

BAB IV

HASIL dan PEMBAHASAN

4.1. Penelitian pada *leachate*

Penelitian remediasi elektrokinetik menggunakan media lumpur *leachate* dari TPA Piyungan Bantul dengan kandungan konsentrasi Zn awal 415,20 ppm dan pH awal 6,5 cenderung dalam kondisi netral. Konsentrasi seng setelah proses remediasi elektrokinetik pada area efektif maupun pada area inefektif masih melebihi nilai ambang batas yang ditetapkan oleh National Environment Protection Council 1999 yaitu untuk kedalaman tanah 0,2 m konsentrasi seng adalah sebesar 12,4 mg/kg. Dapat dilihat pada (lampiran VI)

Dampak yang dihasilkan dari asam seng pada manusia dalam jumlah besar senyawanya iritan dan korosif, dapat masuk kedalam tubuh melalui mulut, hidung atau terserap lewat kulit. Alhasil setelah masuk kedalam tubuh logam tersebut akan mengalir bersama aliran darah dan beredar keseluruh tubuh. Hal ini kemungkinan akan mengganggu fungsi hati dan ginjal. (Soemirat, 1994).

Keracunan seng (Zn) sering dijumpai pada hewan yang hidup didaerah yang tercemar unsur ini, dan keracunan Zn ini juga terjadi bersamaan dengan keracunan Cd secara kronis. Defisiensi seng (Zn) akan terlihat pada hewan

dan gejala peradangan pada hidung dan mulut serta pembengkakkan persendian. Zn merupakan racun protoplasma dimana seng (Zn) merupakan penyebab *pneumonitis* dan menyebabkan *dermatitis* jika kontak dengan kulit. (Bapedal,1994).

4.2.1 pH pada area efektif.

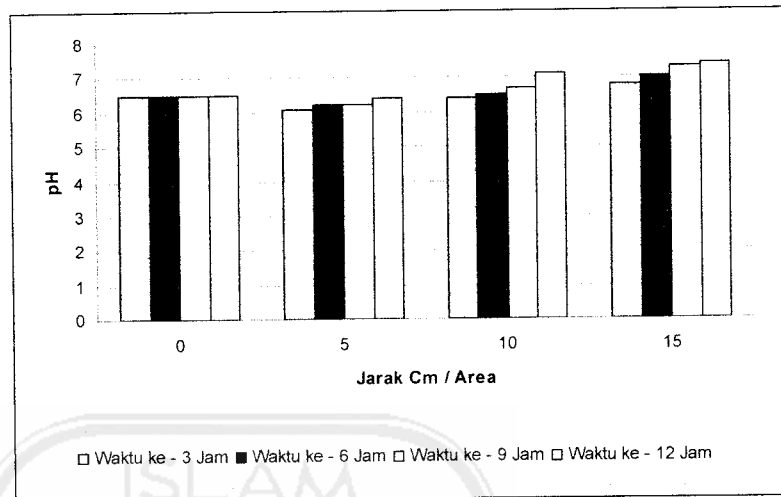
Pada penelitian ini, titik sampel lumpur *leachate* dibagi menjadi 4 area terdiri dari area I, II, dan III yang disebut area efektif karena area tersebut dikelilingi oleh 6 anoda, sedangkan yang berada diluar anoda disebut area Inefektif. Masing-masing area memiliki jarak baik dari anoda ke katoda dan diluar anoda untuk lebih detailnya seperti dibawah ini:

- Area I : 15 cm dari katoda
- Area II : 10 cm dari katoda
- Area III : 5 cm dari katoda
- Area Inefektif : 15 cm diluar anoda

Penelitian remediasi elektrokinetik menggunakan tegangan listrik 40 V dan arus DC pada potongan melintang area antara elektroda pada lumpur *leachate* dari TPA Piyungan Bantul. Proses penelitian dilakukan selama 12 jam dengan interval waktu 3 jam ditiap area untuk melakukan pengambilan, pengukuran pH dan pengukuran resistivitas pada sampel lumpur *leachate*.

Tabel 4.3 sampai Tabel 4.5 adalah tabel hasil pengukuran pH pada masing-masing area : (Lampiran III)

Dari hasil pengukuran pH dapat terlihat terjadi peningkatan disetiap area dan juga terjadi penurunan pH pada waktu ke 12 di area II dan III. Hasil pengukuran pH tersebut di dapatkan gambar hubungan antara waktu, pH dan jarak dapat dilihat pada Gambar 4.1. Pada waktu ke-0 pH masing-masing area dalam kondisi rendah (netral) dengan nilai rata-rata 6,5, kemudian pada waktu ke-3 di area II dan area III terjadi penurunan masing-masing sebesar 6,4 dan 6,1. Sedangkan pada area I (anoda) kenaikan pH lebih besar dibandingkan area II dan area III yaitu sebesar 6,8. Pada waktu ke-6 di area II dan area III juga terjadi kenaikan sebesar 6,5 dan 6,2. Sedangkan pada area I pH sebesar 7 dan terjadi kenaikan. Pada waktu ke-9 dan 12 pH pada area I terjadi kenaikan yang tidak terlalu mencolok yaitu sebesar 7,3 dan 7,4., sedangkan pada area II dan area III pada jam ke-9 pH masih mengalami kenaikan, pada kondisi jam ke-12 pH mengalami kenaikan masing-masing sebesar 7,1 dan 6,4. Untuk lebih jelasnya dapat dilihat pada grafik yang ditunjukkan pada gambar 4.1



Gambar 4.1. Hubungan antara pH dengan jarak

Dari gambar 4.1 dapat dilihat terjadi perubahan pH, sehingga dapat diartikan bahwa telah terjadi reaksi-reaksi kimia di setiap titik sampling. Pada penelitian ini pH terhadap jarak dalam waktu 12 jam telah sesuai dengan penelitian yang telah dilakukan oleh Alshwabkeh dkk, 1994 didapat hasil pada area anoda bersifat basa dan pada area katoda bersifat asam dikarenakan adanya *electrolysis* yaitu reaksi oksidasi air pada kutub positif (anoda) disebut sebagai area I yang menghasilkan kondisi asam, sementara pada kutub negatif (katoda) disebut sebagai area III terjadi reduksi air yang menghasilkan kondisi basa (Setiono,1990).

(Willard, 1997) mengemukakan bahwa dalam *electrolysis* air yang terjadi di elektroda akan menyebabkan ion H^+ dan OH^- berpisah di kutub positif (anoda) dan kutub negatif (katoda) secara bertahap, ion-ion tersebut

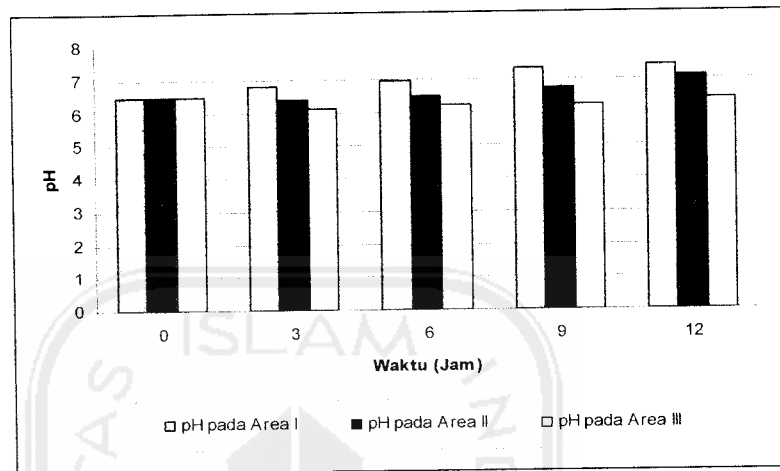
akan berjalan di dalam tanah menuju elektroda sehingga terjadi perubahan pH.

Oksidasi air dikutub positif (anoda) menghasilkan kondisi asam sementara pada kutub negatif atau katoda terjadi pengurangan (reduksi) yang menghasilkan kondisi basa dalam tanah. Saat asam dihasilkan dikutub positif, melalui tanah dapat sampai ke arah katoda dibantu oleh migrasi ion dan elektroosmosis, basa yang dihasilkan di katoda dapat bergerak menuju ke anoda dibantu secara difusi dan migrasi ion (Alshwabkeh,1999).

Area II yang berada di antara anoda dan katoda mengalami kondisi asam dengan nilai pH seimbang. Area II memiliki pH rata-rata 6, sehingga dimungkinkan di area II tersebut lebih dominan terpengaruh oleh area anoda dan katoda. Namun kenaikan pH pada Area I, II, III terus berlangsung sehingga pH masih dalam keadaan tidak jenuh., maka bisa dikatakan pada penelitian ini efektif pada jam ke-12.

Dari gambar 4.1 dapat dilihat pH pada setiap area semakin meningkat ini dikarenakan telah terjadi pergerakan dari ion-ion lain yang lebih dominan dan di area III pH bersifat konstan, karena yang diharapkan pada penelitian ini pH yang dihasilkan dalam keadaan konstan itu membuktikan bahwa penelitian pada Area III telah sesuai yang diharapkan.

Berikut adalah gambar hubungan antara pH dan waktu di tiap-tiap area efektif, yang disesuaikan dengan data dari tabel 4.3 sampai 4.5 (Lampiran III)

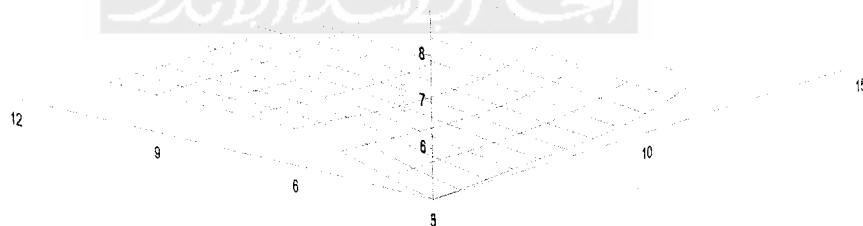


Gambar 4.2 Hubungan antara pH dengan waktu

Dilihat dari gambar 4.2 menunjukkan hubungan pH dengan waktu pada masing-masing area. Semakin lama waktu remediasi maka pH akan semakin naik. Pada area I (gambar 4.2) pH terus mengalami kenaikan seiring dengan bertambahnya waktu. Area yang jaraknya 15 cm dari katoda ini memiliki kondisi awal netral dan setelah 12 jam terukur kondisinya berubah menjadi basa. Pada area II kondisi sebelum dan sesudah remediasi elektrokintik bersifat netral. Pada area III kondisi awal netral dan sesudah remediasi pH menjadi asam.

Kenaikan pH pada masing-masing area pada setiap waktunya terjadi karena konsentrasi seng yang ada pada setiap area berpindah atau bergerak menuju batang katoda. Katoda yang menyebarkan kondisi asam keseluruhan permukaan lumpur *leachate* hanya terjadi pada area III yang jaraknya 5 cm dari katoda. Lumpur *leachate* yang memiliki kondisi asam akan mempercepat pergerakan ion menuju katoda.

Apabila proses remediasi elektrokinetik sudah mengalami titik kejenuhan maka kondisi pH akan turun serta intensitas arus tinggi dapat menjadikan lebih asam dan menambah laju transport untuk memfasilitasi proses removal kontaminan, dibawah ini adalah grafik hubungan pH terhadap waktu pada area efektif secara 3 dimensi.



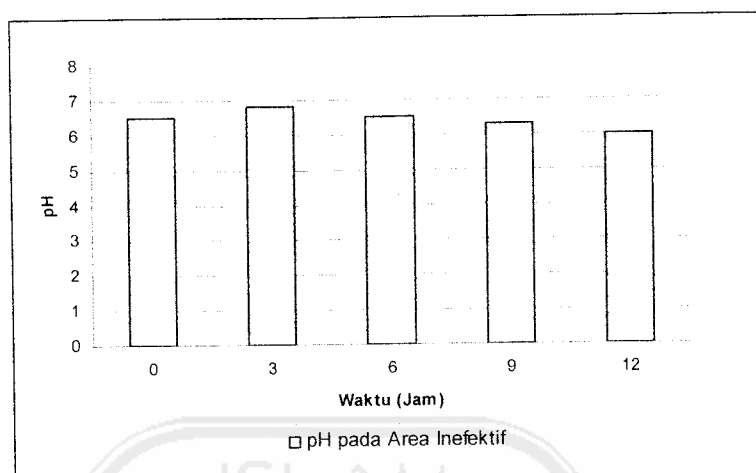
Gambar 4.3 Hubungan antara pH , jarak dan waktu di area I, II, III

Perubahan pH pada lumpur *lechate* tergantung pada jenis bahan kimia, kadar air dalam tanah, proses *electrolysis*, waktu *treatment* dan potensial elektrokimia. Arus listrik yang mengalir melalui elektroda juga mempengaruhi proses *electrolysis* di elektroda (Alshawabkeh,1999).

Dalam penelitian ini untuk Area I, II keadaan pH berbanding terbalik karena terjadi beberapa kesalahan salah satunya yaitu tidak adanya kontrol pH sedangkan pada area III sudah dalam keadaan asam. Dalam remediasi elektrokinetik perubahan pH sangat mempengaruhi oleh karena itu perlu dilakukan kontrol pH agar pH selalu dalam keadaan seimbang, salah satu solusinya dengan menambahkan buffer yaitu menggunakan larutan fosfat, fungsi dari penambahan buffer adalah untuk menetralkan ion hidroksida dan ion hidrogen (Willard,1997).

4.2.2 pH pada area inefektif.

Area inefektif berada pada area diluar anoda, yaitu area IV. Pengukuran pH dilakukan setiap 3 jam sekali pada masing-masing area menggunakan pH meter tanah. Berikut adalah gambar hubungan antara pH dan waktu di tiap-tiap area inefektif, yang disesuaikan dengan data dari tabel 4. 2 (Lampiran III)



Gambar 4.4 pH terhadap waktu pada area inefektif

Dilihat dari gambar 4.4 menunjukkan hubungan pH dengan waktu pada area inefektif. Pada waktu ke-0 pH awal diarea inefektif sebesar 6,5 masih dalam kondisi netral. Sedangkan pada waktu ke-3 terjadi kenaikan sebesar 6,8. Pada waktu ke-6 kondisi pH sama dengan waktu ke-0 yaitu sama-sama dalam kondisi netral. Pada waktu ke-9 dan waktu ke-12 terjadi penurunan sebesar 6,3 dan 6.

Dari gambar 4.4 diatas dapat terlihat terjadi perubahan pH di area inefektif dengan kondisi awal netral dan semakin bertambahnya waktu kondisi pH menjadi asam, ini dikarenakan pada area inefektif terjadi reaksi oksidasi air yaitu pelepasan electron sebanyak $4e$ dan menghasilkan ion H^+ yang berarti bahwa pada area inefektif mengalami kondisi asam. Ion-ion dari zat terlarut dan ion-ion hydrogen maupun hidroksil (OH^-), berlomba-lomba

untuk melepaskan muatan mereka pada elektroda dan ion yang berhasil adalah ion yang memerlukan energi paling sedikit untuk melepaskan muatan (Setiono,1990).

Daya hantar larutan pada proses *electrolysis* ini disebabkan karena adanya pergerakan ion-ion yang apabila dialirkan aliran listrik akan bermigrasi ke arah ke elektroda yang muatannya berlawanan, karena adanya gaya elektrostatis. Pada penelitian ini yang mempengaruhi perubahan pH adalah area elektroda (anoda dan katoda) dan waktu juga sangat mempengaruhi kenaikan serta penurunan pH.

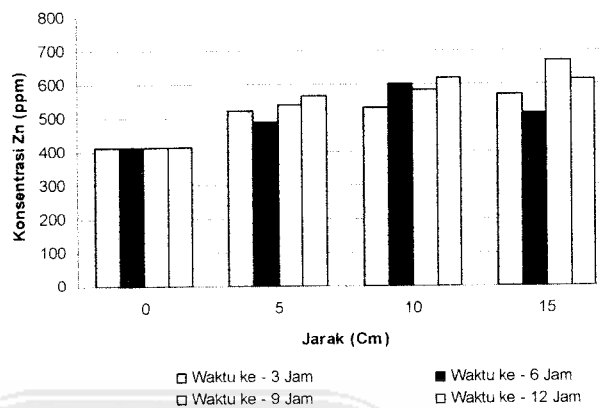
4.3 Konsentrasi Zn pada area efektif.

Seperti yang disebutkan sebelumnya, penelitian ini menggunakan lumpur *leachate* yang berasal dari TPA Piyungan Bantul. Berdasarkan hasil laboratorium konsentrasi seng awal menggunakan metode *Atomic Absorption spectrum* sebelum proses remediasi yang berada pada lumpur *leachate* sebesar 415,20 ppm. Pengambilan sampel lumpur *leachate* dilakukan selama 3 jam sekali pada titik sampling yang dapat dilihat pada gambar 3.5

Pengambilan titik sampling lumpur *leachate* dilakukan pada 2 area yaitu pada area efektif yang berada pada area anoda dan katoda dan area inefektif yang berada pada area inefektif

Dari tabel 4.6 sampai tabel 4.8 (Lampiran III) terlihat adanya perbedaan konsentrasi pada masing-masing titik sampling (area). Konsentrasi awal logam berat seng sebelum remediasi elektrokinetik adalah 415,20 ppm. Pada 3 jam pertama konsentrasi seng pada area I sebesar 364,40 ppm, pada area II konsentrasinya konstan sebesar 364,40 ppm dan area III naik menjadi 416 ppm. Pada pengukuran ke 6 jam, area I mengalami penurunan konsentrasinya sebesar 277 ppm, area II mengalami kenaikan menjadi 524,20 ppm dan pada area III terjadi kenaikan yang tidak terlalu mencolok menjadi 416 ppm. Pada pengambilan sampel ke 9 jam konsentrasi seng pada area I sebesar 542,40 ppm, sedangkan pada area II terjadi penurunan konsentrasi yaitu sebesar 408 ppm dan pada area III kembali naik konsentrasinya yaitu menjadi 449,20 ppm. Pada waktu ke 12 jam konsentrasi seng yang terdapat pada area I sebesar 446,20 ppm, pada area II konsentrasi seng mengalami kenaikan menjadi 458,20 ppm dan pada area ke III konsentrasi seng mengalami kenaikan yang tidak terlalu mencolok menjadi 418,80 ppm.

Dari tabel 4.6 sampai tabel 4.8 (Lampiran III) hasil pengujian konsentrasi seng dapat dibuat grafik-grafik hubungan antara konsentrasi dengan jarak untuk setiap waktu yang terlihat pada gambar 4.5 berikut ini:

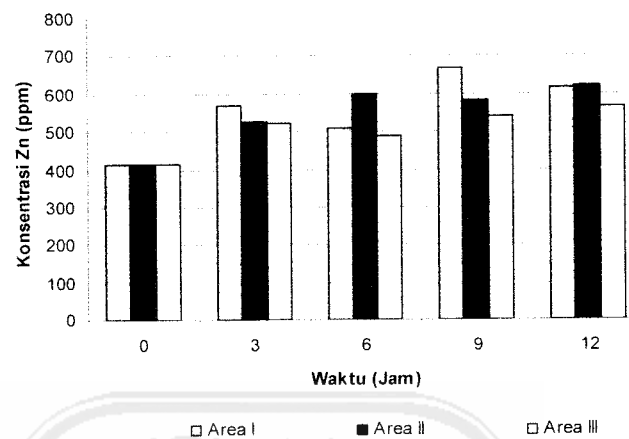


Gambar 4.5. Hubungan antara konsentrasi seng dengan jarak

Dari gambar 4.5 menunjukkan hubungan konsentrasi seng terhadap jarak untuk setiap interval waktu. Pada gambar tersebut dapat dilihat disetiap area berbentuk flat (datar) yang artinya konsentrasi normal atau tidak mengalami perubahan yang signifikan dikarenakan tidak mudahnya Zn bereaksi pada kondisi normal, sedangkan pada percobaan ini dengan cara elektroda (Elektrokinetik), sehingga penurunan konsentrasi Zn tidak efektif.

Menurut Will dan Cotton (1976), Zn mudah bereaksi dengan cara dipanaskan dalam O_2 menghasilkan oksida.

Selain itu dapat dibuat hubungan antara konsentrasi seng dengan waktu pada masing-masing area yang terlihat pada gambar 4.6 berikut ini:



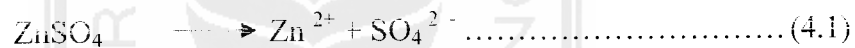
Gambar 4.6 Hubungan antara konsentrasi seng dengan waktu

Pada gambar 4.6 di atas dapat dilihat pada Area I pada waktu ke 3 jam dan 6 jam terjadi penurunan konsentrasi Zn dan pada 9 jam dan 12 jam mengalami kenaikan yang drastis dikarenakan pergerakan ion-ion Zn^{2+} sedikit dan terjadi titik kejenuhan. Area II adalah area yang berada 10 cm dari katoda, dari gambar terlihat konsentrasi Zn terendah pada waktu ke 3 jam dikarenakan ion-ion Zn^{2+} yang bermigrasi menuju anoda terakumulasi di area sekitar anoda. Pada Area III untuk setiap penambahan waktu konsentrasi Zn keadaannya datar (flat), yang artinya konsentrasi berjalan normal atau tidak mengalami perubahan yang signifikan sehingga remediasi tidak efektif ini dikarenakan tidak adanya perpindahan ion-ion Zn^{2+} dan disetiap titik mengalami kejenuhan.

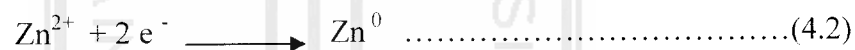
Gambar 4.6 menunjukkan hubungan antara konsentrasi seng dengan waktu pada masing-masing area. Fenomena di atas diindikasikan telah terjadi proses elektromigrasi dibawah pengaruh medan listrik.

Elektromigrasi adalah perpindahan ion-ion ke elektroda yang berlawanan karena pengaruh medan listrik. Ion-ion positif (kation) akan menuju atau menempel pada batang katoda ion-ion negatif (anion) akan menempel pada batang anoda, (Pack,1997).

Lumpur *leachate* akan mengalami 2 proses tahapan reaksi, yaitu yang pertama adalah:



Dan reaksi yang kedua adalah



Persamaan 4.1 merupakan reaksi pemecahan larutan ZnSO_4 yang terjadi karena adanya aliran listrik yang mengalir melalui elektroda-elektroda. Perubahan energi listrik menjadi energi kimia menyebabkan migrasi ion-ion menuju elektroda yang berlawanan. Proses migrasi ini akan menyebabkan reaksi reduksi dan oksidasi. Reduksi adalah reaksi yang terjadi pada katoda dimana akan terjadi pelepasan elektron. Pelepasan 2 elektron ini akan menyebabkan seng berubah menjadi netral (Zn^0) dan akan mengendap pada

sisi-sisi permukaan batang katoda. Sementara itu oksidasi adalah reaksi yang terjadi pada anoda dimana akan terjadi penerimaan elektron. Reaksi oksidasi tidak dapat terjadi pada SO_4^{2-} tetapi yang akan mengalami oksidasi adalah pelarutnya (air) dan pada akhirnya terbentuk gas oksigen.

Menurut Will dan Cotton (1976), Zn mudah bereaksi dengan cara dipanaskan dalam O_2 menghasilkan oksida.

Kenaikan konsentrasi Zn dikarenakan tidak mudahnya Zn bereaksi dengan cara elektrokinetik pada suhu kamar (rendah) tetapi Zn mudah bereaksi pada suhu ($110\text{-}150^\circ\text{C}$), sehingga penurunan konsentrasi Zn tidak efektif.

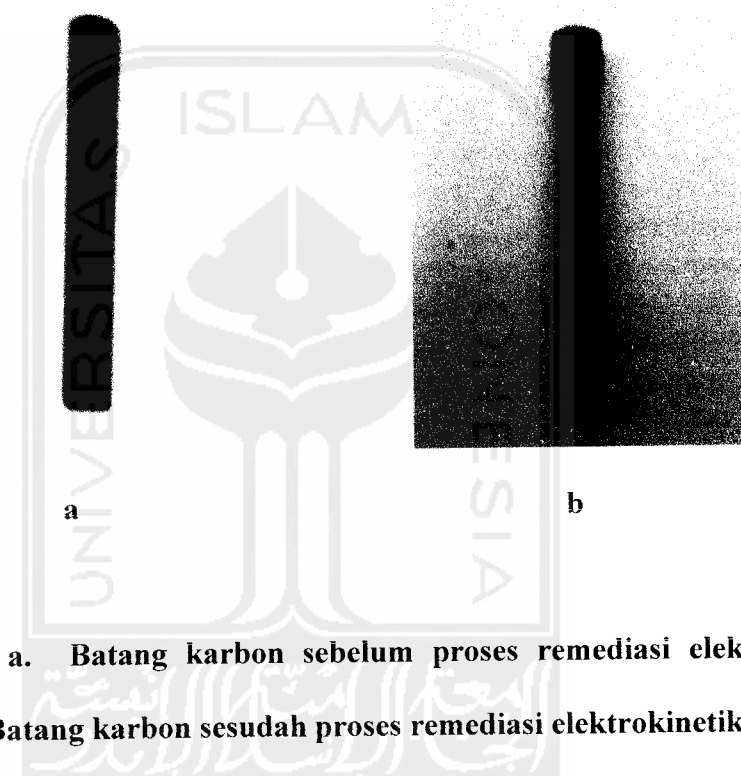
Menurut hasil penelitian yang dilakukan oleh Oktobianto (2005) berdasarkan hasil analisis AAS terhadap serbuk baterai bekas yang umum digunakan diperoleh hasil bahwa dalam 1 unit baterai bekas mengandung 22,100 % Zn. Dalam batu baterai bekas mempunyai efisiensi energi cukup tinggi, dapat langsung dihasilkan logam murni.

Elektroda batang karbon yang mengandung unsur Zn ± (22,100%) belum dapat meremediasi asam seng pada lumpur *leachate* walaupun sebenarnya terjadi penguraian asam seng, tetapi juga terjadi pembentukan asam seng dari SO_4^{2-} yang terurai dengan Zn dari elektroda karbon tersebut.

Dari peristiwa tersebut mengalami pengikisan pada dinding-dinding luar batang karbon dan diameter batang karbon menjadi kecil sehingga

menyebabkan batang karbon ini tidak dapat bekerja maksimal untuk mereduksi dan mengendapkan logam seng.

Berikut ini disajikan gambar batang karbon sebelum proses remediasi dan sesudah proses remediasi.



Gambar 4.7 a. Batang karbon sebelum proses remediasi elektokinetik, b. Batang karbon sesudah proses remediasi elektokinetik

Selain karena hal di atas juga di karenakan terjadinya korosi atau karat pada besi yang menghantarkan arus listrik, hal ini di karenakan kondisi yang sudah jenuh, dan kandungan air yang terlalu banyak juga mempengaruhi besi tersebut.

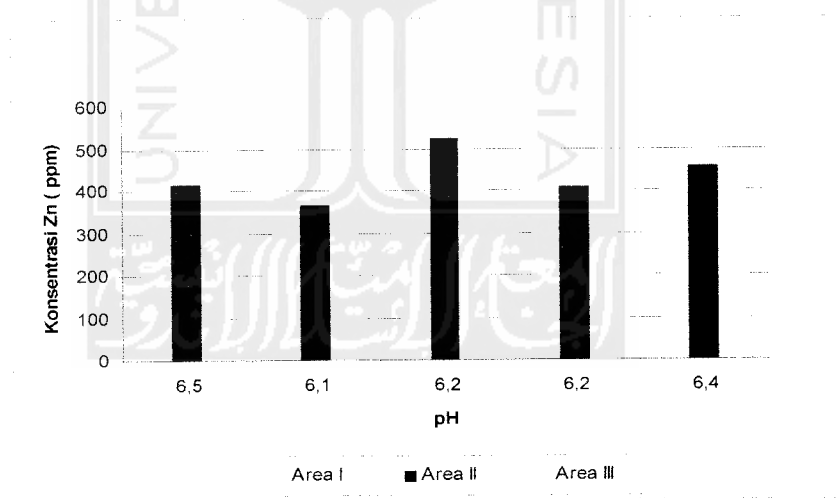
Pada penelitian ini penurunan logam Zn tidak terjadi secara linier karena elektroda karbon yang berdiameter 0,6 cm dan memiliki panjang 5 cm ini ternyata tidak mampu menarik ion-ion seng untuk menempel pada batang katoda dan homogenitas sampel yang tidak diketahui.

Tidak menutup kemungkinan dalam proses remediasi elektrokinetik penurunan kadar Zn dalam lumpur *leachate* terdapat parameter pengganggu lain yang memungkinkan akan mempengaruhi penurunan kadar Zn tersebut, sehingga penurunan kadar Zn tidak optimal. Logam berat pengganggu ini akan berpengaruh apabila mempunyai potensial reduksi yang lebih besar dari pada Zn. Di dalam deret potensial logam atau yang lebih dikenal dengan deret volta dapat diurutkan dari yang terkecil ke yang besar, yaitu K – Ba – Ca – Na – Mg – Al – Mn – Zn – Cr – Fe – Cd – Co – Ni – Sn – Pb – (H) – Sb – Bi – Cu – Hg – Ag – Pt – Au dengan nilai potensial elektroda berturut-turut (-2,92) – (-2,90) – (-2,87) – (-2,71) – (-2,37) – (-1,66) – (-1,18) – (-0,76) – (-0,74) – (-0,44) – (-0,40) – (-0,28) – (-0,25) – (-0,14) – (-0,13) – ((0,00)) – (+0,34) – (+0,79) – (+0,80) – (0,99) – (+1,50). Makin ke kanan letak suatu logam dalam deret volta, harga potensial reduksinya semakin besar. Hal ini berarti logam-logam disebelah kanan mudah mengalami reduksi serta sukar mengalami oksidasi, sehingga logam-logam sebelah kanan akan bereaksi terlebih dahulu pada katoda dari pada Zn.

4.4 Hubungan konsentrasi Zn, pH dan waktu.

Proses remediasi elektrokinetik menyebabkan terjadi beberapa perubahan mendasar dari kondisi awal sampai terjadinya perubahan pH, konsentrasi logam seng dan lain-lain. Berdasarkan dari beberapa perubahan ini menyebabkan perlunya dikaji hubungan antara pH dan konsentrasi seng. Di bawah ini disajikan data hasil pengukuran pH pada masing-masing area dan konsentrasi seng pada masing-masing area.

Dari tabel 4.9 sampai tabel 4.11 (Lampiran III) dapat dibuat gambar hubungan antara konsentrasi Zn dengan pH yang terlihat pada gambar 4.7 berikut ini:



Gambar 4.8 Hubungan konsentrasi dengan pH pada area I,II,III

Gambar 4.8 menunjukkan hubungan antara konsentrasi dengan pH pada masing-masing area. Fenomena yang terjadi adalah perubahan pH yang diikuti dengan perubahan konsentrasi seng. Pada area I kondisi lumpur *leachate* bersifat basa dengan pH tertinggi 7,4 yaitu pada waktu ke12 jam. Area yang berjarak 10 cm dari katoda mengalami kenaikan konsentrasi seiring dengan kenaikan pH lumpur *leachate* pada area ini bersifat netral dengan pH tertinggi sebesar 7,1 sedangkan pada area III mengalami hal yang sama dengan area II yaitu kenaikan konsentrasi dengan turunnya pH dan pada area ini lumpur *leachate* masih bersifat netral.

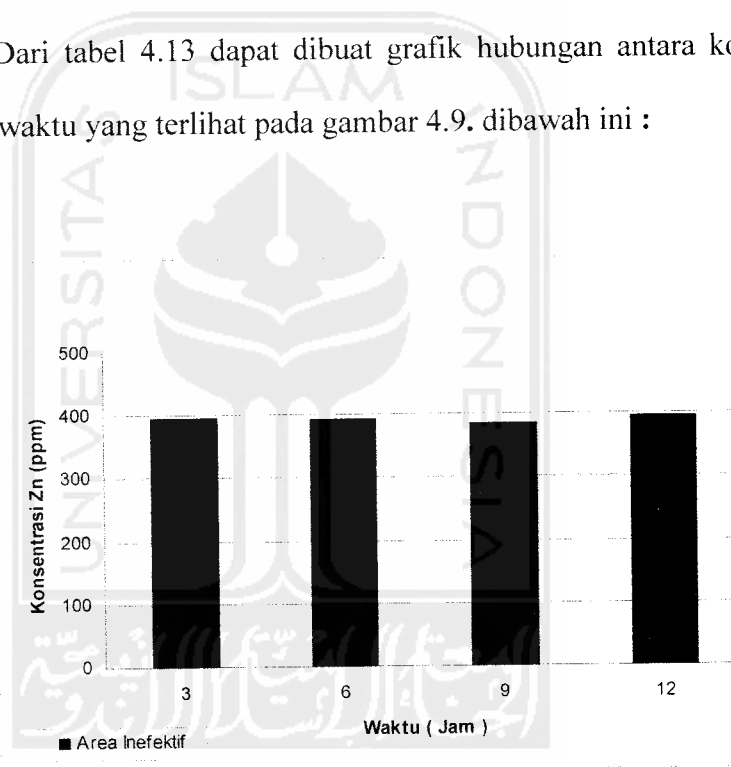
Perubahan pH yang tidak terlalu mencolok ini terjadi karena tidak adanya proses *electromigration* tidak hanya proses *electromigration* saja tetapi juga *electrolysis*. Sedangkan untuk kenaikan konsentrasi Zn diakibatkan karena tidak adanya *electrophoresis* dan migrasi ion.

Fenomena yang terjadi pada gambar 4.1 sampai 4.8 penurunan logam Zn tidak terjadi secara linear, ini dimungkinkan karena terdapat kesalahan dan kekurangan dalam penelitian ini. Kesalahan yang terjadi bisa jadi karena kondisi yang sudah jenuh dan tidak proporsionalnya elektroda yang digunakan serta Zn tidak mudah bereaksi dengan cara elektrokinetik pada suhu kamar / rendah tetapi Zn mudah bereaksi pada suhu (110-150 °C) sehingga penurunan konsentrasi Zn tidak efektif.

4.5. Konsentrasi seng pada area inefektif

Area inefektif merupakan area pembanding dengan area efektif ketika proses remediasi elektrokinetik berlangsung. Area yang berjarak 15 cm dari anoda ini juga dilakukan pengambilan titik sampling selama interval waktu 3 jam dan dapat dilihat pada gambar 3.5. Adapun hasil uji konsentrasi Zn pada area inefektif dapat dilihat pada tabel 4.10.

Dari tabel 4.13 dapat dibuat grafik hubungan antara konsentrasi Zn dengan waktu yang terlihat pada gambar 4.9. dibawah ini :



Gambar 4.9. Hubungan antara konsentrasi seng dengan waktu pada area inefektif

Dari gambar 4.9 diatas, terlihat adanya perbedaan konsentrasi Zn pada masing-masing interval waktu. Pada 3 jam pertama, konsentrasi Zn sebesar 395,15 ppm dan konsentrasi Zn Pada 6 jam mengalami penurunan menjadi

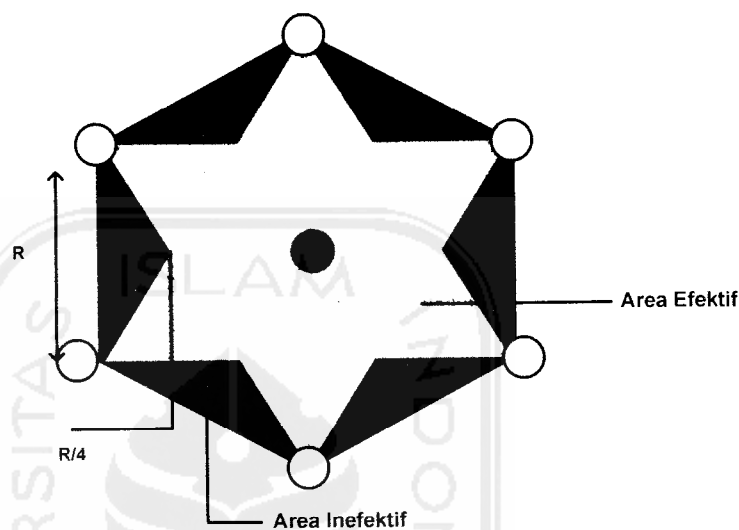
392,48 ppm. Penurunan konsentrasi terjadi pada 9 jam menjadi 385,23 ppm dan pada waktu 12 jam terjadi kenaikan sebesar 395,96 ppm.

Perbedaan konsentrasi pada area inefektif disebabkan oleh masih terpengaruhnya daerah inefektif oleh medan listrik. Ion-ion Zn^{2+} yang berada pada area inefektif akan menuju katoda melalui area efektif atau area I, II dan III.

Secara umum tujuan penerapan konfigurasi elektroda 2D adalah untuk mencapai aliran radial (*axi-symmetrical*). Katoda ditempatkan di tengah untuk memberikan akumulasi kontaminan Zn pada zona yang lebih kecil di sekitar katoda sedangkan anoda ditempatkan pada batas pinggir untuk memaksimalkan penyebaran lingkungan asam yang dibangkitkan oleh anoda dan meminimalkan perluasan lingkungan basa yang dibangkitkan oleh katoda. Titik-titik *inactiv* (mati) medan listrik dalam konfigurasi 2-D terbentuk, namun lebih kecil dibandingkan yang terbangun pada konfigurasi 1-D yang berisi garis paralel anoda dan katoda. Dalam konfigurasi 1-D, rapat arus lokasinya bebas, dalam konfigurasi 2-D, rapat arus bertambah secara linier dengan jarak menuju katoda. Kuatnya medan listrik juga bertambah secara linier dengan jarak menuju katoda (Alshawbkeh, 1999).

Menurut Alshawabkeh (1999), distribusi medan listrik menunjukkan area inefektif beberapa sel berbentuk *curvilinear triangle* (segitiga sama kaki) dengan badan kaki merupakan jarak elektroda yang mempunyai polaritas

sama. Tinggi area segitiga ini diperkirakan tergantung pada waktu proses, spasi elektroda dan kesejajaran, seperti gambar dibawah ini.

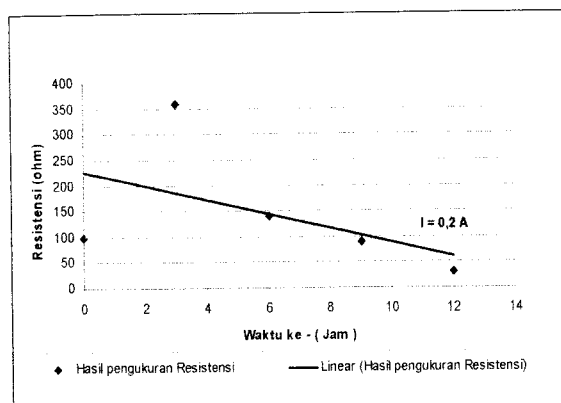


Gambar 4.10. Bentuk area efektif dan inefektif karena distribusi medan listrik (Alshawabkeh, 1999).

4. 6. Resistensi, arus dan voltase

Pengukuran resistensi dan arus dilakukan beriringan dengan pengukuran pH dan pengambilan titik sampel pada interval 3 jam selama 12 jam. Untuk pengukuran resistensi, power supply dimatikan. Data hasil pengukuran resistensi dapat dilihat pada tabel 4.14 (Lampiran III)

Dari tabel 4.10 dapat dibuat grafik hubungan antara resistensi dengan waktu yang ditunjukkan pada gambar 4.1



Gambar 4.11 Hubungan antara resistensi dengan waktu

Gambar 4.11 menunjukkan hubungan antara resistensi dengan waktu selama proses remediasi berlangsung. Resistensi awal sebelum remediasi adalah 100Ω dan resistensi ini terus mengalami penurunan seiring dengan bertambahnya waktu dengan arus yang konstan, sebesar $0,2 \text{ A}$. Arus mempunyai keterkaitan dengan tegangan yang dialirkan dari *power supply*. Voltase yang dipakai pada penelitian ini ternyata tidak mampu menghasilkan hambatan yang cukup untuk menarik logam seng menuju batang katoda. Voltase yang dibutuhkan untuk setiap logam tidak dapat diukur dengan menggunakan rumus secara empiris, karena setiap logam memiliki resistensi yang berbeda satu sama lainnya. Sesuai dengan deret volta semakin kekanan maka tegangan yang dibutuhkan untuk mereduksi logam berat akan semakin besar. Untuk pemaksimalan migrasi logam-logam berat haruslah dilakukan

beberapa kali perulangan penggunaan voltase yang berbeda-beda sehingga pada akhirnya dipilih voltase yang memiliki penurunan konsentrasi yang maksimal. Semakin besar voltase dan arus yang digunakan untuk meremediasi logam akan semakin besar pula efisiensi penurunannya.

Pada 3 jam pengukuran pertama nilai resistensi sebesar 300Ω , 6 jam sampai 12 jam berturut-turut adalah 140Ω , 90Ω dan 30Ω . Penurunan resistensi ini disebabkan oleh meningkatnya konsentrasi ion-ion positif logam-logam berat yang menuju katoda. Sesuai dengan pernyataan Bueche(1989), bahwa resistensi berbanding terbalik dengan luas penampang. Pengecilan luas penampang disebabkan karena pengendapan logam-logam berat yang telah direduksi menjadi logam-logamnya

4.7. Pengamatan terhadap fenomena yang terjadi



Gambar 4.12 Perubahan warna yang terjadi selama proses remediasi.

Gambar 4.12 menunjukkan bahwa selama proses berlangsung terdapat perubahan yang terjadi pada lumpur *leachate* salah satunya yang terlihat adalah adanya perubahan warna, dimana lumpur *leachate* mula-mula berwarna hitam dan pada proses remediasi berlangsung seluruh permukaan lumpur *leachate* berubah menjadi coklat. Dari gambar 4.12 di atas pada area III (katoda) perubahan warna yang terjadi adalah coklat keemasan, tidak hanya itu saja disekitar area juga terjadi pengurangan air. Perubahan warna yang terjadi pada titik katoda dapat diartikan bahwa pada area III (katoda) telah terjadi perpindahan ion-ion yang bermuatan positif sehingga terakumulasi pada area katoda. Oleh karena itu pada area III terjadi perubahan warna yaitu warna coklat keemasan.

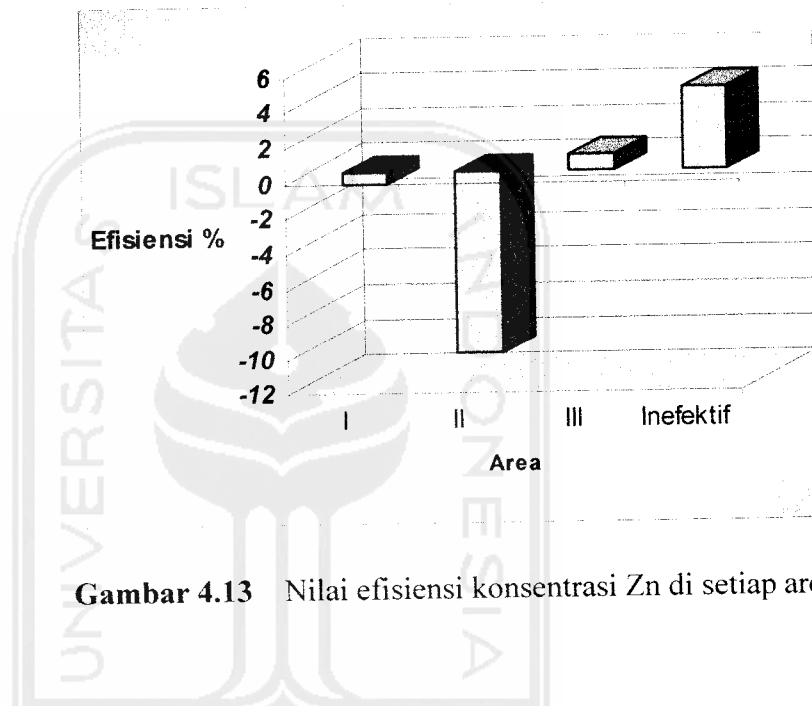
4.8. Efisiensi penurunan seng pada area efektif dan area inefektif

Nilai efisiensi konsentrasi Zn dapat diketahui dengan menggunakan rumus-rumus di bawah ini, data yang digunakan yaitu data penurunan konsentrasi Zn dapat dilihat pada (lampiran VII)

$$E = \frac{C_{awal} - C_{akhir}}{C_{awal}} \times 100\%$$

Dari perhitungan di atas telah didapatkan bahwa nilai efisiensi konsentrasi Zn tertinggi di area efektif terdapat pada area III yaitu sebesar

0,86 % sedangkan yang terendah terdapat pada area II yaitu -10,35 % . Pada area I nilai konsentrasi sebesar -0,76 % sedangkan untuk area infektif nilainya sebesar 4,63 % . Untuk lebih jelasnya dapat dilihat pada gambar 4.13 di bawah ini :



Gambar 4.13 Nilai efisiensi konsentrasi Zn di setiap area

Pada gambar 4.13 di atas dapat dilihat bahwa nilai efisiensi konsentrasi Zn di dalam area efektif yang terbesar adalah terletak pada area III yaitu 0,86 % Sedangkan yang terkecil terletak pada area II yaitu -10,35 % Penurunan konsentrasi seng tidak terjadi pada area II karena migrasi ion-ion seng dari area I berkumpul pada area II selama terjadinya proses elektrokinetik. Sementara itu, logam-logam Zn akan berlomba-lomba menuju katoda. Besarnya efisiensi pada area III disebabkan karena area ini memiliki

jarak yang terdekat dari batang katoda sehingga logam-logam Zn^{2+} akan lebih mudah tertarik menuju batang katoda.

Dari nilai efisiensi konsentrasi Zn terlihat nilai yang didapatkan sangat kecil ini berarti bahwa pada penelitian ini tidak efektif karena nilai efisiensi yang didapat dibawah 50 % padahal hasil yang diinginkan di atas 50 %.

Konsentrasi seng setelah proses remediasi elektrokinetik pada area efektif maupun pada area inefektif masih melebihi nilai ambang batas yang ditetapkan oleh National Environment Protection Council 1999 yaitu untuk kedalaman tanah 0,2 m konsentrasi seng adalah sebesar 12,4 mg/kg dan dapat dilihat pada lampiran VI.

