

BAB II TINJAUAN PUSTAKA

2.1. Umum

Dalam suatu pekerjaan konstruksi, tanah mendapat posisi yang sangat penting. Kebanyakan problem tanah dalam bidang keteknikan adalah tanah lempung yang merupakan tanah kohesif. Tanah kohesif ini didefinisikan sebagai kumpulan dari partikel mineral yang mempunyai tingkat sensitifitas tinggi terhadap perubahan kadar air sehingga perilaku tanah sangat tergantung pada komposisi mineral, unsur kimia, teksture dan partikel, serta pengaruh lingkungan sekitarnya.

Das (1994), menerangkan bahwa tanah lempung merupakan tanah dengan ukuran mikronis sampai dengan sub-mikronis yang dari pelapukan unsur-unsur kimiawi penyusun batuan. Tanah lempung sangat keras dalam keadaan kering dan bersifat plastis pada kadar air sedang. Pada kadar air lebih tinggi lempung bersifat lengket (kohesif) dan sangat lunak.

Sifat-sifat yang dimiliki tanah lempung menurut Hardiyatmo (1992) adalah sebagai berikut:

- Ukuran butir halus, kurang dari 0,002mm
- Permeabilitas rendah
- Kenaikan air kapiler tinggi
- Bersifat sangat kohesif
- Kadar kembang susut yang tinggi
- Proses konsolidasi lambat

Air sangat mempengaruhi sifat tanah lempung, karena butiran dari tanah lempung sangat halus sehingga luas permukaan spesifikasinya menjadi lebih besar. Dalam suatu partikel lempung yang ideal, muatan negatif dalam keadaan seimbang, selanjutnya terjadi substitusi isomorf dan kontinuitas perpecahan susunannya, sehingga terjadi muatan negatif pada permukaan partikel kristal lempung. Salah satu untuk mengimbangi muatan negatif, partikel tanah lempung menarik muatan positif (kation) dari garam yang ada dalam air porinya. Hal ini disebut pertukaran ion-ion.

Pertemuan antara molekul air dan partikel lempung akan menimbulkan lekatan yang sangat kuat, sebab air akan tertarik secara elektrik dan air akan berada disekitar partikel

lempung yang disebut air lapisan ganda, sedangkan air yang berada pada lapisan dalam disebut air resapan. Lapisan air inilah yang menimbulkan gaya tarik menarik antar partikel lempung yang disebut *unhindered moisture film*.

Semakin luas permukaan spesifik tanah lempung, air yang tertarik secara elektrik disekitar partikel lempung yang disebut air lapisan ganda jumlahnya akan semakin besar. Air lapisan ganda inilah yang mengakibatkan sifat plastis tanah lempung. Konsentrasi air resapan dalam mineral lempung memberi bentuk dasar dari susunan tanahnya, tiap partikelnya terikat satu sama lain lewat lapisan air serapannya. Selain itu, jarak antar partikel juga akan mempengaruhi hubungan tarik menarik atau tolak menolak antar partikel tanah lempung yang diakibatkan oleh pengaruh ikatan hidrogen, gaya Van Der Waals serta semacam ikatan kimia organiknya. Bertambahnya jarak akan mengurangi gaya antar partikel.

Jadi jelaslah bahwa ikatan antara partikel tanah yang disusun oleh mineral lempung akan sangat besar dipengaruhi oleh besarnya jaringan muatan negatif pada mineral, tipe, konsentrasi dan distribusi kation-kation yang berfungsi untuk mengimbangi muatannya.

2.2. Pemanfaatan Tanah Lempung di Bidang Pengairan

Tanah lempung dalam bidang konstruksi khususnya bidang pengairan di Indonesia sangat luas pemanfaatannya, yang paling menonjol adalah penggunaan tanah lempung sebagai inti bendungan. Inti bendungan adalah lapisan yang berfungsi untuk memperkecil rembesan air yang melalui tubuh bendungan pada bendungan tipe urugan, yang pada umumnya menggunakan tanah lempung.

Indonesia mulai menggunakan bendungan sejak akhir abad ke-19. Sejak tahun 1951-an Indonesia mulai melanjutkan pembangunan bendungan besar dimana kebanyakan merupakan bendungan urugan batu (rockfill) dan bendungan urugan tanah (earthfill). Hingga saat ini masih banyak dibangun bendungan tipe urugan batu dan tipe urugan tanah di antaranya adalah karena alasan-alasan berikut :

1. Bendungan tipe urugan bersifat “fleksibel”, sehingga sesuai di bangun di daerah (zone) gempa seperti di Indonesia.

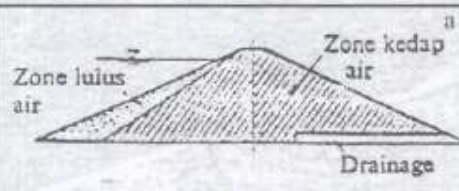
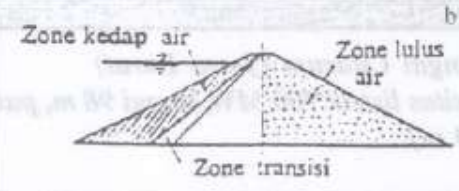

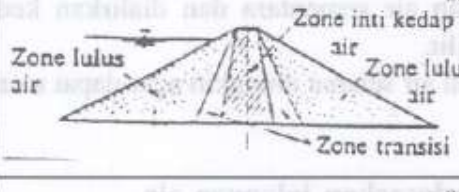
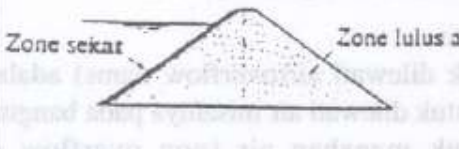
2. Bendungan jenis lain, misalnya bendungan beton (concrete arch) memerlukan fondasi dan bahkan abutment yang kuat, sehingga memerlukan lokasi tertentu yang memenuhi syarat untuk pembangunannya.

Di Indonesia, dari semua bendungan tipe urugan, kira-kira 85% di antaranya merupakan urugan tanah homogen dan zonal, 15% sisanya merupakan urugan batu. Ini dikarenakan ketersediaan dan persebaran tanah lempung yang cukup merata dan sangat luas di wilayah Indonesia, oleh karena itu bahan tanah lempung masih dipertahankan penggunaannya sebagai bahan inti kedap air bendungan tipe urugan atau untuk bangunan air lainnya. Menurut Sosrodarsono (1989), Bendungan urugan merupakan suatu bendungan yang dibangun dengan cara menimbun bahan-bahan seperti batu, kerikil, pasir, dan tanah pada komposisi tertentu dengan fungsi sebagai pengempang atau pengangkat permukaan air yang terdapat dalam waduk. Bendungan urugan tanah memiliki beberapa keuntungan antara lain bahan pembuatannya selalu tersedia disekitar bendungan, membutuhkan biaya kecil dan waktu yang cepat, dan pembangunannya dapat dilakukan pada semua kondisi geologi dan geografi yang ada.

Berdasarkan penempatan serta susunan bahan yang membentuk tubuh bendungan, maka bendungan urugan dapat digolongkan menjadi 3 jenis utama, yaitu :

- Bendungan urugan homogen
- Bendungan urugan zonal
- Bendungan urugan bersekat

Seperti yang ditampilkan dalam Gambar 2.1. dibawah ini.

Type :	Skema Umum	Keterangan
Bendungan Homogen		Apabila 80% dari seluruh bahan pembentuk tubuh bendungan terdiri dari bahan yang bergradasi hampir sama.
Bendungan Zonal	Bendungan Tirai 	Apabila bahan pembentuk tubuh bendungan terdiri dari bahan yang lulus air, tetapi dilengkapi dengan tirai kedap air di udiknya.
	Bendungan Inti miring 	Apabila bahan pembentuk tubuh bendungan terdiri dari bahan yang lulus air, tetapi dilengkapi dengan inti kedap air yang berkedudukan miring ke hilir.
	Bendungan Inti vertikal 	Apabila bahan pembentuk tubuh bendungan terdiri dari bahan yang lulus air, tetapi dilengkapi dengan inti kedap air yang berkedudukan vertikal.
Bendungan Sekat		Apabila bahan pembentuk tubuh bendungan terdiri dari bahan yang lulus air, tetapi dilengkapi dengan dinding tidak lulus air di lereng udiknya, yang biasanya terbuat dari lembaran baja tahan karat, lembaran beton bertulang, aspal beton, lembaran plastik, dll. nya.

Gambar 2.1. Klasifikasi Umum Bendungan Urugan

Bahan bendungan urugan secara garis besarnya dibedakan menjadi 2 (dua) golongan, yaitu :

1. Bahan yang fungsi utamanya sebagai penyangga tubuh bendungan yaitu berupa bahan yang lulus air, seperti pasir, kerikil dan batu.
2. Bahan yang fungsi utamanya sebagai pencegah rembesan air yang berlebihan dari waduk yaitu berupa bahan yang kedap air yang umumnya adalah bahan tanah lempung.

Pada umumnya bahan-bahan yang lulus air tidak terlalu sensitif terhadap tingkat kadar air yang dikandungnya, sehingga karakteristik mekaniknya tidak banyak berubah. Sedangkan bahan yang kedap air seperti tanah lempung sangat sensitif terhadap perubahan

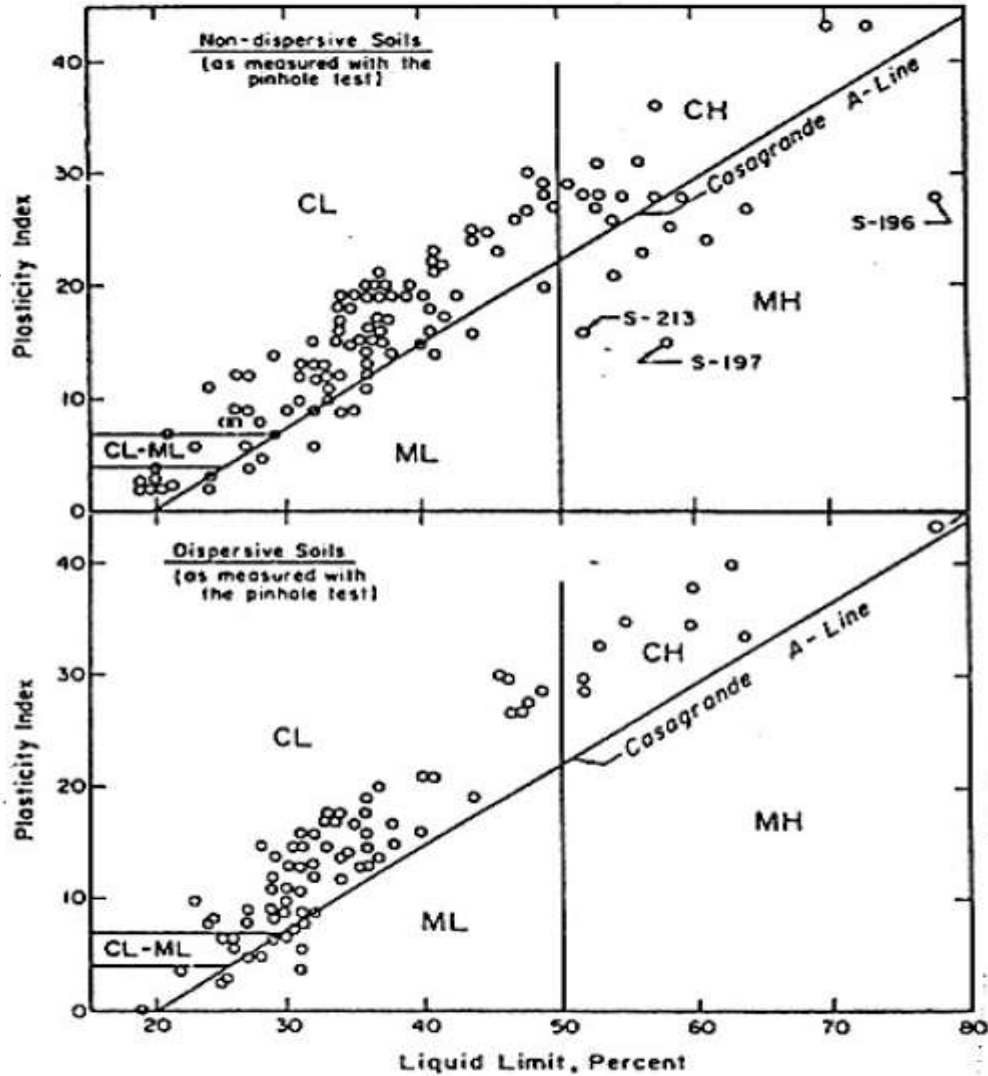
tingkat kadar air yang terkandung di dalamnya. Tanah lempung yang terdiri dari butiran-butiran halus selain mempunyai kelebihan rapat air mempunyai beberapa kelemahan yang menyebabkan keterbatasan di dalam penggunaannya, antara lain kuat geser yang kecil, kembang susut yang tinggi, dan juga sifat dispersif.

2.3. Definisi Tanah Dispersif

Tanah yang bersifat dispersif adalah tanah yang sangat mudah tererosi bahkan pada kondisi air yang diam, dan tidak seperti tanah pada umumnya yang akan tererosi oleh air yang mengalir dengan kecepatan tertentu. Hal ini terjadi sebab air pori tanah dispersif mengandung larutan sodium dalam kadar yang tinggi. Dengan tingginya larutan sodium di dalam air porinya, maka mineral lempung di dalamnya akan diselimuti oleh lapisan air dua kali lebih tebal dibandingkan dengan lempung pada umumnya. Kondisi ini menyebabkan terjadinya tegangan tolak antar partikel lempung sehingga apabila terendam air maka partikel lempung tersebut akan lepas dan larut di dalam air (Djarwadi, 2007 : 11). Tanah lempung dispersif mudah tererosi baik di permukaan maupun di dalam timbunan tanah walaupun indeks plastisitas tinggi dan dapat dilewati oleh aliran air dengan kecepatan rendah. Identifikasi lapangan biasanya dapat terlihat berupa banyaknya rongga-rongga dan alur-alur yang dalam akibat erosi.

McElroy (1987) menyampaikan bahwa tanah dispersif biasanya mempunyai partikel dengan diameter $> 0,005$ mm lebih dari 12%. Ryker (1977) menyampaikan bahwa tanah dispersif mempunyai indeks plastisitas > 4 . Sherard et.al. , (1976b) menyampaikan hasil uji batas-batas Atterberg terhadap 115 contoh tanah dispersif dan 80 contoh tanah non-dispersif seperti terlihat pada Gambar 2.1. Hasil uji menunjukkan bahwa tanah lanau dengan plastisitas rendah (ML) sampai tinggi (MH) umumnya adalah tanah non-dispersif, sedangkan pada tanah lempung dengan plastisitas rendah (CL) sampai tinggi (CH) terdapat kemungkinan adanya tanah dispersif.

Masalah dari tanah dispersif adalah daya tahan yang sangat rendah terhadap erosi, baik erosi permukaan maupun erosi internal di dalam tanah. Sehingga meskipun pada umumnya mempunyai sifat kedap air, apabila terjadi erosi permukaan oleh air dan terjadi retak pada permukaannya, maka erosi akan berkembang di dalam tanah dan dapat menyebabkan terjadinya proses *piping* di dalam tanah.



Gambar 2.2. Posisi tanah dispersif dan non-dispersif pada tabel plastisitas
 Sumber : Sherard, et.al., 1976

Pada gambar 2.2 menunjukkan bahwa uji batas-batas Atterberg tidak dapat mengenali sifat dispersivitas tanah. Tanah dispersif biasanya juga bersifat kedap air dan mempunyai koefisien permeabilitas yang kecil. Hal ini yang menyebabkan secara fisik tanah yang bersifat dispersif tidak dapat dibedakan dengan tanah lainnya.

Tanah yang bersifat dispersif umumnya mengandung mineral lempung yang aktif seperti *montmorillonite* $(1/2Ca,Na)(Al,Mg,Fe)_4(Si,Al)_8O_{20}(OH)_4.n.H_2O$, *illite* $(K,Al)_2Al_2Si_4O_{10}(OH)_2$ dan *smectite* $(Al)_2Si_4O_{10}(OH)_2$ dalam jumlah tertentu yang menyebabkan mudah retak pada saat terjadi proses pengurangan kadar air.

Beberapa sifat penting tanah lempung dispersif adalah sebagai berikut :

- a. Mudah tergerus bila dibandingkan dengan tanah tak berkolesi walaupun mempunyai plastis indeks yang tinggi.
- b. Biasanya tergerus oleh air. Prosesnya disebut dispersi atau defokulasi. Gejala ini timbul bila gaya “repulsif” (*electrical surface forces*) antara partikel-partikel lempung bersifat tolak-menolak sehingga bila ada aliran air, maka ikatan antara partikel lempung lepas.
- c. Besar atau kecil gaya repulsif ditentukan oleh jumlah relatif kandungan kation sodium dibandingkan dengan kation lainnya (*calcium* dan *magnesium*). Sodium biasanya meningkatkan ketebalan “*diffused double water layer* “ (jarak antara partikel lempung) sehingga mengurangi gaya tarik menarik antara partikel lempung.
- d. Faktor lain yang dapat mempengaruhi gaya repulsive adalah kadar garam yang terkandung dalam air sendiri (air waduk, saluran, hujan). Makin rendah kadar garamnya makin besar kemungkinan tanah terdispersif.

2.4. Masalah Akibat Tanah Dispersif Pada Tanah Asli

Keberadaan unsur sodium pada lempung yang menjadi penyebab terjadinya erosi pada tanah sudah diketahui sejak tahun 1930-an, seperti dilaporkan oleh Lutz (1934), Volk (1937) serta Fletcher dan Carroll (1948). Tanah tersebut kemudian disebut dengan tanah dispersif.

Ketika terjadi kontak antara tanah dispersif dengan air, fraksi tanah liat berperilaku seperti partikel tanah berbutir tunggal dengan daya tarik elektrokimia yang minim dan tidak menyatu dengan partikel tanah lainnya. Gaya tolak menolak antar partikel (*Electrical surfaces forces*) jauh lebih besar daripada gaya tarik menarik partikel-partikel tanah tersebut (gaya tarik menarik *Van der Waals*) dan dengan demikian ketika air mengalir, seperti pada celah-celah di lereng sungai, partikel-partikel tanah tersebut terpisah dan terbawa oleh air dan terjadi erosi atau bahkan longsor. Gaya yang merusak ini, tergantung pada ketebalan lapisan ganda yang meningkat dengan menurunkan konsentrasi atau valensi ion yang diserap, atau dengan meningkatkan konstanta dielektrik. Namun gaya tarik menarik antar partikel tidak termasuk dalam faktor-faktor ini. Dispersifitas tanah sebagian besar merupakan hasil dari konsentrasi ion natrium dalam struktur tanah, namun analisis kimia dan mineralogi yang dilakukan di Asian Institute of Technology telah

mengungkapkan bahwa tanpa mineral Montmorillonite, dispersi tidak terjadi walaupun terdapat kadar natrium yang tinggi pada air pori, sehingga dispersivitas sepertinya merupakan reaksi dari natrium dengan montmorillonit ketimbang keberadaan Na^+ pada air pori.

Perubahan dalam cairan pori tanah disertai dengan perubahan struktur mikro tanah yang mempengaruhi permeabilitas tanah. Umumnya tanah dispersif memiliki permeabilitas yang sangat rendah, oleh karena itu saat terdapat aliran air, kecepatannya tidak cukup untuk memindahkan partikel-partikel tanah, namun ketika terjadi crack atau retakan yang menyebabkan celah atau ruang terbuka, maka partikel tanah akan menjadi suspensi dan mudah terbawa oleh air dan menyebabkan retakan yang lebih besar. Gambar 2.2 merupakan salah satu contoh erosi pada tanggul akibat tanah dispersif. Masalah tanah dispersif sering ditemui dalam proyek-proyek, baik geoteknik dan geoenvironmental. Umumnya penggantian tanah dianggap sebagai solusinya tetapi sebagian besar proyek-proyek itu menjadi lebih mahal atau sulit. Oleh karena itu solusi alternatif seperti perlakuan variasi kimia biasanya diterapkan di sebagian besar proyek. Zat tambahan yang umum digunakan adalah kapur, gipsum, tawas dan debu terbang, sehingga stabilisasi tanah dispersif lebih merupakan proses fisio-kimia. (Bhuvaneshwari, S. and Soundara, B., 2007)



Gambar 2.3. Erosi pada tanggul akibat tanah dispersif
Sumber : Bhuvaneshwari, S. and Soundara, B., 2007

Pada gambar 2.3 menunjukkan bahwa pada tanggul terlihat struktur tanah dispersif yang menyebabkan terjadi erosi. Struktur tanah dispersif dapat terlihat cukup jelas di

lapangan pada kondisi saat terjadi erosi pada tanah. Kasus lainnya pada tanah asli dapat dilihat pada beberapa peristiwa alami misalnya longsor pada tebing seperti gambar 2.4.



Gambar 2.4. Longsor pada tebing akibat tanah dispersif.
Sumber : Hardie, 2009a

2.5. Identifikasi Tanah Dispersif di Lapangan

Tanah dispersif dapat dengan mudah diidentifikasi oleh pola retakan atau lubang yang terbentuk pada tanah akibat hujan atau limpasan dengan elektrolit rendah. Kehadiran 'lubang cacing' atau pola retakan yang khas, dianggap sebagai indikator tanah dispersif (Gambar 2.4) dan dapat hampir selalu dilihat pada dinding samping rongga piping. Dimana tanah lapisan atas yang telah dipindahkan oleh erosi atau penggalian, *pitting* dan *pocketing* dapat terjadi pada tanah yang terkena hujan (Gambar 2.5).



Gambar 2.5. 'lubang cacing' atau pola retakan pada tanah dispersif.
Sumber : Hardie, 2009b



Gambar 2.5. *Pitting* dan *pocketing* pada tanah dispersif.
Sumber : Hardie, 2009b

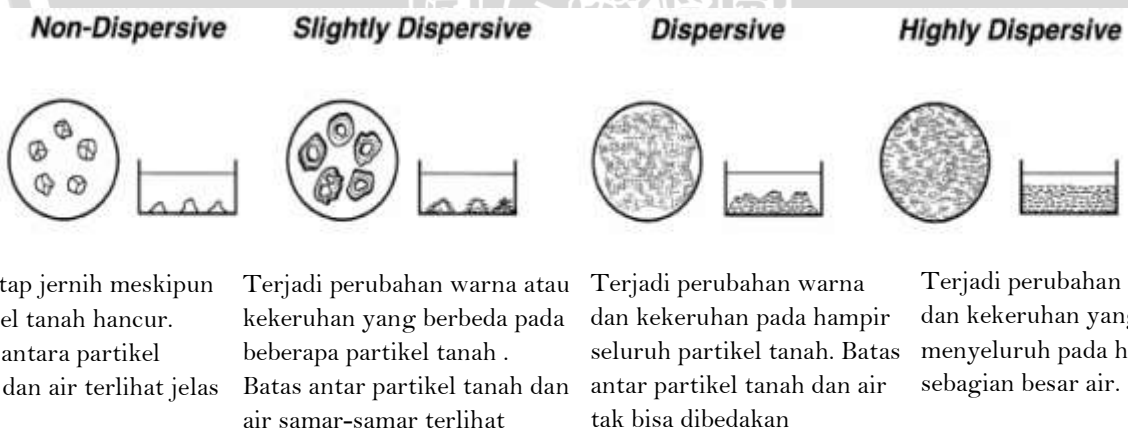
Uji lapangan untuk tanah dispersif dapat dilakukan dengan mengamati perilaku agregat yang telah dikeringkan dalam air suling atau air hujan. Analisis ini merupakan penyederhanaan dari Crumb test (Emerson 2002).

- 1) Kumpulkan agregat tanah (1-2 cm diameter) dari masing-masing lapisan dalam profil tanah.
- 2) Jika lembab, keringkan agregat di bawah sinar matahari selama beberapa jam sampai kering.

- 3) Tempatkan agregat dalam tabung kaca atau cawan yang berisi air suling. Mungkin akan lebih mudah bila cawan diletakkan pada kertas hitam atau permukaan yang gelap.
- 4) Biarkan agregat dalam air tanpa getaran atau gangguan selama 2 jam.
- 5) Amati dan catat proses perubahan yang terjadi disekitar agregat apabila terdapat selaput tipis



Gambar 2.7. Pengamatan tanah dispersif dilapangan.
Sumber : Hardie, 2009a



Gambar 2.8. Struktur tanah dispersif pada berbagai kondisi .
Sumber : Hardie, 2009a

Perhatian: Agregat tidak akan terdispersi seperti seharusnya jika belum cukup kering. Sementara kehadiran selaput tipis menunjukkan adanya dispersi, tidak adanya selaput tipis tidak selalu berarti bahwa tanah tersebut adalah tanah non dispersif. Beberapa tanah hanya

akan terdispersi setelah mereka terganggu atau remoulded. Pengujian lebih lanjut menggunakan prosedur standar mungkin diperlukan.

2.6. Identifikasi Tanah Dispersif di Laboratorium

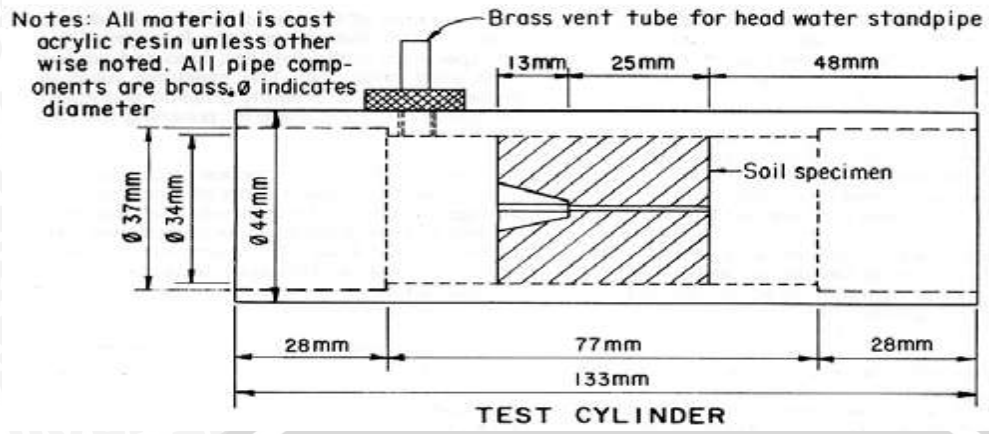
Knodel (1991) menyatakan bahwa sifat *dispersive* suatu tanah dapat diketahui dengan 5 jenis uji yaitu:

1. Uji *pinhole* (*pinhole test*) dengan cara pelaksanaan seperti dalam standard ASTM D 4647-93 atau USBR 5410-89
2. Uji *crumb* (*crumb test*) dengan cara pelaksanaan seperti dalam standard ASTM D 6572-00 atau USBR 5400-89
3. Uji dobel hidrometer (*double hydrometer test*) dengan cara pelaksanaan seperti dalam standard ASTM D 4221-99 atau USBR 5405-89.
4. Uji kimiawi (*chemical test*) dengan cara pelaksanaan seperti dalam Handbook 60 dari USDA (Richard, 1954).
5. Uji ESP (Exchangeable Sodium Percentage)

Jenis uji dispersivitas tanah 1 sampai dengan 4 biasa digunakan di Amerika Serikat, sedangkan uji 5 biasa digunakan di Australia, dan Afrika Selatan, seperti dilaporkan oleh Aichison dan Wood (1965), Murley dan Reilly (1977), Eagles (1978), dan Elges (1985).

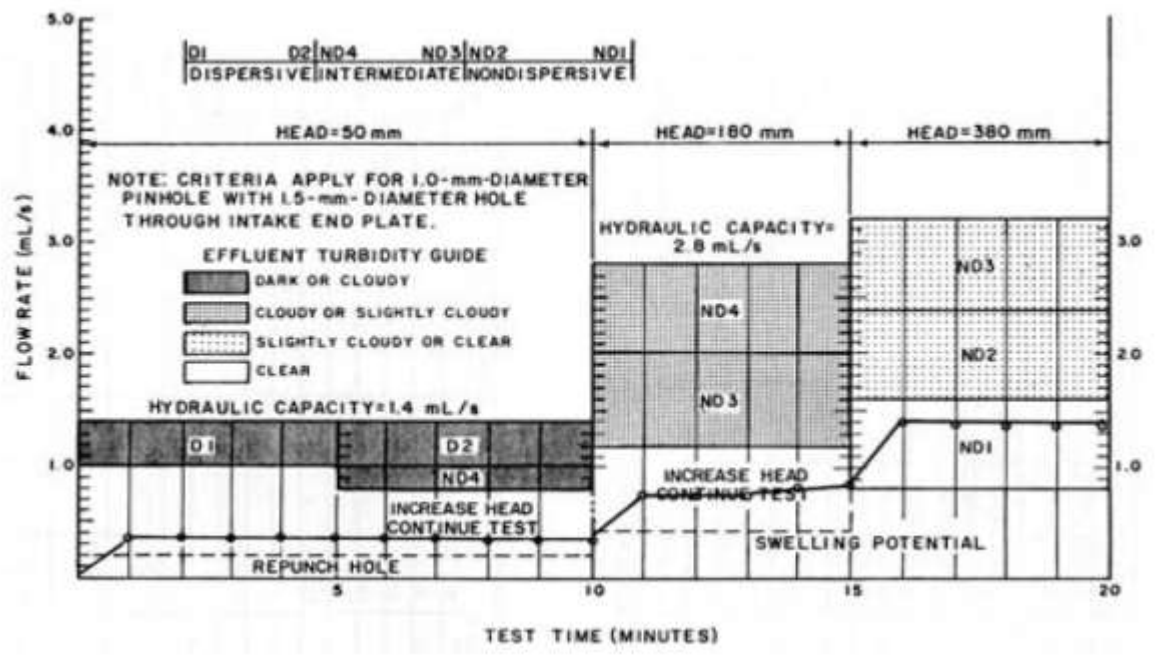
2.6.1. *Pinhole Test*

Sherard dkk, (1976a) menyampaikan bahwa uji *pinhole* yang dikembangkan pada tahun 1973 untuk mengukur tingkat *dispersive* suatu tanah dengan cara mengukur volume larutan koloidal hasil erosi oleh air yang dialirkan melalui tanah yang diuji. Skema alat uji *pinhole* dapat dilihat pada Gambar 2.8.



Gambar 2.9. Skema alat uji *pinhole*
 Sumber : Acciardi, 1985

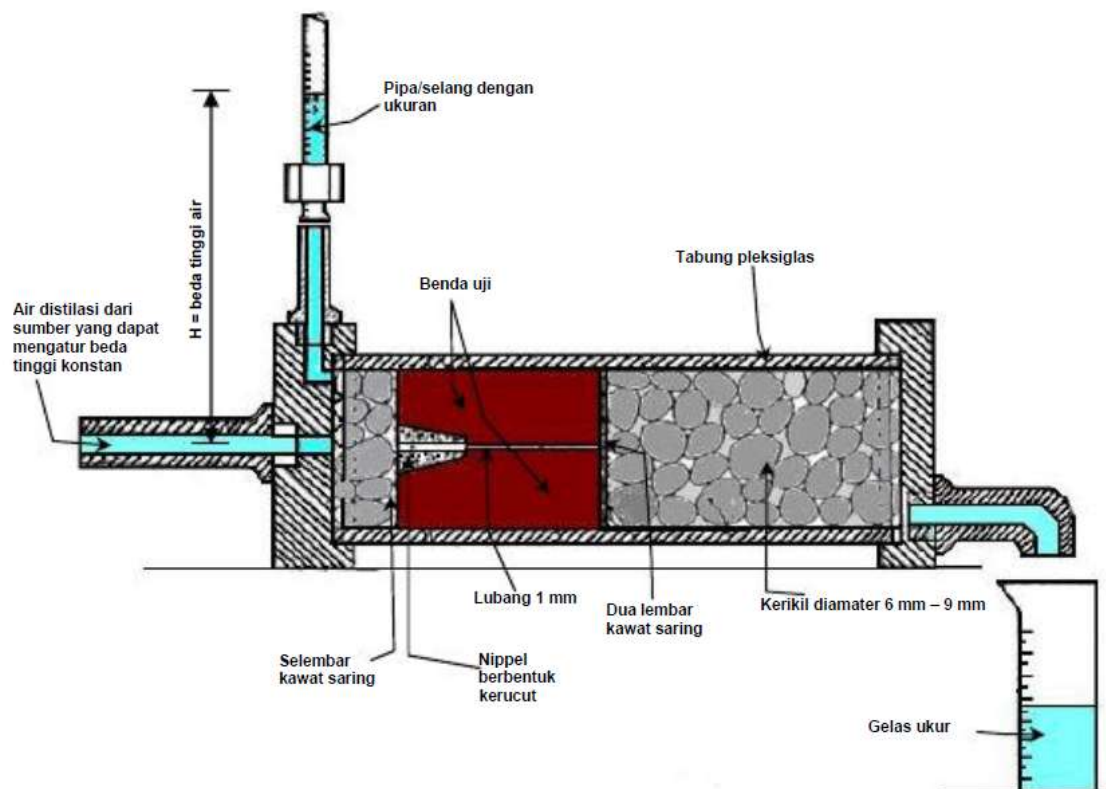
Seperti terlihat pada Gambar 2.10, contoh tanah pada kadar air asli, dan lolos saringan no.10 (diameter 2 mm), dicetak dengan bentuk silinder dengan diameter 34 mm dan tinggi 38 mm, bagian tengah benda uji diberi lubang dengan diameter 1 mm. Air kemudian dialirkan melewati lubang tersebut dengan tinggi tekanan masing-masing 50 mm, 180 mm dan 380 mm dengan interval waktu tertentu. Air yang mengalir melewati lubang tersebut dalam interval waktu tertentu ditampung dan diukur volumenya. Untuk mengetahui tingkat dispersivitas tanah yang diuji, hasil pengamatan volume air yang lewat dalam satuan waktu (*flow rate*) diplotkan pada grafik seperti terlihat pada Gambar 2.9.



Gambar 2.10. Grafik tingkat dispersivitas tanah dari uji *pinhole*
 Sumber : Acciardi, 1985

Pada pengujian dispersivitas ini, ada beberapa standar uji diantaranya adalah berdasarkan SNI 3405 : 2011 dan ASTM D 4647. Namun dalam penelitian ini, pengujian dilakukan berdasarkan Standar Nasional Indonesia (SNI 3405 : 2011). Standar ini menetapkan cara uji sifat dispersive tanah lempung dengan alat pinhole, untuk mengetahui sifat dispersive tanah yang di uji. Sifat dispersif ini dapat diketahui dari kekeruhan air dengan melakukan pengujian berdasarkan beda tinggi air, besarnya debit aliran air, dan diameter lubang pinhole yang digunakan.

Skema alat *pinhole* berdasarkan SNI 3405 : 2011,dapat dilihat pada gambar 2.10 berikut.



Gambar 2.11. Skema Alat *Pinhole*

Sumber : SNI 3405, 2011

2.6.2. *Crumb Test*

Uji *crumb* (*crumb test*) pertama kali disampaikan oleh Emerson (1967) dengan mengembangkan prosedur sederhana untuk identifikasi tanah dispersif di lapangan dan juga dapat dilakukan di laboratorium. Benda uji berupa kubus dengan sisi 15 mm dari contoh tanah pada kondisi kadar air lapangan atau dimodelkan di laboratorium. Benda uji dimasukkan kedalam bejana berisi air destilasi sebanyak 250 ml, dan ditunggu perubahan

yang terjadi karena reaksi dengan air. Uji ini bersifat kualitatif dengan membandingkan pola keruntuhan benda uji pada interval waktu tertentu dengan pola standard keruntuhan.

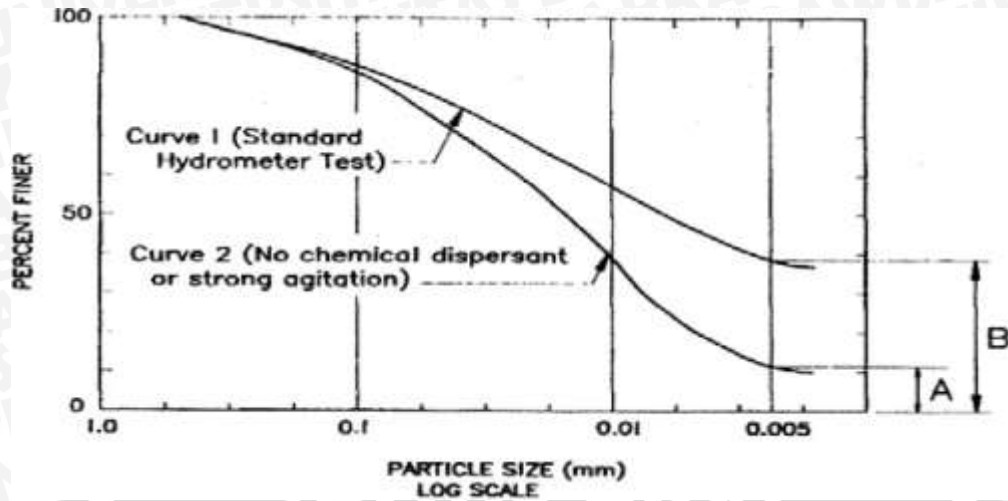
Tingkat dispersivitas tanah dalam uji *crumb* digolongkan dalam 4 tingkat yaitu:

- ✚ *Grade 1*, Benda uji luruh atau hancur, tetapi tidak menyebabkan air keruh. (*non-dispersive*)
- ✚ *Grade 2*, Benda uji luruh atau hancur, dan menimbulkan air sedikit keruh disekitar benda uji (*intermediate-dispersive*).
- ✚ *Grade 3*, Benda uji luruh atau hancur, dan menimbulkan air keruh sampai dengan radius 10 mm disekitar benda uji (*intermediate-dispersive*).
- ✚ *Grade 4*, Benda uji luruh atau hancur, dan menimbulkan air keruh pada seluruh dasar bejana (*dispersive*).

Di Amerika, sejak tahun 1971 *Soil Conservation Service (SCS)* telah menggunakan uji *crumb* sebagai uji rutin pada penyelidikan tanah untuk bahan timbunan bendungan dan tanggul banjir. Hasil evaluasi Sherard dkk (1976b) berdasarkan hasil penelitiannya menyampaikan bahwa apabila hasil uji *crumb* menunjukkan tanah *dispersive*, hasil yang sama diperoleh dari cara uji lain, tetapi 40% dari seluruh hasil uji *crumb* yang menunjukkan tanah *non-dispersive* ternyata menunjukkan reaksi dispersif pada saat diuji dengan metoda lain.

2.6.3. *Double Hydrometer Test*

Laboratory Dispersion Test, pertama kali dikembangkan oleh Volk (1937), dan digunakan secara rutin pada *US Department of Agriculture, Soil Conservation Service* sejak tahun 1940. Uji ini dilakukan dengan cara membandingkan persentase butiran tanah dengan diameter lebih kecil 0,005 mm yang diperoleh dari standard uji gradasi sesuai dengan prosedur pada ASTM D 422-98 dengan uji hidrometer yang dilakukan dengan tanpa *chemical dispersant* dan *mechanical agitator*, sesuai dengan prosedur uji seperti disampaikan dalam standard ASTM D 4221-99. Uji ini dilakukan tanpa tambahan *chemical dispersing agent (sodium metaphosphate)* dan *mechanical agitator*, yang dimaksudkan agar partikel lempung larut secara alami. Gambar 2.11 menunjukkan interpretasi tingkat dispersivitas hasil uji *double hydrometer*. Kriteria untuk evaluasi tingkat dispersivitas tanah dari uji *double hydrometer* dapat dilihat dalam tabel 1.



Gambar 2.12. Hasil uji *double hydrometer* dan interpretasi tingkat dispersivitas tanah.
 Sumber : Acciardi, 1985

Tabel 2.1. Kriteria evaluasi tingkat dispersivitas tanah

Dispersion (%)	Kriteria
< 30	<i>Non- dispersive</i>
30- 50	<i>Intermediate dispersive</i>
>50	<i>Dispersive</i>

Sumber : Acciardi, 1985

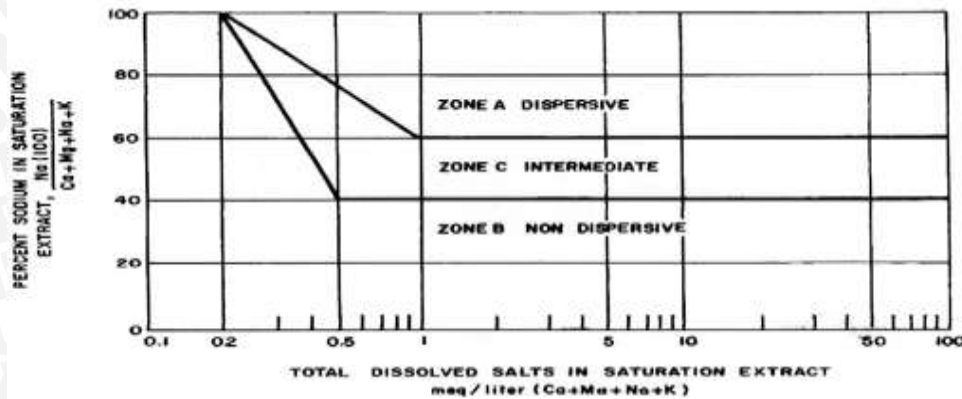
2.6.4. Chemical Test

Uji kimiawi dilaksanakan untuk memperoleh total garam tanah (*total dissolved salts*), dan persentase sodium dalam total garam tanah. Gambar 2.14 menunjukkan tingkat dispersivitas tanah dalam grafik hubungan antara persentase sodium dengan total garam tanah.

Seperti terlihat pada Gambar 2.12, tingkat dispersivitas tanah pada uji kimiawi digolongkan menjadi 3 bagian yaitu:

- ✚ Zone A (*dispersive*), apabila persentase sodium dalam garam tanah > 60%, dan total garam tanah > 1 meq/liter.
- ✚ Zona C (*intermediate dispersive*) apabila persentase sodium dalam garam tanah berkisar antara 40% sampai 60%, dan total garam tanah > 0,50 meq/liter.
- ✚ Zona B (*non dispersive*) apabila persentase sodium dalam garam tanah < 40%, dan total garam tanah > 0,1 meq/liter.

Meskipun cara uji kimiawi sudah digunakan secara luas di Amerika Serikat, Craft dan Acciardi (1984) menyampaikan bahwa dari analisis statistik terhadap uji kimiawi dan *pinhole*, 5 dari 6 grup tanah yang diuji menunjukkan hasil yang tidak sesuai.



Gambar 2.13. Tingkat dispersivitas tanah dengan uji kimiawi
Sumber : Richards, 1954

2.7. Upaya Perbaikan Tanah Dispersif

Menurut Hardie (2009) dalam bukunya yang berjudul *Dispersive Soil and Their Management* menjelaskan upaya dalam perbaikan tanah dispersif adalah sebagai berikut. Berdasarkan pengalaman dengan pembangunan bendungan urugan yang menggunakan tanah lempung dispersif, menunjukkan bahwa perbaikan dan pencegahan erosi di lingkungan perkotaan dan pinggiran kota yang terbaik dicapai dengan menggunakan kombinasi sebagai berikut:

1. Identifikasi yang menyeluruh dan menghindari tanah dispersif.
2. Pemasangan Blok Pasir dan Hambatan.
3. Ameliorasi Kimia.
4. Pemasangan Blok Pasir dan Hambatan.
5. Penggunaan Lapisan tanah atas, penguburan dan revegetasi.

2.7.1. Identifikasi yang menyeluruh dan menghindari tanah dispersif

Keberadaan dan kerusakan tanah dispersif bisa sangat beragam dalam jarak yang cukup dekat (Gambar 2.13). Dalam banyak kasus, skala besar (10x10 atau 20x20 meter grid) survei tanah dan penyaringan tanah untuk dispersivitas, (menggunakan emerson crumb test) dapat digunakan untuk site rumah hunian dan infrastruktur asalkan terletak jauh dari tanah dispersif. Sebagai contoh identifikasi dapat dilihat (pada Gambar 2.13) menunjukkan bahwa keberadaan tanah yang memiliki sifat sangat dispersif (a) dan non dispersif (b) memiliki jarak yang berdekatan.



Gambar 2.14. Jarak antara tanah dispersif dan non-dispersif yang berdekatan pada sebuah tebing.

Sumber : Hardie, 2009a

2.7.2. Pemadatan

Tingkat kepadatan yang tinggi mengurangi permeabilitas tanah, membatasi pergerakan air dan dispersi tanah liat melalui matriks tanah, yang mengurangi pengaruh dispersi dan membatasi berkembangnya piping (Vacher et al. 2004). Namun, tanah dispersif dapat sulit untuk dipadatkan karena mereka kehilangan kekuatan dengan cepat pada atau di atas kadar air optimum, sehingga mungkin diperlukan kekuatan yang lebih besar jika dibandingkan dengan pemadatan tanah lainnya (McDonald et al. 1981). Bell dan Bryun (1997) serta Bell dan Maud (1994) menyarankan bahwa tanah liat dispersif harus dipadatkan pada kadar air 1,5 -2% di atas kadar air optimum untuk mencapai kepadatan yang cukup untuk mencegah piping (Elges 1985).

Pembangunan struktur seperti bendungan urugan dan pondasi untuk bangunan dengan tanah dispersif memerlukan penilaian geoteknik dan saran dari seorang insinyur berkualitas dan berpengalaman, untuk menentukan langkah-langkah pemadatan seperti kadar air yang optimal, jumlah lintasan, dan ketebalan maksimal lapisan padat. Pemindah tanah mekanis yang normal seperti bulldozer, excavator, dan grader tidak memberikan energi pemadatan yang cukup untuk mengurangi pori dalam tanah atau mencapai pemadatan yang memadai di tanah dispersif. Sebuah roller sheepsfoot dengan berat yang tepat biasanya dibutuhkan untuk pemadatan tanah dispersif, dimana dozer menghasilkan tekanan hanya 0,6 kg/cm² yang jika dibandingkan dengan roller sheepsfoot yang menghasilkan tekanan 9,3 kg/cm² (Sorensen 1995).



Gambar 2.15. Contoh upaya pemadatan tanah dispersif.
Sumber : Hardie, 2009b

2.7.3. Ameliorasi Kimia

Inisiasi piping/erosi terowongan umumnya merupakan proses kimia, sehingga cukup masuk akal untuk menggunakan strategi ameliorasi kimia ketika mencoba untuk mencegah atau memperbaiki piping/erosi terowongan di tanah dispersif. Meskipun penggunaan gipsum dan kapur cukup umum untuk mengatasi tanah *sodic* di bidang pertanian, penggunaan gipsum dan kapur untuk menanggulangi area yang terkena piping/erosi terowongan relatif jarang (Boucher 1990).

Kapur (kalsium hidroksida) telah banyak digunakan untuk mencegah piping dalam bendungan urugan. Penggunaannya bervariasi tergantung pada tanah dan tingkat kepadatan

yang digunakan dalam konstruksi. Pengujian laboratorium biasanya menunjukkan bahwa kapur diperlukan hanya sekitar 0,5 - 1,0% untuk mencegah dispersi, namun membutuhkan tingkat kesulitan yang lebih tinggi dalam pencampuran dan penggunaannya (Moore et al. 1985). Moore et al. (1985) juga menyebutkan contoh penggunaan kapur untuk mengontrol piping di bendungan urugan berkisar antara 0,35% (NSW Australia) dan 4% (New Mexico). Elgers (1985), dan McElroy (1987) merekomendasikan tidak kurang dari 2% kapur (dibanding berat bahan total tanah) untuk mencegah dispersi dalam tanggul bendungan, sedangkan Bell dan Maud (1994) menunjukkan bahwa 3% - 4% massa kapur terhidrasi harus ditambahkan hingga kedalaman 0.3 M dari muka atas tanggul. Dalam basa ($\text{pH} > 7,0$) tanah (*subsoils sodic* sebagian besar di Tasmania bersifat netral atau basa) efektivitas kapur terhidrasi berkurang dengan pembentukan kalsium karbonat larut (Moore et al. 1985), sehingga gipsum lebih digemari ketimbang kapur. Penting untuk dicatat bahwa kapur pertanian (kalsium karbonat) bukan merupakan pengganti yang cocok untuk kapur terhidrasi karena kelarutannya rendah (McElroy 1987). McElroy (1987) juga mencatat bahwa aplikasi berlebihan kapur dapat meningkatkan pH tanah di atas tingkat yang diperlukan untuk mempertahankan kesuburan yang baik.

Gipsum (kalsium sulfat) lebih efektif daripada kapur untuk penanganan tanah dispersif karena akan meningkatkan konsentrasi elektrolit dalam larutan tanah, serta natrium tergusur oleh kalsium dalam struktur tanah liat (Raine dan Loch 2003). Gipsum kurang umum digunakan dibandingkan kapur terhidrasi dalam konstruksi bendungan dan pekerjaan lain karena kelarutannya rendah, dan biaya yang lebih tinggi. Elges (1985) merekomendasikan bahwa dalam konstruksi, minimal 2% massa gipsum yang digunakan. Bell dan Maud (1994) menyampaikan cara menghitung jumlah gipsum yang dibutuhkan untuk menggantikan natrium berlebih dan mengembalikan nilai ESP dalam batas yang dibutuhkan (biasanya $< 5\%$). Harus disadari pula bahwa penggunaan gipsum yang berlebihan dapat menyebabkan salinitas tanah untuk sementara naik melampaui tingkat yang diinginkan untuk pertumbuhan tanaman.

Alum (aluminium sulfat) telah efektif digunakan untuk mencegah kegagalan bendungan dan melindungi tanggul dari erosi. Tingkat penggunaan tidak terlalu umum digunakan. Data yang terbatas menyarankan campuran dari 0,6 - 1,0% (larutan 25% aluminium sulfat) (Bell dan Bruyn 1997, McElroy 1987) menjadi 1,5% (Ouhadi, dan

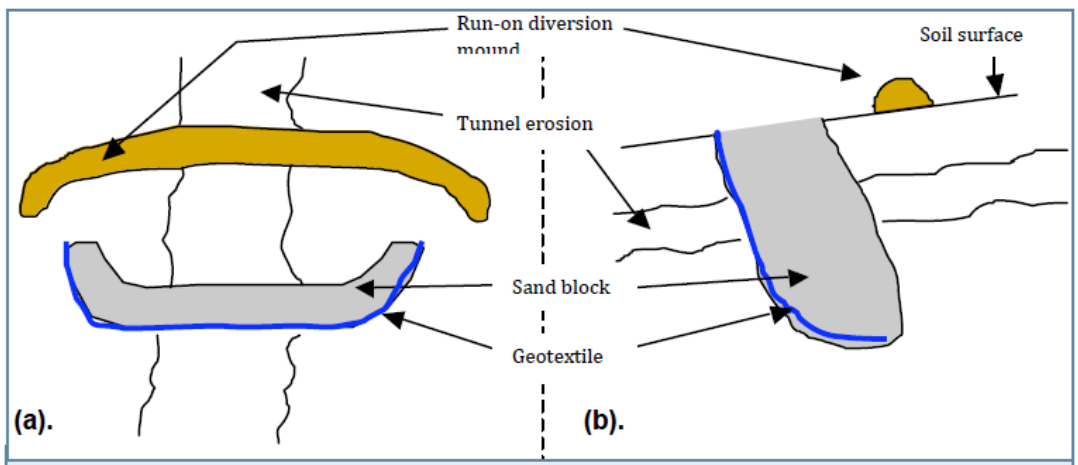
Goodarzi 2006) dari berat kering total tanah mungkin sesuai. Tetapi sangat asam (pH 4-5), dan dengan demikian penggunaan alum pada tanah perlu ditutup dengan lapisan tanah atas dalam rangka membangun vegetasi (Ryker 1987).

Poliakrilamida rantai panjang telah terbukti meningkatkan stabilitas agregat, mengurangi dispersi dan mempertahankan tingkat infiltrasi di tanah dispersif (Levy et al 1992, Raine dan Loch 2003). Namun efeknya sangat bervariasi pada berbagai sifat kimia dan fisik tanah akibat produk poliakrilamida. Manfaat dari poliakrilamida umumnya pendek karena degradasi cepat mereka (Raine dan Loch 2003). Saran lebih lanjut dan pengujian laboratorium harus dilakukan sebelum menggunakan poliakrilamida untuk melindungi bendungan urugan dari piping.

2.7.4. Pemasangan Blok Pasir dan Hambatan (*Sand blocks and sand barriers*)

Filter pasir pertama kali dikembangkan untuk mencegah piping dalam bendungan urugan. Filter pasir mencegah kegagalan bendungan dengan menjebak pasir dan lumpur yang terbawa, memblok terowongan dan mencegah pengembangan piping/erosi terowongan lanjut (Sherard et al. 1977). Setelah karya Sherard et al. (1977), Richley (1992 dan 2000) mengembangkan penggunaan blok pasir untuk mencegah piping/erosi terowongan saat pemasangan kabel serat optik di tanah dispersif yang sangat dekat di wilayah Tasmania, Australia. Blok pasir bekerja sedikit berbeda dengan filter pasir, pada blok pasir memungkinkan air bebas untuk naik ke permukaan melalui pasir. Modifikasi yang dikembangkan oleh Richley (1992 dan 2000) meliputi (Gambar 2.15 & 2.16);

- Melengkung untuk mencegah struktur dilewati.
- Geotextile di dinding lereng bawah untuk mencegah keruntuhan pasir mengikuti penurunan atau erosi.
- Aplikasi gypsum (sekitar 5% berat) untuk memastikan infiltrasi air mengandung cukup elektrolit untuk mencegah dispersi lanjut.
- Gundukan tanah upslope struktur untuk mencegah mengurangi kecepatan limpasan permukaan.



Gambar 2.16. Desain modifikasi sand block, a. tampak rencana, b. tampak cross section.
 Sumber : Hardie, 2009a



Gambar 2.17. Pemasangan sandblock,
 Sumber : Hardie, 2009b

2.7.5. Penggunaan Lapisan Tanah Atas (Top soil), Penguburan dan Revegetasi

Memberikan tanah lapisan atas atau penguburan tanah dispersif mengurangi kemungkinan dispersi lapisan tanah dan inisiasi piping/erosi terowongan karena ;

- Menyediakan sumber garam untuk meningkatkan kandungan elektrolit air infiltrasi.
- Mencegah kekeringan dan retak pada subsoil.
- Mempercepat infiltrasi.

- Menyediakan penutup pelindung dari dampak air hujan.
- Menyediakan media yang cocok untuk revegetasi.

Tanah lapisan atas meminimalkan interaksi antara air dan tanah lempung dispersif, menghasilkan penghalang fisik dan kimia bagi tanah. Humus juga mengurangi pengeringan tanah dan berkembangnya retak permukaan (Sorensen 1995). Hal ini merujuk pada subsoil dispersif yang tertutupi dengan setidaknya 150 mm tanah non dispersif dan ditaburi dengan campuran yang tepat dari spesies rumput. Dalam beberapa kasus akan diperlukan untuk melindungi lapisan atas tanah dari erosi dengan kain 'jute' atau produk serupa.

Penanaman pohon di daerah yang terkena piping dipengaruhi oleh jumlah curah hujan tahunan dan frekuensi retak tanah akibat kekeringan. Boucher (1995) merekomendasikan pilihan yang lebih tepat revegetasi untuk reklamasi piping/erosi terowongan adalah pohon penutup banyak spasi dalam hubungannya dengan kombinasi rumput abadi dan tahunan, daripada pepohonan yang tumbuh padat atau padang rumput saja. Pengalaman di Tasmania, Australia menunjukkan bahwa di daerah curah hujan rendah, atau daerah di mana ada pohon-pohon atau semak yang menyebabkan tanah kering dan retak, pilihan yang lebih disukai untuk menghidupkan kembali lahan yang terkena piping/erosi terowongan adalah rumput yang sehat padat. Di daerah curah hujan tinggi, penanaman pohon padat telah berhasil digunakan untuk memperbaiki atau menstabilkan piping/erosi terowongan misalnya Colclough (1973) berhasil menggunakan *Pinus Radiata* untuk menstabilkan tanah yang terkena piping/erosi terowongan di daerah curah hujan sedang dekat Tea Tree, Tasmania, Australia.