mm lebih rendah dari ujung bawah pipa udara dalam botol Mariot.

Setelah percobaan di atas selesai, contoh bahan timbunan dipotong-potong menjadi 5 bagian dan kemudian kandungan logamnya dianalisa menggunakan AAS.

Hasil dan Pembahasan

Sifat kimia bahan timbunan bekas tambang dan air asam tambang

Sifat kimia bahan timbunan bekas tambang (BTBT) dan AAT yaitu nilai pH, C-organik, EC (*electric conductivity*), KTK (Kapasitas tukar Kation), SO_4^{2-} , logam Fe, Cu, Pb dan Mn disajikan pada tabel 1.

Tabel 1 menunjukkan bahwa AAT memiliki pH rendah (3,34) dengan kandungan logam berat (Fe, Cu, Pb, Mn) yang rendah. Hal ini menunjukkan bahwa AAT yang diambil dari daerah lokasi pertambangan dapat digunakan sebagai larutan pengkondisi dalam meningkatkan efektifitas teknik elektrokinetik. Selama perlakuan elektrokinetik dengan menggunakan AAT ini diharapkan penurunan pH bahan lebih mudah tercapai dan akan lebih banyak logam-logam berat terlarut sebagai kation yang kemudian bergerak ke arah katoda.

Karakteristik kimia kedua jenis BTBT dicirikan oleh pH dan kandungan Fe, Cu, Pb, dan Mn yang hampir sama, dan nilai pH kedua BTBT mendekati netral. Hal yang membedakan keduanya ialah bahwa EC, C-organik, SO_4^{2-} , dan KTK Bangko lebih rendah dari pada ALP.

Tabel 1. Karakteristik kimia bahan timbunan dan AAT

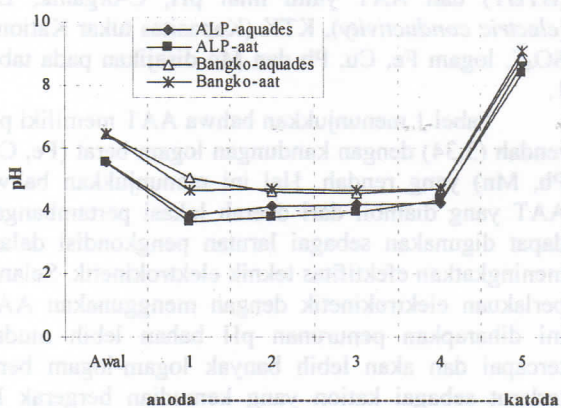
Contoh	pH	C-org (%)	EC (mS/cm)	KTK me/100 g	SO ₄ ²⁻ (ppm)	Fe (ppm)	Cu (ppm)	Pb (ppm)	Mn (ppm)
AAT	3,34	-	1328*	-	781,78	0,11	0,01	0	-
1. Timbunan ALP	5,59	2,44	2,34	20,4	12804,6	26736,12	54,11	88,1	689,6
2. Timbunan Bangko	5,86	1,64	9666,3	7,29	7435,38	24418,34	45,88	71,4	509,8

*dalam µS/cm

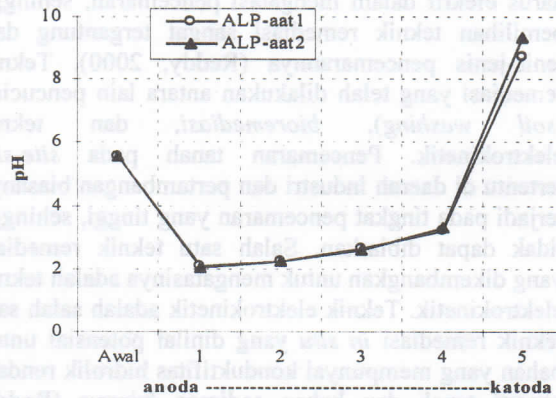
Perubahan pH Bahan Timbunan akibat Perlakuan Elektrokinetik

Perubahan nilai pH merupakan faktor penting yang menentukan efektifitas perlakuan elektrokinetik. Profil nilai pH bagian-bagian BTBT secara horisontal antara anoda dan katoda setelah perlakuan elektrokinetik disajikan pada Gambar 1. Nilai awal pH bahan ditempatkan pada bagian paling kiri gambar tersebut. Pada gambar terlihat bahwa setelah perlakuan, nilai pH menurun pada bagian BTBT yang dekat dengan anoda. Sebaliknya di bagian terdekat dengan katoda justru terjadi lonjakan pH hingga mencapai nilai sekitar 8-9. Hal ini terjadi karena pada saat dialirkan arus listrik searah (DC) melalui elektroda, pada kedua elektroda terjadi reaksi elektrolisis air

Gambar 1 (a) menunjukkan bahwa laju penurunan pH pada perlakuan elektrokinetik (Seri Perlakuan 1) dengan H₂O atau AAT sebagai elektrolit tidak menunjukkan perbedaan yang nyata. Walaupun demikian terlihat bahwa perlakuan dengan AAT menghasilkan pH akhir yang sedikit lebih rendah. Sedangkan gambar 1 (b) menunjukkan bahwa penurunan pH pada perlakuan elektrokinetik (Seri Perlakuan 2) dengan suplai AAT sebagai elektrolit dari satu sisi (anoda) maupun kedua sisi elektroda tidak menunjukkan perbedaan yang nyata. Hal ini menunjukkan bahwa suplai AAT dari sisi katoda tidak cukup menetralkan OH⁻ yang dihasilkan di katoda



(a)



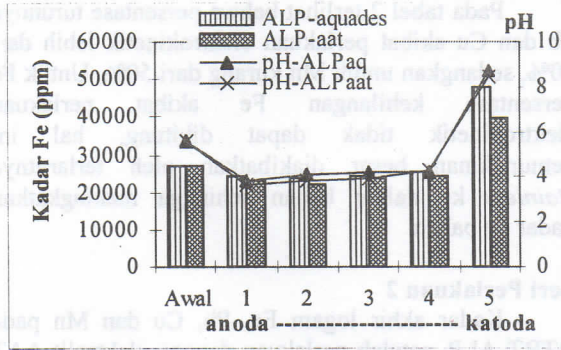
(b)

Gambar 1. Profil pH BTBT akibat perlakuan elektrokinetik; (a) Nilai pH untuk seri perlakuan 1, (b) Nilai pH untuk seri perlakuan 2.

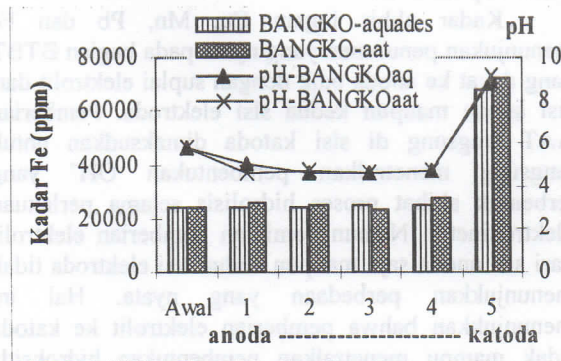
Seri Perlakuan 1

Kadar total logam berat Fe, Pb, Cu dan Mn pada BTBT ALP dan Bangko setelah perlakuan elektrokinetik menggunakan AAT atau H₂O sebagai larutan pengkondisi yang disuplai dari satu sisi elektroda (anoda), dengan stainless sebagai elektroda, disajikan pada gambar 2-9, termasuk kadar logam awal sebelum perlakuan. Selain itu, gambar 2-9 juga memperlihatkan bahwa secara umum kadar logam lebih rendah di dekat anoda. Hal ini menunjukkan bahwa logam terlarut pada keadaan masam dan bergerak ke katoda. Sebaliknya, kadar logam meningkat di dekat katoda, yang terjadi karena pengendapan logam berat sebagai hidroksida (Darmawan, 2001). Pola ini terlihat cukup jelas pada gambar 2, 3, 6, dan 7 dimana kadar Fe dan Mn lebih rendah pada bagian BTBT dekat anoda sesuai dengan penurunan pH dan sebaliknya lebih tinggi pada bagian dekat katoda sesuai dengan peningkatan pH. Kecenderungan yang sama juga terjadi untuk Cu (gambar 4 dan 5) dan Pb (gambar 8 dan 9). Namun demikian pada kasus Cu dan Pb, laju penumpukan kedua unsur ini di katoda akibat pH yang tinggi terlihat lebih rendah. Kemungkinan hal ini disebabkan karena hidroksida yang terbentuk terdorong secara elektroosmosis dan electrophoresis dan terkumpul pada larutan disekeliling elektroda (katoda). Secara visual hal ini ditunjukkan oleh terbentuknya endapan putih kehijauan pada larutan dimana katoda terpasang. Gambar 2, 3, 6 dan 7 menunjukkan bahwa kadar akhir total Fe dan Mn untuk kedua perlakuan menggunakan

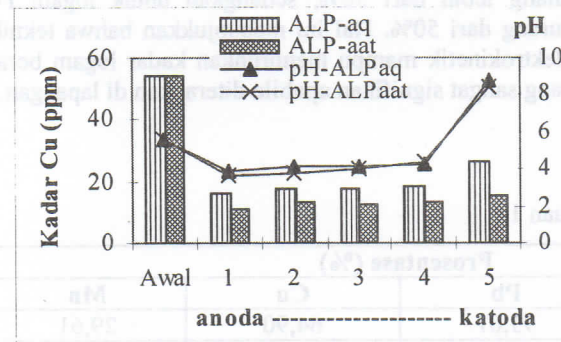
AAT dan H₂O hampir sama, sesuai dengan perubahan nilai pH yang terjadi untuk kedua bahan tersebut. Hasil yang diperoleh untuk Cu pada BTBT ALP (gambar 4 dan 5) lebih menunjukkan pengaruh yang lebih baik dari pemberian elektrolit AAT dibanding H₂O. Sementara itu data Cu pada BTBT Bangko menunjukkan hal sebaliknya. Hal ini belum dapat dijelaskan secara teoritis, namun kemungkinan berkaitan dengan nilai KTK yang rendah pada BTBT Bangko.



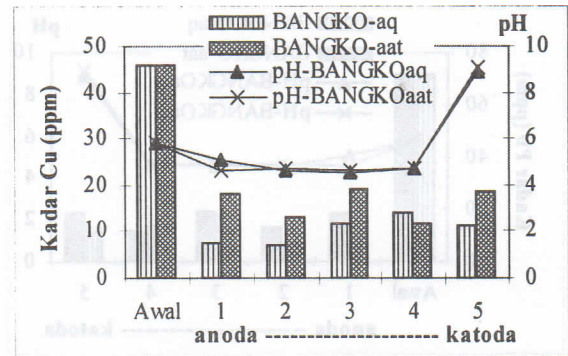
Gambar 2. Perubahan kadar Fe pada BTBT ALP akibat perlakuan 1.



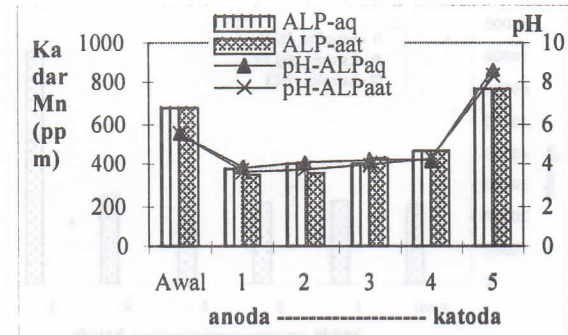
Gambar 3. Perubahan kadar Fe pada BTBT Bangko akibat perlakuan 1.



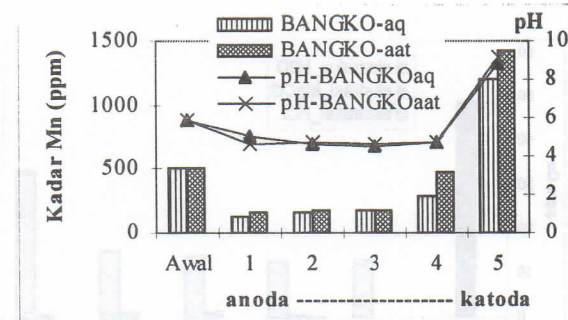
Gambar 4. Perubahan kadar Cu pada BTBT ALP akibat perlakuan 1



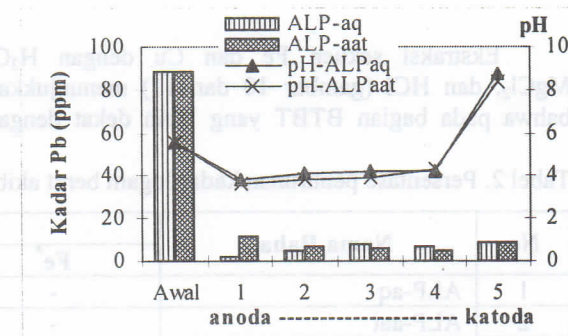
Gambar 5. Perubahan kadar Cu pada BTBT Bangko akibat perlakuan 1



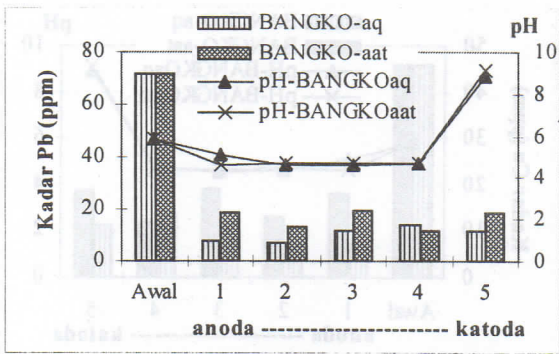
Gambar 6. Perubahan kadar Mn pada BTBT ALP akibat perlakuan 1



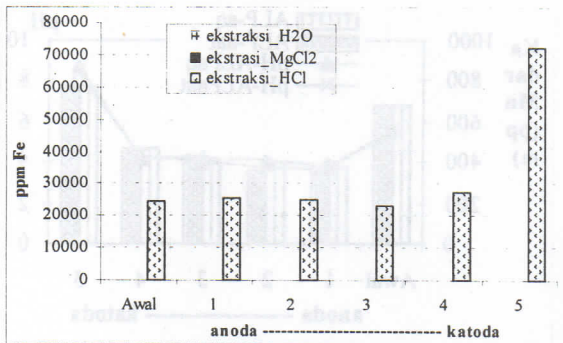
Gambar 7. Perubahan kadar Mn pada BTBT Bangko akibat perlakuan 1



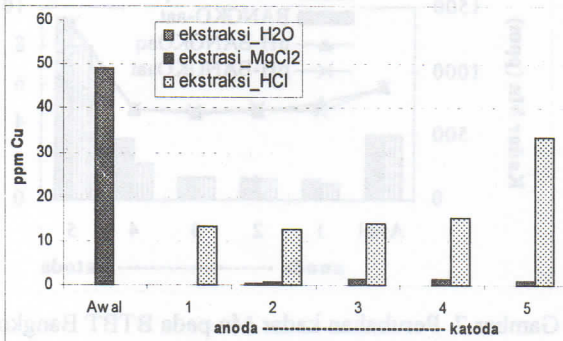
Gambar 8. Perubahan kadar Pb pada BTBT ALP akibat perlakuan 1



Gambar 9. Perubahan kadar Pb pada BTBT Bangko akibat perlakuan 1



Gambar 10. Bentuk Fe pada BTBT akibat perlakuan 1



Gambar 11. Bentuk Cu pada BTBT akibat perlakuan 1

Ekstraksi sekuen Fe dan Cu dengan H₂O, MgCl₂, dan HCl (gambar 10 dan 11) menunjukkan bahwa pada bagian BTBT yang lebih dekat dengan

katoda proporsi logam yang terekstrak HCl lebih tinggi. Fraksi ini kemungkinan sebagian besar terdiri dari logam-logam yang mengendap sebagai hidroksida (Darmawan, 2001; Acar dan Alshwabkeh, 1993).

Terlepas dari tidak berbedanya antara hasil yang diperoleh dari perlakuan elektrokinetik yang menggunakan elektrolit AAT dan H₂O, hasil dari seri perlakuan ini menunjukkan terjadinya penurunan kadar logam dibandingkan keadaan awal (tabel 2). Pada perlakuan seri 1, persentase kadar logam berat yang hilang mencapai 6 sampai lebih dari 90%.

Pada tabel 2 terlihat bahwa persentase turunnya Pb dan Cu akibat perlakuan elektrokinetik lebih dari 50%, sedangkan untuk Mn kurang dari 50%. Untuk Fe persentase kehilangan Fe akibat perlakuan elektrokinetik tidak dapat dihitung, hal ini kemungkinan besar diakibatkan oleh terlarutnya stainless ke dalam bahan sehingga meningkatkan kadar Fe bahan.

Seri Perlakuan 2

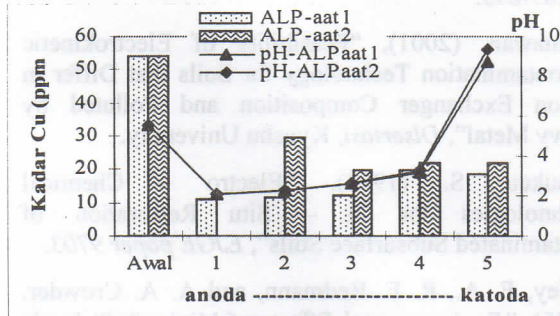
Kadar akhir logam Fe, Pb, Cu dan Mn pada BTBT ALP, setelah perlakuan dengan elektrolit AAT yang di suplai dari satu sisi (anoda) atau kedua sisi elektroda dengan grafit sebagai elektroda, disajikan pada gambar 12-15, termasuk kadar logam awal sebelum perlakuan.

Kadar akhir logam Cu, Mn, Pb dan Fe menunjukkan penurunan yang nyata pada bagian BTBT yang dekat ke anoda baik dengan suplai elektrolit dari sisi anoda maupun kedua sisi elektroda. Pemberian AAT langsung di sisi katoda dimaksudkan untuk langsung menetralkan pembentukan OH⁻ yang terbentuk akibat proses hidrolisis selama perlakuan elektrokinetik. Namun demikian pemberian elektrolit dari sisi anoda saja maupun kedua sisi elektroda tidak menunjukkan perbedaan yang nyata. Hal ini menunjukkan bahwa pemberian elektrolit ke katoda tidak mampu menetralkan pembentukan hidroksida pada katoda. Pada seri perlakuan 2, persentase kadar logam berat yang turun mencapai 20% sampai lebih dari 70% (tabel 3). Pada tabel terlihat bahwa untuk logam Pb, Cu dan Mn persentase kadar logam yang hilang lebih dari 50%, sedangkan untuk logam Fe kurang dari 50%. Hal ini menunjukkan bahwa teknik elektrokinetik mampu menurunkan kadar logam berat yang sangat signifikan apabila diterapkan di lapangan.

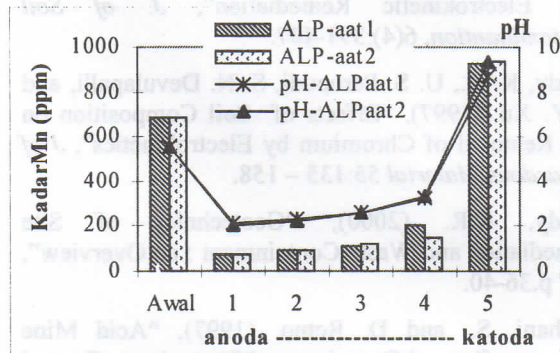
Tabel 2. Persentase penurunan kadar logam berat akibat perlakuan 1

No	Nama Bahan	Prosentase (%)			
		Fe*	Pb	Cu	Mn
1	ALP-aq	-	93,07	64,90	29,61
2	ALP-aat	-	91,33	75,69	31,09
3	Bangko-aq	-	85,71	65,55	24,00
4	Bangko-aat	-	77,64	59,55	6,61

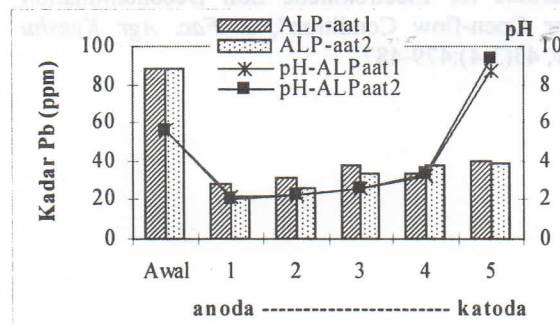
Secara umum tampak bahwa penggunaan AAT sebagai elektrolit tidak menunjukkan kemampuan lebih dibandingkan H₂O, hal ini kemungkinan karena sumbangan asam H⁺ dari AAT terlalu kecil dibandingkan H⁺ yang terbentuk akibat hidrolisis air selama pemberian arus listrik (*buffering capacity* tanah yang rendah). Walaupun demikian untuk aplikasi di lapangan penggunaan AAT sebagai elektrolit pada teknik elektrokinetik ini lebih disarankan untuk menghindari penggunaan air bersih.



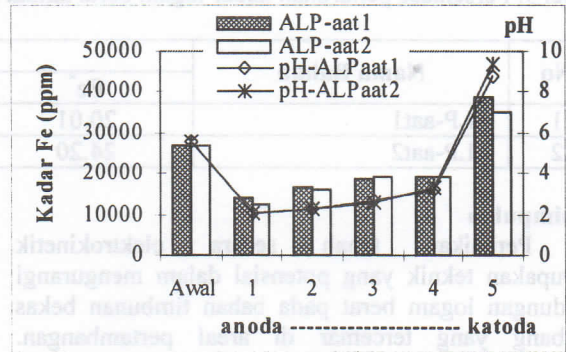
Gambar 12. Perubahan kadar Cu pada BTBT akibat perlakuan 2



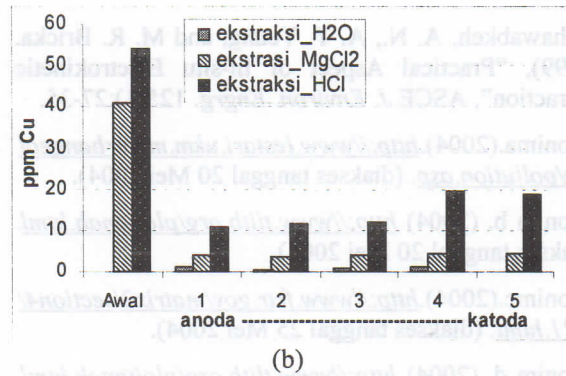
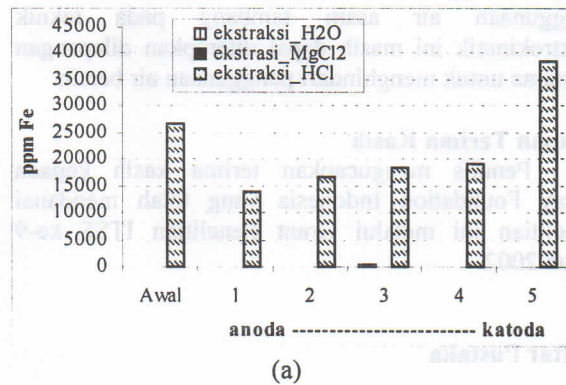
Gambar 13. Perubahan kadar Mn pada BTBT akibat perlakuan 2



Gambar 14. Perubahan kadar Pb pada BTBT akibat perlakuan 2



Gambar 15. Perubahan kadar Fe pada BTBT akibat perlakuan 2



Gambar 16. Bentuk Fe dan Cu pada BTBT akibat perlakuan 2; (a) Ppm Fe pada seri perlakuan 2 untuk BTBT ALP elektrolit AAT diberikan dari satu sisi elektroda, (b) Ppm Cu pada seri perlakuan 2 untuk BTBT ALP elektrolit AAT diberikan dari satu sisi elektroda

Tabel 3. Persentase penurunan kadar logam berat akibat perlakuan 2.

No	Nama Bahan	Prosentase (%)			
		Fe*	Pb	Cu	Mn
1	ALP-aat1	20.01	61.63	73.14	59.15
2	ALP-aat2	24.20	64.52	65.59	60.36

Kesimpulan

Perbaikan tanah secara elektrokinetik merupakan teknik yang potensial dalam mengurangi kandungan logam berat pada bahan timbunan bekas tambang yang tercemar di areal pertambangan. Penambahan air asam tambang untuk menambah efek pemasaman ke dalam sistem pada percobaan (mengurangi pengaruh ion-ion hidroksil), tidak menunjukkan hasil yang lebih baik dibandingkan dengan penggunaan H₂O (air). Walaupun demikian, penggunaan air asam tambang pada teknik elektrokinetik ini masih dapat diterapkan dilapangan terutama untuk menghindari penggunaan air bersih.

Ucapan Terima Kasih

Penulis mengucapkan terima kasih kepada Toray Foundation Indonesia yang telah mendanai penelitian ini melalui Grant Penelitian ITSF ke-9 tahun 2002.

Daftar Pustaka

Acar, Y.B. and A.N. Alshwabkeh. (1993), "Principles of Electrokinetic Remediation", *Environ. Sci. Technol.* 27:2638-2647.

Alshwabkeh, A. N., A. T. Yeung, and M. R. Bricka. (1999), "Practical Aspect of In-situ Electrokinetic Extraction", *ASCE J. Environ. Engrg.* 125(1):27-35.

Anonima.(2004). <http://www.lestari.ukm.my/urbangeology/pollution.asp>. (diakses tanggal 20 Mei 2004).

Anonim b. (2004) <http://www.tlitb.org/plo/tanah.html>. (diakses tanggal 20 Mei 2004).

Anonimc.(2004). http://www.frtr.gov/matrix2/section4/4_21.html. (diakses tanggal 25 Mei 2004).

Anonim d. (2004) <http://www.tlitb.org/plo/tanah.html>. (diakses tanggal 20 Mei 2004).

Darmawan and S. -I. Wada. (2002), "Effect of Clay Mineralogy on The Feasibility of Electrokinetic Soil Decontamination Technology", *Applied Clay Science* 20:283-293.

Darmawan, (2001), "Feasibility of Electrokinetic Decontamination Technology for Soils that Differ in Cation Exchanger Composition and Polluted by Heavy Metal", *Disertasi*, Kyushu University.

Pamukcu, S. (1997), "Electro - Chemical Technologies for In - Situ Restoration of Contaminated Subsurface Soils", *EJGE paper 9703*.

Ripley, E. A., R. E. Redmann, and A. A. Crowder. (1996), "Environmental Effects of Mining", St Lucie Press, Delray Beach, Florida.

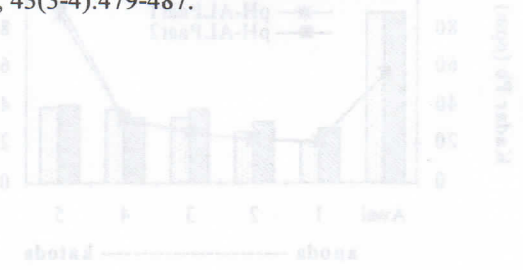
Reddy, K. R., and U. S. Parupudi. (1997), "Removal of Chromium, Nikel and Cadmium from Clays by In-Situ Electrokinetic Remediation", *J. of Soil Contaminantion*, 6(4):391-407.

Reddy, K. R., U. S. Parupudi, S. N. Devulapalli, and C. Y. Xu. (1997), "Effects of Soil Composition on The Removal of Chromium by Electrokinetics", *J of Hazardous Material* 55:135 - 158.

Reddy, K.R. (2000), "Geotechnics of Site Remediation and Waste Containment : an Overview", *IGC* p.36-40.

Rochani, S., and D. Retno. (1997), "Acid Mine Drainage: General Overview and Strategies to Control Impacts", *Indonesian Mining J.* 3(2):36-42.

Wada, S. -I., R. Ryu, Darmawan, and Y. Umegaki. (2002), "On the Design of Laboratory Scale Apparatus for Electrokinetic Soil Decontamination under Open-flow Condition", *J. Fac. Agr Kyushu Univ.* 43(3-4):479-487.



Gambar 1. Perbandingan kadar Pb pada BTBT akibat perlakuan 2