

UJI DISPERSIVITAS BAHAN TIMBUNAN BENDUNGAN DURIANGKANG

(Dispersivity Test of Duriangkang Dam Filling Material)

Didiek Djarwadi¹⁾

¹⁾ Mahasiswa doktoral bidang ilmu Teknik Sipil, Universitas Gadjah Mada, Yogyakarta
E-mail : didiek_d@hotmail.com

ABSTRACT

Dispersive clays have been identified as soils which highly erosive because they have a higher percentage of dissolve sodium in their pore water than ordinary clays. The dominant sodium ions increase the thickness of the diffused double water layer surrounding the individual clay particles. This causes the repulsive forces to exceed the attractive forces so that the individual clay particles go into suspension in the presence of water. Their detrimental effect on the performance of dams, canals has been recognized. Piping in earth dams which lead to the failure of dams due to the presence of dispersive clays has been identified in Australia, United States, South Africa and many countries throughout the world. This research presented the tests using various available methods to identify the degree of dispersive of embankment material for Duriangkang dam, the first estuary dam in Indonesia. Analyses to the results were also discussed. The decision not to include the suspected dispersive and moderate dispersive clays in the embankment of Duriangkang dam was taken in order to minimize the risk of eroded and piping progress in the dam body.

Keywords: *dispersive clays, embankment dam, erosive, piping.*

PENDAHULUAN

Bendungan Duriangkang di pulau Batam adalah suatu *estuary dam* pertama yang dilaksanakan di Indonesia. Bendungan Duriangkang dilaksanakan dengan menutup teluk Duriangkang sepanjang 850 meter. Fondasi bendungan Duriangkang berupa endapan lempung laut (*soft marine clay*) yang sangat lunak, dengan tebal antara 3,00 sampai 8,00 meter. Pelaksanaan penimbunan tahap pertama (*pilot dike*) dilakukan dengan menimbun langsung tanah ke dalam laut tanpa pemadatan sampai dengan elevasi +4,00 m, dengan lebar 40 meter, sebagai landasan (*platform*) untuk perbaikan fondasi bendungan dengan cara *preloading*, dan penimbunan tubuh bendungan dikemudian hari sampai elevasi +7,50 m. Untuk proses desalinasi air laut yang terjebak di dalam waduk menjadi air tawar, dipasang 10 buah pipa dilengkapi katup otomatis yang akan mengalirkan air keluar waduk pada saat air laut surut. Fungsi utama bendungan Duriangkang adalah untuk menampung air sebagai bahan baku untuk air bersih industri dan rumah tangga di pulau Batam.

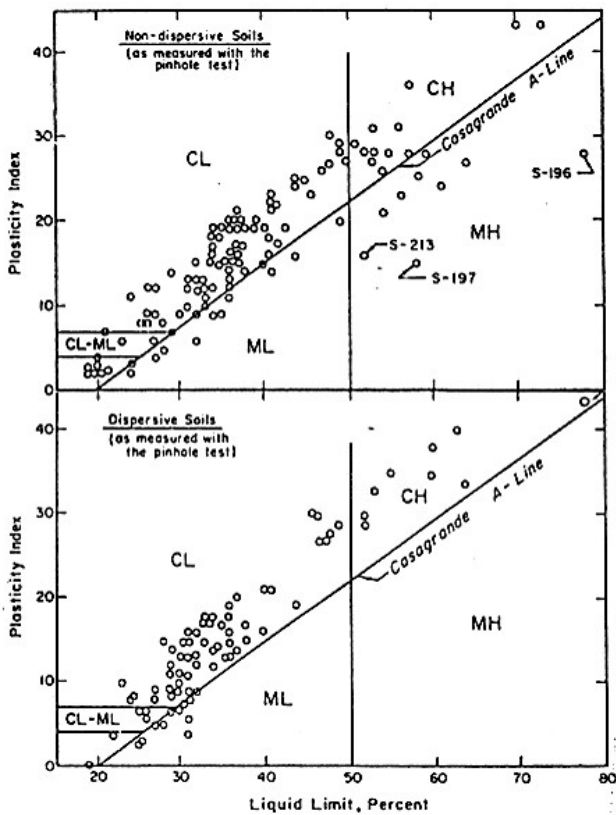
Penelitian tingkat dispersivitas bahan timbunan bendungan Duriangkang dilakukan untuk menjamin bahwa bahan timbunan yang digunakan tidak termasuk jenis tanah yang *dispersive*. Hal ini dilakukan dengan pertimbangan bahwa pada tahap timbunan awal (*pilot dike*) yang akan dipertahankan sampai dengan selesainya proses konsolidasi tanah lunak dibawahnya akan memerlukan waktu yang cukup lama, dan perbedaan tinggi muka air di waduk dengan pasang surut air laut akan menciptakan pola

aliran (*seepage*) di dalam *pilot dike*. Apabila bahan timbunan adalah tanah yang bersifat *dispersive*, dikawatirkan *seepage* yang terjadi dapat mengakibatkan proses *piping*.

Tanah yang bersifat *dispersive* 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 *dispersive* 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.

Sifat-sifat Fisik Tanah *Dispersive*

McElroy (1987) menyampaikan bahwa tanah *dispersive* biasanya mempunyai partikel dengan diameter > 0,005 mm lebih dari 12%. Ryker (1977) menyampaikan bahwa tanah *dispersive* mempunyai indeks plastisitas > 4. Sherard dkk, (1976b) menyampaikan hasil uji batas-batas Atterberg terhadap 115 contoh tanah *dispersive* dan 80 contoh tanah *non-dispersive* seperti terlihat pada Gambar 1. Hasil uji menunjukkan bahwa tanah lanau dengan plastisitas rendah (ML) sampai tinggi (MH) umumnya adalah tanah *non-dispersive*, sedangkan pada tanah lempung dengan plastisitas rendah (CL) sampai tinggi (CH) terdapat kemungkinan adanya tanah *dispersive*.



Gambar 1. Posisi tanah *dispersive* dan *non-dispersive* pada table plastisitas (Sherard dkk, 1976)

Gambar 1 menunjukkan bahwa uji batas-batas Atterberg tidak dapat mengenali sifat dispersivitas tanah. Tanah *dispersive* biasanya juga bersifat kedap air dan mempunyai koefisien perpermeabilitas yang kecil. Hal ini yang menyebabkan secara phisik tanah yang bersifat *dispersive* tidak dapat dibedakan dengan tanah lainnya.

Masalah dari tanah *dispersive* 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.

Tanah yang bersifat *dispersive* umumnya mengandung mineral lempung yang aktif seperti *montmorillonite* $(\frac{1}{2} Ca,Na)(Al,Mg,Fe)_4(Si,Al)_8O_{20}(OH)_4,n.H_2O$, *illite* $(K,Al)_2Al_2Si_3O_{10}(OH)_2$ dan *smectite* $(Al_2,Si_4)_4O_{10}(OH)_2$ dalam jumlah tertentu yang menyebabkan mudah retak pada saat terjadi proses pengurangan kadar air.

Studi Literatur

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 *dispersive*. Sejak tahun 1960-an, penelitian yang intensif tentang tanah *dispersive* dilakukan di Australia dengan ditemukannya erosi pada bendungan tanah antara lain oleh Aichison dkk (1963), Aichison dan Wood (1965), Ralling (1966), dan Ingles dkk (1968), memberikan pengetahuan baru tentang masalah tanah *dispersive*. Di Amerika Serikat penelitian tentang tanah *dispersive* dilakukan secara intensif sejak tahun 1970-an. Sherard (1972), Sherard dkk (1972), melaporkan runtuhnya bendungan Caney Coon Creek di Oklahoma akibat terjadinya *piping* bahan timbunan yang *dispersive*. Kasus yang sama pada bendungan Flagstaff Gully dilaporkan oleh Ingles dkk (1968). Kedua bendungan tersebut runtuh karena terjadi rembesan air dari retakan batuan di fondasi bendungan yang menyebabkan erosi pada tubuh bendungan. Menyadari hal tersebut, Bordeaux dan Imaizumi (1977) melakukan melakukan perbaikan fondasi bendungan dengan *slush grouting treatment* dan *concrete slab* pada fondasi bendungan Sobradinho di Brazil, yang bahan timbunannya adalah tanah *dispersive* untuk menghindari terjadinya keruntuhan akibat erosi. Phillips (1977) menyampaikan design bendungan tipe urugan dengan bahan timbunan yang *dispersive*, dengan menggunakan lapisan *lime stabilized clay* setebal 3,50 meter antara inti kedap air dengan filter pada bendungan Bungul di Australia. McDaniel dan Decker (1979) menyampaikan cara penanggulangan erosi pada inti kedap air bendungan Los Esteros dengan menggunakan *fine sand filter* untuk menghambat terjadinya erosi dan *piping*. Beberapa laporan lainnya tentang penggunaan bahan timbunan bendungan yang bersifat *dispersive* antara lain oleh: Logani (1979), Forbes dkk (1980) dan Melvill dan Mackellar (1980) menunjukkan bahwa tanah *dispersive* dapat digunakan sebagai bahan timbunan bendungan tipe urugan asalkan sejak awal telah diketahui keberadaannya dan dilakukan penanggulangan agar tidak terjadi erosi yang kemungkinan dapat menyebabkan runtuhnya bendungan. Beberapa penanggulangan yang perlu dipertimbangkan antara lain adalah, perbaikan fondasi bendungan dibawah timbunan yang bersifat *dispersive*, agar terjadi rembesan dari dasar fondasi bendungan dengan tekanan tinggi ke dalam timbunan bendungan, memasang *fine sand filter*, agar proses *piping* terhambat oleh susunan gradasi filter, mengadakan perbaikan dengan mencampur bahan bersifat dispersif dengan kapur, *alum*, dan bahan lain yang dapat menurunkan kadar dispersivitas bahan timbunan.

Uji Dispersivitas dan Standard Uji

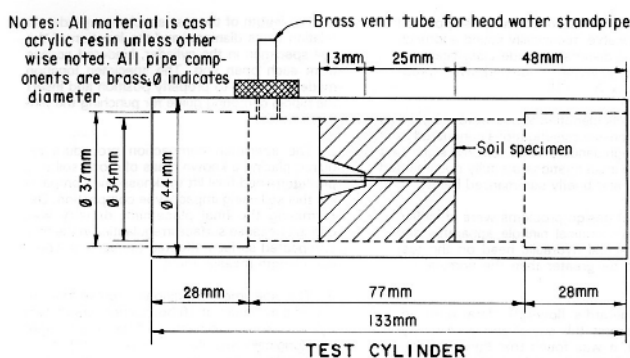
Knodel (1991) menyatakan bahwa sifat *dispersive* suatu tanah dapat diketahui dengan 5 jenis uji yaitu:

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)

Kelima jenis uji tersebut diatas sebaiknya dilaksanakan pada kondisi kadar air asli. Pengeringan terutama dengan oven dapat merusak sifat *dispersive* suatu tanah.

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).

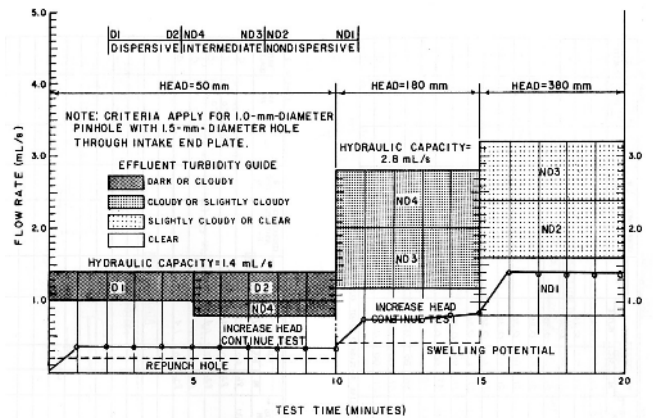
Sherard dkk, (1976a) menyampaikan bahwa uji *pinhole* yang dikembangkan pada tahun 1973 untuk mengukur tingkat *dispersive* suatu tanah dengan cara mengukur volume larutan koloidal hasil erosi oleh air yang dialirkan melalui tanah yang diuji. Skema alat uji *pinhole* dapat dilihat pada Gambar 2,



Gambar 2. Skema alat uji *pinhole* (Acciardi, 1985)

Seperti terlihat pada Gambar 2, 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 3.



Gambar 3. Grafik tingkat dispersivitas tanah dari uji *pinhole* (Acciardi, 1985)

Uji *crumb* (*crumb test*) pertama kali disampaikan oleh Emerson (1967) dengan mengembangkan prosedur sederhana untuk identifikasi tanah *dispersive* 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 seperti terlihat pada Gambar 4.

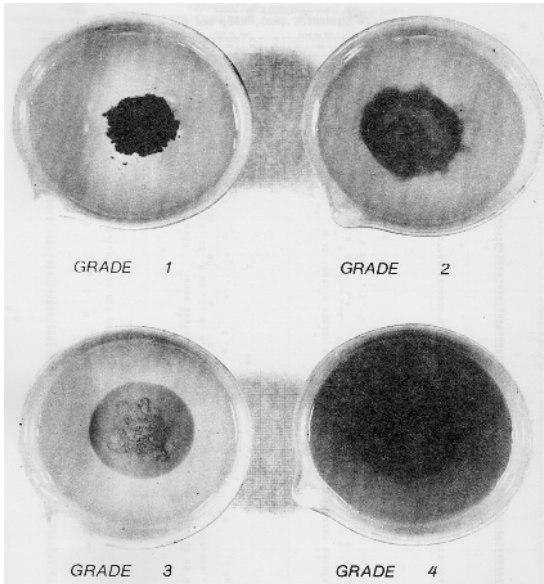
Tingkat dispersivitas tanah dalam uji *crumb* digolongkan dalam 4 tingkat yaitu:

Grade 1, Benda uji luruh atau hancur, tetapi tidak menyebabkan air keruh. Untuk benda uji yang menunjukkan perilaku ini termasuk dalam tanah yang bersifat *non-dispersive*.

Grade 2, Benda uji luruh atau hancur, dan menimbulkan air sedikit keruh disekitar benda uji. Untuk benda uji yang menunjukkan perilaku ini termasuk dalam tanah yang bersifat *intermediate-dispersive*.

Grade 3, Benda uji luruh atau hancur, dan menimbulkan air keruh sampai dengan radius 10 mm disekitar benda uji. Untuk benda uji yang menunjukkan perilaku ini juga termasuk dalam tanah yang bersifat *intermediate-dispersive*.

Grade 4, Benda uji luruh atau hancur, dan menimbulkan air keruh pada seluruh dasar bejana. Untuk benda uji yang menunjukkan perilaku ini juga termasuk dalam tanah yang bersifat *dispersive*.

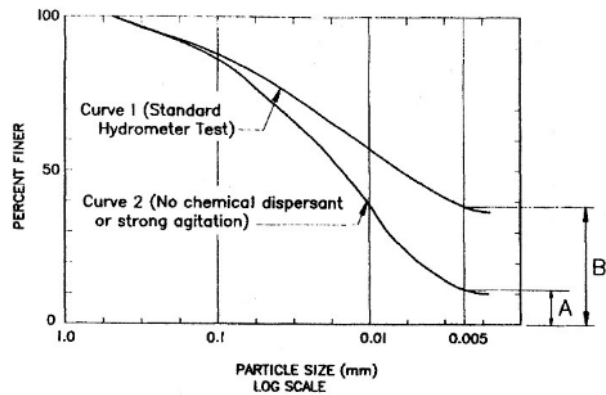


Gambar 4. Tingkat dispersivitas pada uji *crumb* (Acciardi, 1985)

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.

Uji *double hydrometer* juga disebut dengan *SCS 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 5 menunjukkan interpretasi tingkat dispersivitas hasil

uji *double hydrometer*. Kriteria untuk evaluasi tingkat dispersivitas tanah dari uji *double hydrometer* dapat disampaikan dalam tabel 1.



$$\text{DEFINITION: PERCENT DISPERSION} = \frac{A}{B} (100)$$

Gambar 5. Hasil uji *double hydrometer* dan interpretasi tingkat dispersivitas tanah.

Tabel 1. Kriteria evaluasi tingkat dispersivitas tanah

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

Uji kimiawi dilaksanakan untuk memperoleh total garam tanah (*total dissolved salts*), dan persentase sodium dalam total garam tanah. Gambar 6 menunjukkan tingkat dispersivitas tanah dalam grafik hubungan antara persentase sodium dengan total garam tanah.

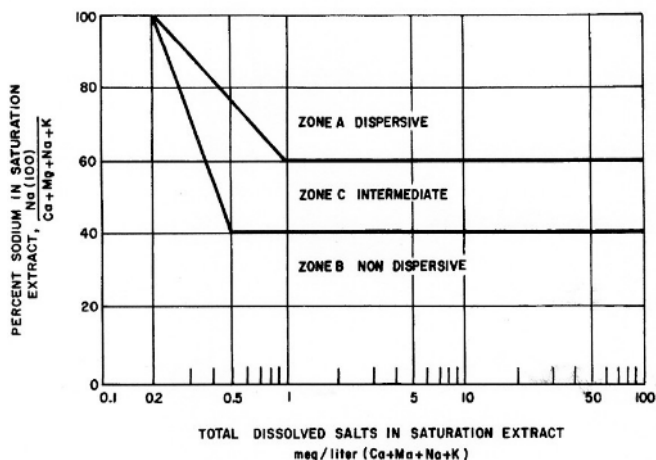
Seperti terlihat pada Gambar 6, tingkat dispersivitas tanah pada uji kimiawi digolongkan menjadi 3 bagian yaitu:

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 6. Tingkat dispersivitas tanah dengan uji kimiawi (Richards, 1954)

Uji ESP (*exchangeable sodium percentage*) telah digunakan secara luas di Australia sejak tahun 1960-an seperti dilaporkan oleh Ingles dan Wood (1964), Aichison dan Wood (1965) dan Rallings (1966). ESP didefinisikan sebagai berikut:

$$ESP = \frac{\text{exchangeable..sodium}}{\text{cation..exchange..capacity}} \times 100 \quad (1)$$

Kriteria dispersivitas hasil uji ESP dapat disampaikan pada tabel 2 berikut ini.

Tabel 2. Kriteria dispersivitas tanah dari uji ESP

ESP	Kriteria
< 7	<i>Non-dispersive</i>
7 – 10	<i>Intermediate dispersive</i>
> 10	<i>Dispersive</i>

Karena hasil uji dispersivitas tanah dengan 5 jenis uji tersebut diatas dapat menunjukkan ketidaksesuaian meskipun pada contoh tanah yang sama, maka Sherard dkk (1976b), Craft dan Acciardi (1984), dan McElroy (1987) menyarankan agar uji dispersivitas tanah harus dilaksanakan lebih dari satu jenis uji, dan apabila memungkinkan dapat dilakukan dengan 5 jenis uji yang tersedia untuk memberikan kepastian tingkat dispersivitas suatu tanah.

METODE PENELITIAN

Bahan timbunan bendungan Duriangkang diperoleh dari *borrow area* di bagian tebing kiri dan kanan tapak bendungan. Bahan timbunan merupakan *tropical residual soil*, hasil pelapukan batuan *granite* dan *sandstone*. Contoh tanah untuk uji dispersivitas dipilih sebanyak 12 buah, mewakili warna, teksture

dan kedalaman tanah yang ada di *borrow area*, yang telah lolos uji awal seperti; berat jenis, batas Atterberg, gradasi, pemadatan dan permeabilitas dan kuat geser tanah.

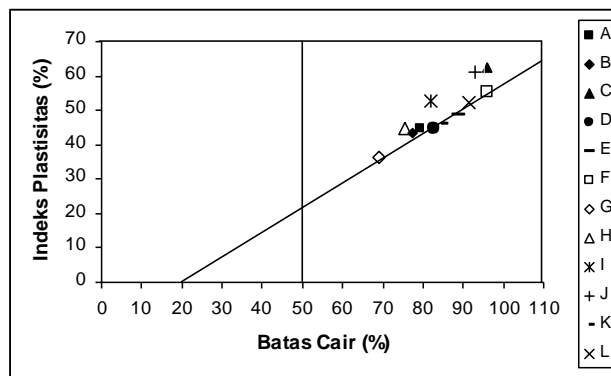
Uji dispersivitas yang dilakukan adalah 3 macam yaitu uji *crumb* pada semua contoh tanah, uji *pinhole* pada 3 contoh tanah, dan uji kimiawi pada 6 contoh tanah. Tabel 3 menunjukkan program uji dispersivitas contoh tanah bahan timbunan bendungan Duriangkang.

Tabel 3. Program uji dispersivitas bahan timbunan bendungan Duriangkang

Contoh tanah	Jenis uji		
	Pinhole	Crumb	Kimiawi
A		#	#
B	#	#	
C		#	#
D		#	
E		#	#
F		#	
G	#	#	
H		#	
I		#	
J		#	#
K	#	#	
L		#	#

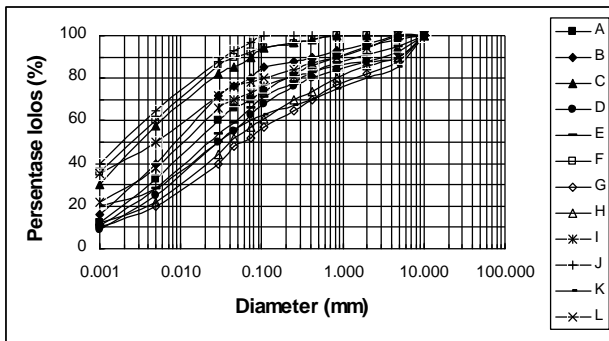
HASIL DAN PEMBAHASAN

Hasil uji gradasi dan batas Atterberg contoh tanah untuk uji dispersivitas disampaikan pada Gambar 7 dan 8.



Gambar 7. Batas Atterberg contoh tanah bahan timbunan bendungan Duriangkang

Hasil uji *pinhole* pada 3 buah benda uji (B, G dan K) menunjukkan bahwa semua contoh tanah adalah termasuk *non-dispersive*. Tabel 4 menunjukkan hasil pengamatan debit selama uji *pinhole*, dan Gambar 9 menunjukkan grafik hasil uji dispersivitas bahan timbunan bendungan Duriangkang dengan metoda *pinhole*.



Gambar 8.. Gradasi contoh tanah bahan timbunan bendungan Duriangkang

Hasil uji kimiawi pada 6 buah benda uji (A, C, E, H, J dan L) disampaikan pada tabel 6. Persentase 4 jenis garam tanah yaitu magnesium, calcium, potassium dan sodium, serta jumlah garam tanah diuji dihitung. Rasio antara garam sodium dan jumlah garam tanah menunjukkan tingkat dispersivitas tanah. Dua benda uji (C dan L) menunjukkan sifat *non dispersive*, satu benda uji (A) menunjukkan sifat *intermediate dispersive*, sedangkan tiga benda uji (E, H dan J) menunjukkan sifat *dispersive*. Gambar 11 menunjukkan tingkat dispersivitas tanah dari hasil uji kimiawi.

Tabel 4. Hasil uji *pinhole*

Contoh tanah B		Grade ND 2		
Head (mm)	Flow rate		Discharge (ml/sec)	
	Q (ml)	t (sec)		
50	110	300	0.367	
180	250	300	0.833	
380	485	300	1.617	
Contoh tanah G		Grade ND 1		
Head (mm)	Flow rate		Discharge (ml/sec)	
	Q (ml)	t (sec)		
50	105	300	0.350	
180	220	300	0.733	
380	375	300	1.250	
Contoh tanah K		Grade ND 3		
Head (mm)	Flow rate		Discharge (ml/sec)	
	Q (ml)	t (sec)		
50	290	300	0.967	
180	490	300	1.633	
380	886	300	2.953	

Tabel 5. Hasil uji *crumb*

Contoh Tanah	Hasil uji
A	Grade 1
B	Grade 1
C	Grade 2
D	Grade 1
E	Grade 2
F	Grade 2
G	Grade 1
H	Grade 3
I	Grade 3
J	Grade 1
K	Grade 2
L	Grade 1

Hasil uji *crumb* pada 12 benda uji seperti terlihat pada table 5, menunjukkan enam benda uji (A, B, D, G, J, L) menunjukkan sifat *non-dispersive* (*grade 1*), empat benda uji (C, E, F dan K) menunjukkan sifat *intermediate dispersive* (*grade 2*), sedangkan dua benda uji (H dan I) menunjukkan sifat *intermediate dispersive* (*grade 3*). Gambar 10 menunjukkan hasil uji *crumb* untuk benda uji D bahan timbunan bendungan Duriangkang.

Tingkat dispersivitas bahan timbunan bendungan Duriangkang berdasarkan hasil uji dengan tiga metoda yang berbeda disampaikan pada tabel 7, dan terlihat bahwa hasil uji tidak konsisten terhadap cara uji yang dilakukan.

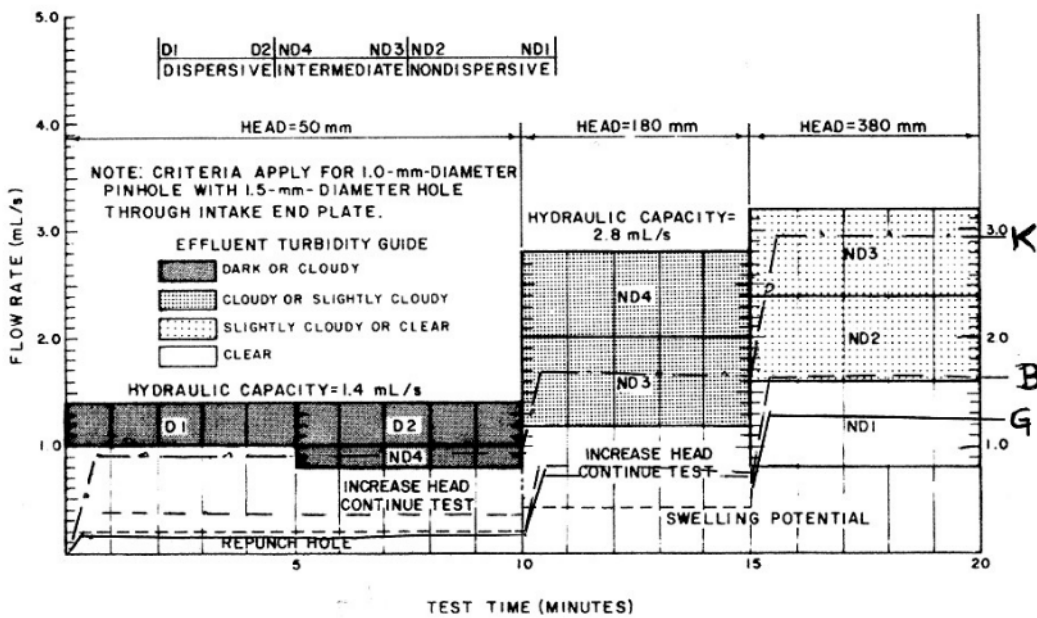
Hasil uji dengan cara *pinhole* menunjukkan konsistensi dengan hasil uji *crumb*, sedangkan hasil uji *crumb* menunjukkan bahwa tidak konsisten dengan hasil uji kimiawi. Hal ini sesuai statistik hasil uji yang disampaikan oleh Sherard dkk (1976b), Craft dan Acciardi (1984), dan McElroy (1987).

Tabel 6. Hasil uji dispersivitas bahan timbunan bendungan Duriangkang dengan cara uji kimiawi

Contoh tanah	Jenis garam tanah				Jumlah total	% Sodium	Grade
	Magnesium	Calcium	Potassium	Sodium			
A	3.42	18.33	8.93	22.83	53.51	42.66	Zone C
C	3.50	15.69	4.68	13.82	37.69	36.67	Zone B
E	0.92	5.89	3.05	15.78	25.64	61.54	Zone A
H	1.05	5.27	2.56	14.36	23.24	61.79	Zone A
J	5.52	19.98	7.81	52.42	85.73	61.15	Zone A
L	40.19	20.01	3.99	11.40	75.59	15.08	Zone B

Tabel 7. Hasil uji dispersivitas bahan timbunan bendungan Duriangkang

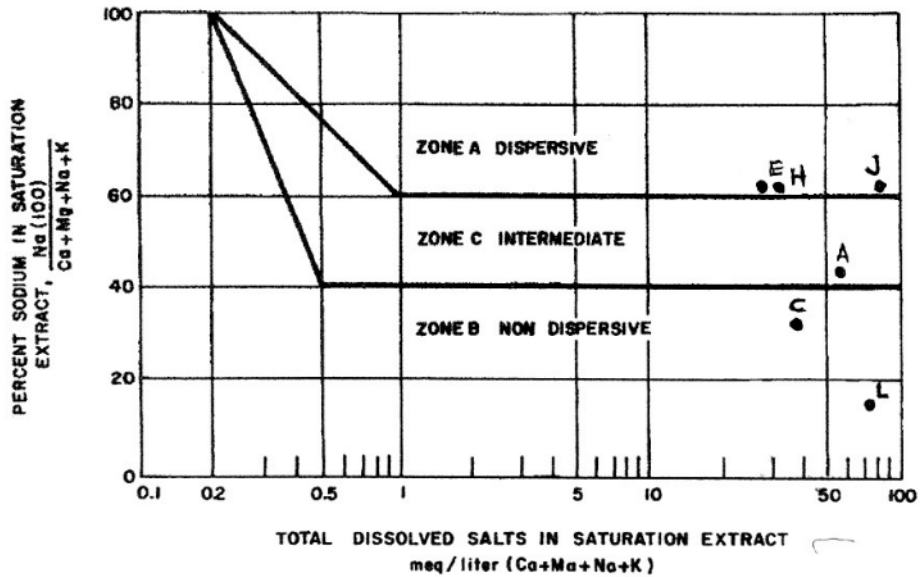
Contoh tanah	Jenis uji		
	<i>Pinhole</i>	<i>Crumb</i>	Kimiawi
A		<i>non dispersive</i>	<i>intermediate dispersive</i>
B	<i>non dispersive</i>	<i>non dispersive</i>	
C		<i>intermediate dispersive</i>	<i>non dispersive</i>
D		<i>non dispersive</i>	
E		<i>intermediate dispersive</i>	<i>dispersive</i>
F		<i>intermediate dispersive</i>	
G	<i>non dispersive</i>	<i>non dispersive</i>	
H		<i>intermediate dispersive</i>	<i>dispersive</i>
I		<i>intermediate dispersive</i>	
J		<i>non dispersive</i>	<i>dispersive</i>
K	<i>intermediate dispersive</i>	<i>intermediate dispersive</i>	
L		<i>non dispersive</i>	<i>non dispersive</i>



Gambar 9. Tingkat dispersivitas bahan timbunan bendungan Duriangkang dari hasil uji *pinhole*



Gambar 10. Hasil uji *crumb* pada contoh tanah D bahan timbunan bendungan Duriangkang



Gambar 11. Tingkat dispersivitas bahan timbunan dari hasil uji kimiawi

KESIMPULAN

Dari uraian tentang masalah tanah *dispersive*, pengalaman sebelumnya tentang penggunaannya sebagai bahan timbunan bendungan, jenis uji untuk mengenali tanah *dispersive*, dan uji dispersivitas bahan timbunan bendungan Duriangkang, sebuah *estuary dam* di pulau Batam, Indonesia, beberapa kesimpulan dapat disampaikan sebagai berikut:

1. Uji batas *Atterberg*, gradasi, berat jenis tanah dan uji mekanika tanah lainnya tidak dapat mengenali tingkat dispersivitas tanah.
2. Untuk mengetahui tingkat dispersivitas tanah perlu dilakukan uji khusus, seperti uji *crumb*, *double hydrometer*, *pinhole*, uji kimiawi atau uji *ESP (exchangeable sodium percentage)*.
3. Berdasarkan pengalaman, satu jenis uji belum dapat mendiskripsikan tingkat dispersivitas suatu tanah secara tepat, karena beberapa uji memberikan tingkat dispersivitas yang berbeda untuk suatu tanah yang sama.
4. Perlu dilakukan beberapa uji untuk satu tanah yang sama untuk dapat menyimpulkan tingkat dispersivitas tanah.
5. Hasil uji dispersivitas bahan timbunan bendungan Duriangkang yang dilakukan dengan uji *crumb*, *pinhole* dan kimiawi menunjukkan bahwa sebagian besar bahan timbunan adalah tanah *non-dispersive*, sedangkan sebagian kecil bersifat *intermediate dispersive* dan *dispersive*.
6. Untuk menghindarkan terjadinya erosi dan *piping* dalam bendungan Duriangkang, tanah yang ditengarai sebagai tanah *dispersive* dan *moderate dispersive* dari hasil uji tersebut diatas,

tidak dipergunakan sebagai bahan timbunan bendungan.

DAFTAR PUSTAKA

Acciardi, R.G., 1985. *Pinhole Test Equipment Design and Test Result Evaluation*. Research Report no. REC-ERC-85-3. US Dept of Interior, Bureau of Reclamation. Denver, 79pp.

Aichison, M.E., Ingles, O.G, and Wood, C.C, 1963. Post Construction Deflocculation as a Contributory Factor in Failure of Earth Dams. *Proc 4th Australia-New Zealand Conf on Soil Mech and Foundation Engineering*. Pp 275-279.

ASTM., 2003. *Annual Book of ASTM Standads 2003*. Vol.04.08. Philadelphia.

ASTM., 2003. *Annual Book of ASTM Standads 2003*. Vol.04.09. Philadelphia.

Aichison, M.E, and Wood, C.C., 1965. Some Interaction of Compaction, Permeability, and Post Construction Deflocculation Affecting the Probability of Failure of Small Dams. *Proc 7th Intl Conf on Soil Mechanics and Foundation Engineering. Montreal*, Vol II, pp 442-446.

Bordeaux, G., and Imaizumi, H., 1977. *Dispersive Clay at Sobradinho Dam*. Dispersive Clays, Related piping and Erosion in Geotechnical Project. ASTM STP 623, pp 13-24.

Craft, D., and Acciardi, R.G, 1984. Failure of Pore Water Pressure Analyses for Dispersion. *Journal of the Geotechnical Engineering Division, ASCE*, Vol.110, No.4.

- Eagles, J.H., 1978. Dispersive Soils: Testing of a Sydney Basin Clay. *ANCOLD Bulletin* no.51.
- Elges, H.F.W.K., 1985. *Problem Soils in South Africa-State of the Art*. The Civil Engineer in South Africa, Vol.27, No.7, pp 347-349 and 351-353.
- Emerson, W.E., 1967. A Classification of Soil Aggregates Based on Their Coherence in Water. *Australian Journal of Soil Research* 5, pp47-57.
- Fletcher, J.E., and Carroll, P.H., 1948. Some Properties of Soils Associated with Piping in Southeastern Arizona. *Proc Soil Science Society of America*, pp 545-547.
- Forbes, P.J., Sheerman-Chase, A, and Birrell, J., 1980. *Control of Dispersion in the Mnjoli Dam*. International Water Power and Dam Construction, Vol.32, No.12.
- Ingles, O.G., and Wood, C.C., 1964. The Contribution of Soil and Water Cations to Deflocculation Phenomena in Earth Dams. *Proc 37th Congress of Australia and New Zealand Association for the Advancement of Science*. Canberra.
- Ingles, O.G., Lang, J.G and Richards, B.G, 1968. Pre-Equilibrium Observations on the Reconstructed Flagstaff Gully Dam. *Proc Symposium on Earth and Rockfill Dams*, Talwara, India, Vol.1, pp. 162-170.
- Knodel, P.C., 1991. *Characteristics and Problems of Dispersive Clay Soils*. Research Report no. R - 91-09. US Dept of Interior, Bureau of Reclamation. Denver, 17pp.
- Logani, K.L., 1979. *Dispersive Soils Chosen for Ullum Core*. World Water. August 1979
- Lutz, J.F., 1934. The Physico-Chemical Properties of Soil Affecting Erosion. *Research Bulletin 212*, Agricultural Experiment Station, University of Missouri.
- McDaniel, T.N, and Decker, R.S., 1979. Dispersive Soil Problem at Los Esteros Dam. *Journal of the Geotechnical Engineering Division*, ASCE, Vol.105, No.9, pp 1017-1030.
- McElroy, C.H., 1987. The use of chemical additives to control the erosive behavior of dispersive clays. *Proc Symposium on Engineering Aspects of Soil Erosion, Dispersive Clays and Loess*, ASCE Geotechnical Special Publication No.10, pp 1-16.
- Melvill, A.L., and Mackellar, D.C.R., 1980. The Identification and Use of Dispersive Soils at Elandsjagt Dam. *South Africa, 7th Regional Conference for Africa on Soil Mechanics and Foundation Engineering*, Accra.
- Murley, K.A., and Reilly, L.A, 1977. Experience with Assessment of Dispersive Soils. *Water Commission Victoria, NCOLD Bulletin* no. 49.
- Phillips, J.T., 1977. *Case Histories of Repairs and Designs for Dams Built with Dispersive Clay*, Dispersive Clays, Related piping and Erosion in Geotechnical Project. ASTM STP 623, pp 330-340.
- Rallings, R.A., 1966. An Investigation of the Causes of Failure of Farm Dams in the Brigelow Belt of Central Queensland. *Bulletin 10, Water Resources Foundation of Australia*.
- Richards, L.A., 1954. *Diagnosis and Improvement of Saline and Alkali Soils*. U.S Department of Agriculture Handbook no. 60. US Government Printing Office. Washington.
- Ryker, N. L., 1977. *Encountering Dispersive Clays on Soil Conservation Service Projects in Oklahoma*. Dispersive Clays, Related piping and Erosion in Geotechnical Project. ASTM STP 623, pp 370-389.
- Sherard, J.L., 1972. *Study of Piping Failure and Erosion damage from Rain in Clay Dams in Oklahoma and Mississippi*. Report to USDA Soil Conservation Service.
- Sherard, J.L., Ryker, N.L, and Decker, R.S., 1972. Piping in Earth Dams of Dispersive Clay. *Proc Specialty Conference on the Performance of Earth and Earth-Supported Structures*. ASCE, Vol.1, pp 653-689.
- Sherard, J.L., Dunnigan, L.P., Decker, R.S., and Steele, E.F., 1976(a). Pinhole Test for Identifying Dispersive Soils. *Journal of the Geotechnical Engineering Division*, ASCE, Vol.102, No.1, pp 69-85.
- Sherard, J.L., Dunnigan, L.P, and Decker, R.S, 1976(b). Identification and Natures of Dispersive Soils. *Journal of the Geotechnical Engineering Division*, ASCE, Vol.102, No.4, pp 287-301.
- USBR., 1990. *A Water Resources Technical Publication*. Earth Manual Part 2, 3rd Edition, US Department of Interior, Denver.
- Volk, G.M., 1937. Method of Determination of the Degree of Dispersion of the Clay Fraction. *Proceedings Soil Science Society of America*. Vol.2, pp 432-445.