

BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

2.1. LAPISAN TANAH

Tanah merupakan bagian tertipis dari seluruh lapisan bumi, tetapi pengaruhnya terhadap kehidupan sangat besar. Tanah adalah tempat produksi sebagian besar makanan bagi makhluk hidup. Tanah terdiri atas berbagai lapisan yang disebut horison-horison. Dengan demikian dikenal lapisan atas atau horison A atau *top soil*, di bawahnya ada horison B atau *sub soil*, dan kemudian didapat horison C yang terdiri atas hasil pelapukan buatan, dan di bawahnya lagi terdapat batu-batuan atau *bedrock* (Manahan, 1972)

Tanah pada umumnya gembur, terdiri atas mineral padat, zat organik (5%), air, dan ruang-ruang udara. Sifat-sifat inilah yang memungkinkan terjadinya interaksi antara litosfir, atmosfir, hidrosfir, dan biosfir. Kegemburan memungkinkan penetrasi akar tumbuhan dan bersarangnya hewan, adanya aerasi atau pertukaran antara gas oksigen dan karbondioksida yang diperlukan sangat menopang bagi kelangsungan hidup hewan dan tumbuhan. Udara di dalam tanah terdapat sebanyak 25 % volume, kadar oksigennya lebih rendah daripada kadar oksigen di atmosfir, karena telah dimanfaatkan oleh mikroba aerob untuk menguraikan zat-zat organik. Dengan demikian, *carbondioxida* dalam

tanah pun jauh lebih banyak (beberapa ratus kali) daripada yang ada di dalam atmosfer (Manahan, 1972).

Jenis dan jumlah zat organik yang ada di dalam tanah sangat tergantung dari suhu, oksigen, dan zat organik di sekitarnya. Di daerah tropis, dimana temperatur cukup tinggi, proses penghancuran zat organik dapat berjalan lebih cepat dan apabila garam-garam hasil penguraian ini dapat mudah mengalir masuk lapisan yang lebih dalam, maka tanah di daerah sedemikian menjadi cepat tidak subur. Jenis tanah serta kandungannya juga menentukan kapasitas pertukaran ion, yang menjadi penting dalam proses terjadinya pencemaran tanah, terutama pencemaran zat kimia dan logam-logam. Baik bagian mineral dan bagian organik saling bertukar kation. Tanah liat sebagai mineral menukar kationnya apabila tersedia tempat-tempat yang bermuatan negatif sebagai akibat dari substitusi atom dengan nomor oksidasi yang lebih rendah dengan nomor oksidasi yang lebih tinggi, misalnya penukaran magnesium terhadap aluminium. Proses pertukaran kation inilah yang biasanya memelihara ketersediaan mineral (K,Ca,Mg) untuk tanaman. Proses yang sama pula yang memungkinkan tertahannya sejumlah logam di dalam tanah, sehingga terjadi pencemaran. Apabila logam tadi dipakai oleh akar tanaman, maka sebagai gantinya didapat ion hidrogen. Proses ini bersama dengan melarutnya Ca, Mg, dan lain-lainnya dalam tanah yang mengandung asam karbonat, cenderung membuat tanah menjadi asam.

2.2. SIFAT KIMIA DAN FISIS TANAH

2.2.1. Sel Elektrokimia dan Potensial Kimia

Sistem tanah merupakan tempat penyimpanan hampir semua unsur hara yang diperlukan tanaman dan juga mengandung permukaan-permukaan aktif yang menentukan konsentrasi ion di dalam larutan tanah. Gerakan ion, akumulasi, ketersediaan unsur dan penyerapannya oleh tanaman, perubahan dalam tingkat oksidasi dan reduksi suatu unsur dan banyak lagi reaksi kimia yang lain di dalam tanah adalah reaksi-reaksi yang hingga tingkat tertentu mirip dengan yang terjadi di dalam sel elektrokimia. Di dalam kimia murni dikenal 2 jenis sel elektrokimia, yaitu (a). Sel galvanik atau voltaik dan (b). sel elektrolitik. Sel galvanik terdiri dari 2 elektroda dan 1 atau lebih larutan (dua sel-paruh). Jenis ini mampu secara spontan mengubah energi kimia dari larutan ke energi listrik dan menyalurkannya ke suatu sumber. Batere mobil (aki) merupakan suatu contoh dari jenis sel galvanik. Dalam sel elektrolit, energi listrik disediakan dari suatu sumber luar. Perubahan-perubahan elektrokimia dihasilkan pada antar permukaan elektrode-larutan, dan perubahan konsentrasi terjadi dalam sistem larutan. Jika arus listrik di luar diputus, sistem ini akan cenderung menghasilkan arus elektron dengan arah yang berlawanan. Gaya tarik listrik luar terendah yang harus diberikan untuk menghasilkan pemisahan antara kation dan anion (elektrolisis) secara terus menerus disebut voltase dekomposisi (Kim, 1998).

2.2.2. Larutan Tanah

Sistem tanah tersusun oleh 3 fase : (1). Padat, (2). Cair, (3). Gas. Fase padat merupakan campuran mineral dan bahan organik dan membentuk jaringan kerangka tanah. Dalam jaringan ini terbungkus sistem ruang pori, yang ditempati bersama oleh fase cairan dan gas. Komposisi dan perilaku kimia fase cairan dan gas ditentukan oleh interaksinya dengan fase padat. Fase gas atau udara tanah merupakan campuran dari berbagai gas. Kebanyakan reaksi biologi di dalam tanah menggunakan oksigen dan menghasilkan karbondioksida. Fase cairan, yang juga disebut larutan tanah terdiri atas air dan zat-zat terlarut. Larutan tanah merupakan tempat berendam akar tanaman dan merupakan sumber perolehan unsur hara inorganik dan air bagi akar dan organisme lainnya (Kim, 1998).

2.2.3. Kimia Koloid Bahan Penyusun Tanah

2.2.3.1. Kimia Permukaan Lempung Tanah

Banyak reaksi kimia dari lempung tanah merupakan gejala permukaan, misalnya pertukaran kation.. Permukaan lempung dapat dibagi dalam 3 kategori yaitu :

1. Permukaan yang terbentuk terutama oleh rangkaian Si-O-Si dari tetrahedron silika,
2. Permukaan yang terbentuk oleh rangkaian O-Al-OH dari oktahedron alumina, dan

3. Permukaan yang terbentuk oleh $-\text{Si-OH}$ atau $-\text{Al-OH}$ dan senyawa-senyawa amorf.

Kategori permukaan pertama dicirikan oleh bidang-bidang permukaan yang terbentuk oleh atom-atom oksigen, yang dilapis bawah oleh atom-atom silikon dari tetrahedron. Tipe permukaan ini cocok disebut sebagai permukaan "siloksana dank has" untuk tipe lempung 2:1.

Tipe kedua, permukaan mineral lempung dicirikan oleh bidang gugus hidroksil (OH) yang terbuka, dilapis bawah oleh atom-atom Al, Fe, atau Mg pada pusat oktahedron dengan lempung tipe 1:1.

Tipe permukaan yang ketiga dibentuk oleh $-\text{Si-OH}$, yang disebut permukaan silanol dan $-\text{Al-OH}$ disebut permukaan aluminol. Tipe-tipe tersebut khas dijumpai pada tanah-tanah yang banyak mengandung gel silika amorf dan /atau alofan. Biasanya senyawa dengan permukaan silanol dan aluminol mempunyai luas permukaan yang besar, sedang semua gugus hidroksil dapat dengan mudah dicapai (Kim, 1998).

2.2.3.2. Asal Muatan Negatif dalam Mineral Lempung

Lempung tanah biasanya mengandung muatan elektronegatif, yang memungkinkan terjadinya reaksi pertukaran kation. Muatan ini merupakan hasil dari satu atau lebih dari beberapa reaksi yang berbeda. Dua sumber utama bagi asal usul muatan negatif dalam mineral lempung adalah sebagai berikut :

a. Substitusi Isomorfik

Proses ini dianggap sebagai sumber utama muatan negatif dalam lempung lapis 2:1. Sebagian dari silikon dalam lapisan tetrahedral dapat diganti oleh ion yang berukuran sama, yang biasanya adalah Al^{3+} . Dengan cara yang sama, sebagian dari Al dalam lembar oktahedral dapat diganti oleh Mg^{2+} , tanpa mengganggu struktur kristal. Proses pergantian semacam ini disebut substitusi isomorfik. Muatan negatif yang dihasilkan dianggap sebagai muatan permanen, karena tidak berubah dengan berubahnya pH.

b. Disosiasi dari Gugus Hidroksi yang Terbuka

Keberadaan gugus OH pada tepi kristal atau pada bidang yang terbuka, dapat juga menimbulkan muatan negatif. Khususnya pada pH tinggi, hidrogen dari hidroksil tersebut terurai sedikit dan permukaan lempung menjadi bermuatan negatif, yang berasal dari ion oksigen. Muatan negatif tipe ini disebut muatan berubah-ubah atau muatan tergantung pH dan tipe koloid. Jenis muatan ini sangat penting pada lempung tipe 1:1, lempung oksidasi besi aluminium dan koloid organik (Kim, 1998).

2.2.3.3. Lapisan Rangkap Listrik

Akibat adanya muatan elektronegatif, lempung dalam suspensi dapat menarik kation. Ion-ion bermuatan positif tidak secara seragam dalam seluruh medium dispersi. Mereka ditahan pada atau dekat

permukaan lempung. Sebagian kation tersebut bebas unruk dipertukarkan dengan kation yang lain. Dengan demikian muatan negatif pada permukaan lempung ditutupi oleh sekumpulan dari ion lawan yang bermuatan positif. Muatan negatif pada permukaan lempung beserta kumpulan ion lawan yang bermuatan positif disebut lapisan rangkap listrik. Lapisan pertama dari lapisan rangkap tersebut terbentuk dari muatan pada permukaan lempung. Secara teknis muatan tersebut berupa muatan titik yang terlokalisasi. Akan tetapi, kita biasanya menganggap muatan ini pada permukaan lempung.

Lapisan kedua dari lapisan rangkap tersebut berada dalam lapisan cair yang berdekatan dengan permukaan lempung. Ion lawan positif dalam lapisan ini tertarik pada permukaan lempung, tetapi pada waktu bersamaan mereka bebas menyebar secara merata dalam keseluruhan fase larutan (Kim, 1998).

2.2.4. Pertukaran Kation

Oleh karena koloid lempung menyanggah muatan negatif, kation-kation tertarik oleh partikel lempung. Kation-kation tersebut diikat secara elektrostatik pada permukaan lempung. Kebanyakan dari kation-kation ini bebas menyebar di dalam fase larutan dengan difusi. Kation-kation ini disebut kation terjerap. Istilah pertukaran kation lebih disukai dari pada istilah pertukaran basa karena reaksinya juga melibatkan ion H^+ . Ion hidrogen adalah suatu kation, tetapi bukan basa. Kation-kation yang

terjerap dapat dipertukarkan dengan kation lainnya. Proses penggantian ini disebut pertukaran kation.

2.2.5. Pertukaran Anion

Muatan positif dapat terjadi pada tepi-tepi mineral lempung. Muatan jenis ini biasanya mempunyai nilai pH di bawah titik isoelektrik atau muatan titik nol. Oleh karena itu, permukaan tepi yang patah dari suatu lembar oktahedra mempunyai lapisan rangkap bermuatan positif pada pH rendah. Lapisan rangkap ini makin bersifat positif dengan menurunnya pH.

2.2.6. Lempung Kaolinit

Mineral kaolinit adalah alumino-silikat terhidrasi dengan komposisi kimia umum $\text{Al}_2\text{O}_3:\text{SiO}_2:\text{H}_2\text{O} = 1:2:2$, atau $2 \text{SiO}_2 \cdot \text{Al}_2\text{O}_3 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ per sel unit. Seperti yang dinyatakan sebelumnya, secara struktural mineral lempung ini tergolong tipe filosilikat tipe 1:1.

Substitusi isomorfik hanya sedikit dan muatan permanen tiap sel satuan, jika tidak nol, sangat kecil. Akan tetapi akibat kehadiran gugus hidroksil yang terbuka, kaolinit mempunyai muatan negatif yang berubah-ubah, atau tergantung pH. Seperti yang dapat diperhatikan dari strukturnya, posisi dari gugus OH membuka kemungkinan untuk disosiasi H^+ , yang merupakan penyebab terbentuknya muatan berubah-ubah,

terutama bidang gugus hidroksil pada permukaan terbuka dari situs oktahedra. Kapasitas tukar kation sangat rendah dan berubah dengan pH.

Partikel kaolinit tidak mudah dihancurkan sehingga merupakan penyebab sifat-sifat plastisitas dan daya mengerut dan mengembang yang rendah. Luas permukaannya yang sempit membatasi kapasitas tukar kation. Luas permukaan spesifiknya adalah sekitar 7 sampai $30\text{m}^2/\text{g}$ (Kim, 1998).

2.3. KIMIA TANAH

Hampir 90% kandungan dalam tanah berisi bahan-bahan mineral. Kandungan mineral yang ada terbagi atas mineral primer dan mineral sekunder. Mineral primer berasal dari batuan induk, mengandung banyak pasir dan lanau, misalnya kuarsa dan mika. Mineral sekunder berada dalam fraksi liat. Elemen yang terkandung dalam mineral tanah berada dalam berbagai bentuk yang merupakan suatu keseimbangan kompleks. Hasil akhir kesetimbangan ini adalah garam-garam terlarut dan elemen-elemen yang teradsorpsi yang keberadaannya menyatakan keberadaan nutrisi tanah (Kim, 1998).

2.4. PENCEMARAN TANAH

Tidak jauh beda dengan udara dan air, tanah pun dapat mengalami pencemaran. Tanah mengalami pencemaran apabila ada bahan-bahan asing baik yang bersifat organik maupun anorganik berada di dalam

2.5. PENCEMARAN LOGAM BERAT dalam TANAH

Pencemaran logam berat dalam tanah erat kaitannya dengan pencemaran udara dan air. Partikel logam berat yang berterbangan di udara akan terbawa oleh air hujan yang membasahi tanah sehingga timbul pencemaran tanah. Derajat keasaman tanah adalah faktor utama dalam ketersediaan logam berat dalam tanah. Tanah yang asam akan menaikkan pembebasan logam berat dalam tanah. Naiknya ketersediaan logam berat dalam tanah dapat meningkatkan kandungan logam berat dalam tanah. Akumulasi logam berat dalam tanah tidak hanya tergantung pada kandungan dalam tanah tetapi juga tergantung pada unsur kimia tanah, jenis logam berat dan spesies tanaman.

Pencemaran yang dihasilkan dari logam berat sampai tingkat tertentu dapat mengganggu kesehatan manusia.

2.6. KHROMIUM (Cr)

2.6.1. Penyebaran, Sifat dan Penggunaan

Kata khromium berasal dari bahasa Yunani (*=Chroma*) yang berarti warna. Dalam bahan kimia, khromium dilambangkan dengan "Cr". Sebagai salah satu unsur logam berat, khromium mempunyai nomor atom (NA) 24 dan mempunyai berat atom (BA) 51.996. Logam Cr pertama kali ditemukan oleh *Vagueine* pada tahun 1797. Satu tahun setelah unsur ini ditemukan, diperoleh cara untuk mendapatkan logam Cr.

Logam Cr murni tidak pernah ditemukan di alam. Logam ini di alam ditemukan dalam bentuk persenyawaan padat atau mineral dengan unsur-unsur lain. Sebagai bahan mineral, Cr paling banyak ditemukan dalam bentuk "*Chromite*" (FeOCr_2O_3). Kadang-kadang pada batuan mineral *chromite* juga ditemukan logam-logam Mg (magnesium), Al (aluminium), dan senyawa SiO_2 (silikat). Logam-logam dan senyawa silikat tersebut dalam mineral *chromite* bukanlah merupakan penyusunan pada *chromite* melainkan berperan sebagai "pengotor" (*impurities*).

2.6.2. Cr dalam Lingkungan

Logam Cr dapat masuk ke dalam semua strata lingkungan. apakah itu pada strata perairan, tanah atau pun udara (lapisan atmosfer). Khromium yang masuk ke dalam strata lingkungan dapat datang dari bermacam-macam sumber. Tetapi sumber-sumber masukan logam Cr ke dalam strata lingkungan yang umum dan diduga paling banyak adalah dari kegiatan-kegiatan perindustrian, kegiatan rumah tangga dan dari pembakaran serta mobilisasi bahan bakar.

Sumber utama masuknya Cr ke lapisan udara dari suatu strata lingkungan adalah dari pembakaran dan mobilisasi batu bara dan minyak bumi. Dari pembakaran yang dilakukan terhadap batu bara akan dilepaskan Cr ke udara sebesar 10 ppm. Sedangkan dari pembakaran minyak bumi akan dilepaskan Cr ke udara sebesar 0.3 ppm. Keadaan ini dapat diartikan bahwa setiap tahunnya akan dilepas sebanyak 1.400 ton Cr

ke udara yang berasal dan proses pembakaran batu bara, dan sebanyak 50 ton Cr yang berasal dan proses pembakaran dengan menggunakan minyak bumi.

Khromium di dalam strata udara ditemukan dalam bentuk debu dan atau partikular-partikular. Debu-debu atau partikular-partikular Cr yang ada dalam strata lapisan udara tersebut akan dapat masuk ke dalam tubuh hewan dan manusia ketika berlangsungnya kegiatan respirasi (pernafasan). Partikel-partikel atau debu-debu Cr yang terhirup manusia lewat rongga hidung, mengikuti jalur-jalur respirasi sampai ke paru-paru untuk kemudian akan berikatan dengan darah di paru-paru sebelum dibawa darah ke seluruh tubuh (Palar,1994).

2.7. REMEDIASI TANAH

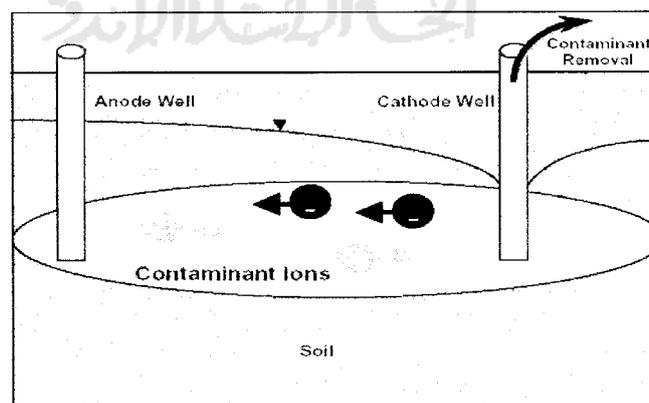
Remediasi berasal dari bahasa Inggris *remediation* yang berarti pemulihan (Echols, 1990). Remediasi tanah atau *soil remediation* adalah pemulihan tanah yang terkontaminasi oleh zat-zat pencemar seperti logam berat dan atau senyawa organik untuk mengembalikan fungsi tanah sehingga dapat dimanfaatkan kembali dan tidak menimbulkan masalah bagi lingkungan.

Menurut Evanko (1997), teknologi remediasi secara umum dapat dilakukan dengan isolasi, immobilisasi, reduksi toksisitas, pemisahan fisis dan ekstraksi. Teknologi secara ekstraksi untuk remediasi tanah antara

lain : *soil washing, phyrometallurgical, in situ soil flushing* dan *electrokinetic treatment*.

2.8. REMEDIASI ELEKTROKINETIK

Remediasi secara elektrokinetik merupakan teknologi pemulihan tanah terkontaminasi logam berat dan senyawa-senyawa organik melalui proses secara *in-situ* dengan menggunakan tegangan listrik rendah dan arus DC (*direct current*) pada potongan melintang area antara elektroda yang diletakkan pada tanah dengan susunan aliran terbuka. Tekanan aliran pada umumnya digolongkan dalam miliampere per sentimeter kuadrat (mA/cm^2) atau beda potensial tegangan listrik volt per sentimeter. Dengan penerapan teknologi tersebut diharapkan kontaminan logam berat dalam tanah dapat dipindahkan/digerakkan, dipadatkan/dipekatkan oleh elektroda serta diekstraksikan dari tanah, yang secara skematik dapat dilihat pada **Gambar 2.1** (Alshwabkeh, 2001).



Gambar 2.1. Prinsip Dasar Remediasi Elektrokinetik
Sumber : Alshwabkeh, 2001

Elektrokinetik merupakan penggunaan medan listrik pada media tanah agar air, ion-ion, molekul-molekul polar serta zat-zat pencemar di dalamnya dapat digerakkan/ berpindah.(Pamukcu, 1994).

Pada teknologi ini, elektroda-elektroda ditempatkan pada tanah secara vertikal maupun horizontal. Ketika arus DC digunakan pada elektroda, dihasilkan tanah yang terpengaruh medan listrik oleh katoda dan anoda. Penggunaan sistem tersebut pada tanah mempunyai beberapa efek/akibat yaitu : *electromigration*, *electroosmosis*, *electrolysis*, dan *electrophoresis*. *Electromigration*, yaitu pergerakan kation dan anion karena pengaruh sifat listrik yang ditimbulkan sistem tersebut pada tanah. Kation (ion bermuatan +) cenderung untuk berpindah ke arah katoda bermuatan negatif, dan anion (ion bermuatan -) berpindah ke arah anoda bermuatan positif. Pada penyelesaiannya, ion-ion yang dipekatkan/dipadatkan tersebut akan mendekati elektroda atau mengalami reaksi pada elektroda, dimana logam-logam pencemar tersebut naik ke arah elektroda atau melepaskan komponen berbentuk gas. *Electrolysis* merupakan reaksi kimia yang terjadi dengan medan listrik. Perubahan pH karena pengaruh arus merupakan reaksi elektrolisis pada elektroda. Terjadinya oksidasi air pada anoda dan menghasilkan ion-ion hidrogen (H^+). Ion-ion H^+ tersebut membangkitkan asam untuk berpindah menuju katoda. Sebaliknya, penurunan air terjadi pada katoda dan menghasilkan ion-ion *hidroxyl* (OH^-) yang kemudian berpindah sebagai dasar ke arah anoda (Acar dkk, 1990).

Transport pada ion-ion H^+ diperkirakan 2 kali lebih cepat daripada ion-ion OH^- . Dengan demikian, gerakan asam rata-rata lebih besar daripada basa. *Electroosmosis* adalah proses transport air dalam jumlah besar yang terus mengalir pada tanah di bawah pengaruh gradien listrik. *Electrophoresis* merupakan pergerakan partikel-partikel karena pengaruh medan listrik (Acar and Alshawabkeh, 1993).

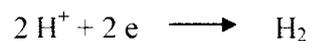
2.8.1. Reaksi-reaksi pada Katoda

Reaksi pada katoda adalah reduksi terhadap kation, jadi yang perlu diperhatikan adalah kation saja.

- a. Jika larutan mengandung ion-ion logam alkali, ion-ion logam alkali tanah, ion-ion Al^{3+} dan ion Mn^{2+} , maka ion-ion logam ini tidak dapat direduksi dari larutan. Yang mengalami reduksi adalah pelarut dan terbentuklah gas hydrogen (H_2) pada katoda.



- b. Jika larutan mengandung asam, maka ion H^+ dari asam akan direduksi menjadi gas hidrogen (H_2) pada katoda.



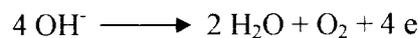
- c. Jika larutan mengandung ion-ion logam yang lain, maka ion-ion logam ini akan direduksi menjadi masing-masing logamnya dan logam yang terbentuk itu diendapkan pada permukaan batang katoda.



2.8.2. Reaksi-reaksi pada Anoda

Reaksi pada anoda adalah oksidasi terhadap anion. Jadi yang perlu diperhatikan adalah anion saja.

- a. Ion-ion halida (F^- , Cl^- , Br^- , I^-) akan dioksidasi menjadi halogen-halogen.
- b. Ion OH^- dari basa akan dioksidasi menjadi gas oksigen (O_2).



- c. Anion-anion yang lain (SO_4^{2-} , NO_3^- , dsb) tidak dapat dioksidasi dari larutan. Yang akan mengalami oksidasi adalah pelarut (air) dan terbentuklah gas oksigen (O_2) pada anoda (Setiono, 1990).



2.8.3. Tipe Lempung

Hasil yang didapatkan dari *bench-scale laboratory* dan percobaan skala lapangan mengindikasikan bahwa teknologi elektrokinetik ini dapat sukses diaplikasikan pada *clayey* (lempungan) sampai tanah *fine sandy* (pasiran halus). Hal ini menunjukkan bahwa tipe tanah bukan merupakan batasan yang signifikan. Bagaimanapun, kecepatan transport kontaminan dan efisiensinya tergantung pada tipe tanah dan variabel lingkungan. Tanah dengan aktifitas tinggi, seperti *illite*, *montmorillonite* dan *kaolinit* menunjukkan tingginya buffer asam/basa dan memerlukan asam berlebih dan perantara peningkat untuk *desorb* dan pelarutan kontaminan *sorbed* pada permukaan partikel tanah sebelum mereka dapat mentransportkan

keluar *subsurface* (bawah permukaan) dan *removal*. Teknologi ini dapat diaplikasikan untuk mengolah lapisan tanah *heterogenous* secara efektif (Alshwabkeh,1999).

Sistem air, partikel, elektrolit tanah lempung pada umumnya terdiri dari 3 zone berbeda : butiran partikel tanah liat dengan permukaan bermuatan negatif, pori-pori aliran dengan muatan positif berlebih dan pori-pori bebas aliran dengan jaringan muatan nol. Muatan jaringan negatif pada permukaan partikel lempung memerlukan suatu muatan positif berlebih (kation dapat ditukarkan) yang didistribusikan ke dalam zone cairan yang bersebelahan dengan permukaan tanah lempung membentuk difusi lapisan ganda (*double layer*). Kuantitas kation-kation yang dapat ditukarkan ini diperlukan muatan penyeimbang *deficiency* tanah liat yaitu dengan memasukkan kapasitas pertukaran kation dan dinyatakan dalam milliequivalents per 100 gram dari tanah lempung kering (Alshwabkeh, 2001).

2.8.4. Tipe Kontaminan dan Konsentrasi

Teknologi elektrokinetik ini dapat digunakan untuk menghilangkan logam berat, radionuklida dan organik. *Removal* organik *non polar* fase bebas dimungkinkan jika mereka berada sebagai gelembung kecil yang dapat dibawa oleh adveksi elektroosmosis. Kontaminan dalam bentuk koloid dapat juga dihilangkan dengan efek kombinasi *electroosmotic advection* dan *electroporetic migration*. Tingginya konsentrasi ion dalam

pori-pori akan menambah konduktivitas listrik tanah dan mengurangi efisiensi aliran elektroosmotik. Kuatnya aplikasi medan listrik harus dikurangi untuk mencegah konsumsi energi berlebih dan berlangsungnya pemanasan selama proses. Konsentrasi kontaminan berlebih bukan merupakan halangan untuk mengaplikasikan proses tersebut (Alshwabkeh, 1999).

2.8.5. Tingkatan Voltase dan Arus

Intensitas arus listrik yang digunakan sebagian besar studi ini adalah beberapa puluh mA/cm². Intensitas arus tinggi, dapat menjadikan lebih asam dan menambah laju transport untuk memfasilitasi proses *removal* kontaminan. Rapat arus (*current density*) berada dalam kisaran antara 1-10 A/m² telah didemonstrasikan lebih efisien. Bagaimanapun, pemilihan rapat arus dan kuat medan listrik tergantung pada sifat-sifat elektrokimia dari tanah yang akan diolah dan konduktivitas partikel listrik. Tingginya konduktivitas listrik tanah menunjukkan tingginya rapat arus yang dibutuhkan untuk mengatur kekuatan medan listrik yang dibutuhkan. Kuat medan listrik yang biasa digunakan kurang lebih 50 V/m untuk menunjukkan estimasi proses (Alshwabkeh, 1999).

2.8.6. Kimia Efluen

Kontaminan berada dalam bentuk kimia yang berbeda dalam *subsurface* dan tergantung pada kondisi lingkungan. Mereka dapat berupa

presipitasi padatan, padatan terlarut dalam pori-pori atau air tanah, *komplex sorbed* pada permukaan partikel tanah, dan atau jenis ikatan organik dalam tanah. Dalam perbedaan bentuk ini, hanya padatan terlarut dapat bergerak dan dihilangkan dengan ekstraksi elektrokinetik dan beberapa teknologi remediasi yang lain. Untuk meningkatkan kinerja proses dapat juga ditambahkan zat kimia spesifik untuk tanah yang spesifik pula, penambahan ini akan merubah karakteristik serapan pula, penambahan ini harus melalui uji laboratorium, karena penambahan yang salah akan mempersulit proses remediasi (Alshwabkeh, 1999).

2.8.7. Material, Konfigurasi dan Spasi Elektroda

a. Material Elektroda

Bahan kimia yang tidak bereaksi dan bahan yang bisa menghantarkan listrik seperti *grafit*, *coated titanium* atau *platinum* bisa digunakan sebagai anoda untuk menahan dissolusi elektroda dan berlangsungnya pengkaratan dalam kondisi asam.

b. Konfigurasi Elektroda

Konsentrasi elektroda memberikan perubahan solusi antara elektroda dan lingkungan bawah permukaan yang penting untuk ketepatan fungsi proses. Sebagian besar *bench-scale* dan skala besar laboratorium dan *pilot* skala lapangan pada studi remediasi elektrokinetik menggunakan konfigurasi satu dimensi (1D). Keefektifan dan efisiensi penggunaan remediasi elektrokinetik skala lapangan meliputi konfigurasi elektroda

yang optimal, pemakaian konfigurasi elektroda satu dimensi (1D), dua dimensi (2D), atau *aximetical*. Pembatasan pada penelitian ini pada pemakaian konfigurasi elektroda 2D.

Untuk konfigurasi elektroda 1D, plat elektroda dapat dipasang di lapangan dengan prosedur yang sama dengan instalasi sumbu aliran, dapat juga menggunakan batang elektroda yang dibariskan dan menancap pada tanah. Konfigurasi ini membangun titik-titik medan listrik yang *inactive* (mati). Konfigurasi elektroda 2D meliputi *triangular*, *square* dan *hexagonal*, perbedaan bentuk pada konfigurasi 1D dengan 2D dapat dilihat pada **Gambar 2.2**. Pada penelitian ini menggunakan bentuk susunan *hexagonal* yaitu sesuai dengan penelitian terdahulu dimana didapatkan bahwa konfigurasi elektroda 2D *hexagonal* lebih efisien untuk menurunkan kontaminan Cu dalam tanah dibandingkan dengan bentuk dan susunan *triangular* ataupun *square*. Dalam konfigurasi elektroda *hexagonal*, elektroda-elektroda membentuk lubang sarang lebah, berisi katoda yang dikelilingi enam anoda (Chan *and* Lynch, 2002).

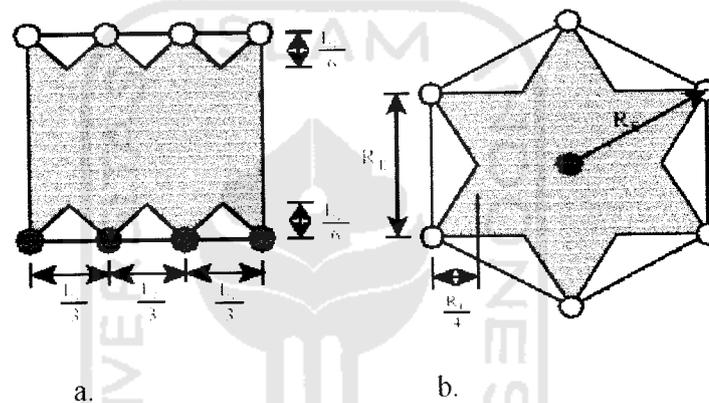
Konfigurasi *hexagonal* ini, katoda ditempatkan di tengah dan anoda ditempatkan pada batas pinggir untuk memaksimalkan penyebaran lingkungan asam yang dibangkitkan dengan anoda dan meminimalkan perluasan lingkungan basa yang dibangkitkan dengan katoda. Titik-titik *inactive* (mati) medan listrik dalam konfigurasi 2D tetap terbentuk, namun lebih kecil dibanding yang terbangun pada 1D yang berisi garis paralel anoda dan katoda. Dalam konfigurasi 1D, rapat arus (*current density*)

lokasinya bebas. Dalam konfigurasi 2D, rapat arus bertambah secara linear dengan jarak menuju katoda. Kuatnya medan listrik juga bertambah secara linear dengan jarak menuju katoda.

c. Jarak Elektroda

Faktor yang mempengaruhi pemilihan spasi elektroda meliputi :

1. Biaya
2. Waktu yang diperlukan (Alshawabkeh,1999).



Gambar 2.2. Konfigurasi elektroda : a). 1-D b). 2-D *hexagonal*
Sumber : Alshawabkeh, 2001

2.9. LANDASAN TEORI

Tanah merupakan tempat penyimpanan semua unsur hara yang diperlukan tanaman dan juga mengandung permukaan-permukaan aktif yang menentukan konsentrasi ion di dalam tanah. Reaksi-reaksi kimia yang terjadi di dalam tanah, pada tingkat-tingkat tertentu memiliki kemiripan dengan reaksi di dalam sel elektrokimia, seperti gerak ion, perubahan oksidasi reduksi, ketersediaan unsur serta penyerapannya.

Mineral-mineral lempung terjadi dalam partikel-partikel berukuran kecil dan terbuat dari lapisan sel satuan berulang. Lempung mengandung muatan elektronegatif, yang merupakan hasil dari satu atau lebih beberapa reaksi yang berbeda. Akibat dari muatan tersebut lempung dapat menarik kation yang tidak teragih secara seragam dalam seluruh medium dispersi. Mereka ditahan pada atau dekat permukaan lempung. Sebagian kation tersebut bebas untuk dipertukarkan dengan kation yang lain, dengan demikian muatan negatif pada permukaan lempung ditutupi oleh sekumpulan ekuivalen dari ion lawan bermuatan positif. Muatan negatif pada permukaan lempung beserta kumpulan ion lawan yang bermuatan positif disebut lapisan rangkap listrik.

Elektrokinetik menggambarkan pengangkutan muatan secara fisik-kimia, aktivitas muatan partikel dan efek tegangan elektrik yang diterapkan dalam formasi dan pengangkutan partikel pada media berpori. Kehadiran difusi lapisan ganda memberi kenaikan pada beberapa gejala elektrokinetik dalam tanah, yang mana dapat diakibatkan oleh pergerakan lapisan ganda pada tahap yang berbeda satu sama lain yang mencakup pengangkutan muatan atau pergerakan lapisan ganda pada tahap yang berbeda satu sama lain dalam kaitannya dengan penggunaan medan elektrik. Gejala elektrokinetik meliputi elektroosmosis, elektrophoresis, arus potensial dan potensial pengendapan.

Prinsip remediasi tanah secara elektrokinetik menggunakan arus DC intensitas rendah melalui tanah yang terkontaminasi dengan dua atau

lebih elektroda. Dimana arus listrik yang dialirkan melalui katoda yang dihubungkan ke dalam tanah untuk membangun medan listrik menyebabkan transport kontaminan dengan elektroosmosis dan migrasi ion. Pergerakan elektroosmosis merupakan pergerakan cairan melalui pori-pori karena pengaruh medan listrik. Pergerakan osmosis dalam tanah tersebut biasanya dari anoda menuju katoda, dimana saat migrasi ion efektif akan memisahkan transport anion dan kation yang menuju anoda dan katoda secara berturut-turut.

2.10. HIPOTESIS

Berdasarkan tujuan dan tinjauan pustaka, maka hipotesis penelitian ini adalah sebagai berikut :

1. Elektrokinetik konfigurasi 2D *hexagonal* dapat digunakan untuk meremediasi tanah terkontaminasi logam berat Cr.
2. Remediasi elektrokinetik dengan konfigurasi elektroda 2D *hexagonal* efisien untuk menurunkan konsentrasi logam berat Cr dalam tanah.