

## **BAB II**

### **TINJAUAN PUSTAKA**

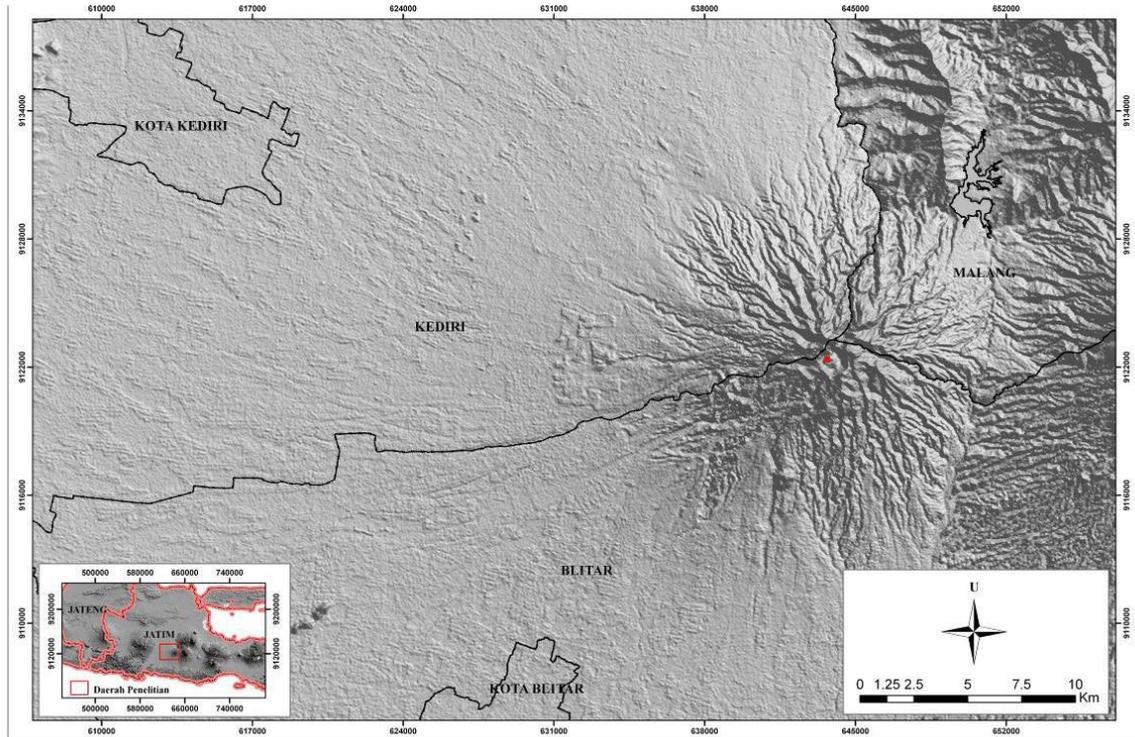
#### **2.1 Umum**

Gunung berapi merupakan sebuah gunung yang memiliki kawah yang berisi magma dari dalam perut bumi. Gunung berapi muncul diakibatkan oleh magma dari dalam bumi yang bergerak naik ke permukaan. Naiknya magma ke permukaan disebabkan oleh aktivitas tektonik yang berawal dari kondisi tidak seimbang litostatik di dalam bumi yang mengakibatkan terjadinya perbedaan tekanan penyebab aliran massa. Penyebab lain naiknya magma ke permukaan adalah adanya konduksi panas dari kantong magma ke lapisan batuan terdekat yang berisi gas, air tanah dan fluida lain yang disebut sebagai kantong fluida. Konduksi panas yang terus menerus menyebabkan peningkatan suhu dan tekanan pada kantong fluida, hingga suatu saat tidak dapat menahan tekanan gas. Akibatnya magma mengalir dan kemudian terjadilah erupsi.

Erupsi gunungapi melepaskan gas dan melemparkan benda padat lainnya ke langit (atmosfer) dalam bentuk pecahan batuan berupa blok, bom dan lapili. Erupsi gunung berapi dibedakan menjadi 2 (dua) yaitu erupsi efusif dan eksplosif. Erupsi efusif terjadi apabila produknya berbentuk aliran massa yang encer, komposisi magma basa seperti lava basal. Sedangkan erupsi eksplosif terjadi apabila magma bersifat asam menengah, seperti riolit, dasit, andesit dengan konsentrasi gas yang tinggi. Tingginya konsentrasi gas ini menyebabkan lava terfragmentasi menjadi abu, pasir, batu dan sering diikuti oleh gas vulkanik.

#### **2.2 Aktivitas Vulkanik Gunung Kelud**

Gunung Kelud merupakan salah satu gunungapi aktif di Indonesia, yang letaknya berada di perbatasan Kabupaten Kediri, Kabupaten Malang dan Kabupaten Blitar, Provinsi Jawa Timur. Secara geografis Gunung Kelud terletak pada  $7^{\circ}56'$  LS dan  $112^{\circ}18'30''$  BT dengan ketinggian puncak 1.731 m di atas permukaan laut. Salah satu sungai sebagai tempat dilewati aliran lahar dari Gunung Kelud di Kabupaten Malang adalah Sungai Kali Sambong yang terletak di Desa Pandansari Kecamatan Ngantang Kabupaten Malang. Dengan muntahan material piroklastik dari Gunung Kelud mengakibatkan banyaknya deposit berupa pasir, batu dan abu yang hingga kini ditambang oleh masyarakat sekitar.



Gambar 2.1 Peta Administrasi Gunung Kelud  
Sumber: Wardhana et al.,2014

Material piroklastik di Kabupaten Malang lebih dominan berupa abu dan pasir halus serta terdapat sedikit batu apung (*pumice*). *Pumice* yang jarang dijumpai di Kabupaten Malang memiliki ukuran yang cukup besar yakni lebih dari 10 cm. *Pumice* dengan ukuran besar dijumpai di daerah Waduk Selorejo. Waduk Selorejo sendiri berjarak 6 km dari pusat erupsi dan merupakan daerah yang datar berupa lembah sehingga *pumice* berukuran besar mampu sampai ke Waduk Selorejo.



Gambar 2.2 Lokasi Pengambilan Sampel, Sungai Kali Sambong  
Sumber: Dokumentasi (2017)

## 2.3 Material Piroklastik Gunung Berapi

### 2.3.1 Batu Apung (*Pumice*)

Batu Apung (*Pumice*) adalah jenis batuan beku yang terbentuk dari hasil letusan gunungapi yang mengeluarkan materialnya ke langit, yang kemudian mengalami transportasi dan terakumulasi sebagai batuan piroklastik.

Batu apung berwarna abu-abu atau coklat. Batu apung termasuk batuan beku karena magma yang keluar dari lubang kepundan gunungapi sebagai erupsi, mendingin dengan cepat dan membeku di permukaan bumi. Batu apung memiliki titik rongga seperti pori-pori yang tersebar secara tidak merata, pori-pori ini terbentuk dari adanya gelembung udara atau gas ketika proses pembentukannya. Proses pembentukan batu apung terjadi bila magma asam muncul ke permukaan dan bersentuhan dengan udara secara tiba-tiba. Buih gelas alam dengan gas yang terkandung di dalamnya mempunyai kesempatan untuk keluar dan magma membeku dengan sekejap. Batuan apung teksturnya cenderung halus dan kadang pula kasar. Batu apung yang terletak di Indonesia kebanyakan memiliki ciri-ciri berwarna abu-abu, memiliki pori yang berhubungan satu sama lain di seluruh permukaan batuan dan terapung di air.



Gambar 2.3 Batu Apung (*pumice*)

Sumber: Dokumentasi (2017)

### 2.3.2 Batuan Piroklastik

Batuan piroklastik sama seperti batu apung yang merupakan salah satu jenis batuan beku yang terbentuk karena dari pembekuan letusan gunungapi yang mengeluarkan materialnya ke udara.

Secara kasat mata dalam pengelompokan batuan piroklastik terdapat batu scoria dengan jumlah yang cukup dominan, namun tidak semua batuan yang dikelompokkan dalam kelompok batuan piroklastik ini hanya terdapat batu scoria saja, karena pada saat pengelompokan batuan piroklastik juga terdapat batuan lain yang ringan (*light-weight materials*) sehingga sejalan dengan arah penelitian ini. Batuan piroklastik memiliki warna yang cenderung hitam dan kemerahan. Batuan piroklastik memiliki rongga seperti pori-pori

yang membentuk elip atau bulat yang tersebar secara tidak merata, pori-pori ini terbentuk dari adanya gelembung udara atau gas ketika pembentukannya. Batuan piroklastik memiliki tekstur vesikuler seperti batu apung dan batu scoria dengan ukuran lubang atau pori yang bervariasi dan berhubungan satu sama lain. Batuan piroklastik termasuk batuan beku karena magma yang keluar dari lubang kepundan gunungapi sebagai erupsi, kemudian mendingin dengan cepat dan membeku di permukaan bumi.



Gambar 2.4 Batuan Piroklastik  
Sumber: Dokumentasi (2017)

### 2.3.3 Pasir

Selain berdampak negatif, dari hasil erupsi Gunung Kelud juga dapat mendatangkan manfaat. Dampak positif yang dapat dirasakan ialah abu vulkanik dapat mengusir hama yang mejadi musuh petani. Dalam jangka panjang abu vulkanik sangat berdampak positif bagi peningkatan produktivitas tanah, saat kadar keasaman abu vulkanik telah dinetalisasi secara alamiah, maka kandungan mineral dalam kandungan abu vulkanik mejadikan pupuk alamiah yang sangat baik bagi tanaman pertanian.

Melimpahnya pasir paska terjangan lahar dingin di sungai yang alirannya dilewati lahar dingin mendatangkan berkah bagi para penambang pasir. Dari sudut pandang keteknikan, pasir hasil erupsi Gunung Kelud dianggap mempunyai kualitas yang baik untuk digunakan sebagai material dalam suatu konstruksi.

## 2.4 Pemanfaatan Batu Apung, Batuan Piroklastik dan Pasir

Batu apung, batuan piroklastik dan pasir terdapat sangat melimpah di Indonesia, material-material ini memiliki potensi besar untuk dimanfaatkan, seperti pemanfaatan dalam bidang sektor konstruksi dan sektor industri namun belum banyak yang memanfaatkannya. Dalam sektor konstruksi material piroklastik dapat dimanfaatkan untuk pembuatan agregat ringan dan beton. Agregat ringan karena mempunyai karakteristik yang sangat menguntungkan yaitu ringan dan kedap suara. Sebagai contoh, berat spesifik batu apung dan

scoria sebesar  $650 \text{ kg/cm}^3$ ; bandingkan dengan bata biasa seberat  $1.800\text{--}2.000 \text{ kg/cm}^3$ . Dari batu apung dan scoria lebih mudah dicetak menjadi *block-block* yang berukuran besar, sehingga dapat mengurangi plesteran. Kelebihan lain dari penggunaan batu apung dan scoria dalam pembuatan agregat adalah tahan terhadap api, jamur dan panas serta cocok untuk peredam akustik. Sedangkan dalam sektor industri batu apung dan scoria dimanfaatkan untuk berbagai macam bahan, seperti semen, cat maupun plamir.

## 2.5 Pengujian Karakteristik Fisik dan Mineralogi

### 2.5.1 Karakteristik Gradasi Butiran

Analisis Saringan atau ayakan (*Sieve analysis*) merupakan suatu pemeriksaan yang dilakukan untuk menentukan pembagian susunan ukuran butiran suatu tanah. Dalam analisis ayakan dilakukan dengan pengayakan butiran tanah yang telah dipisahkan terlebih dahulu kemudian diayak dengan ayakan yang diameternya tersusun mulai diameter terbesar sampai terkecil dan diayak dengan mesin penggetar selama  $\pm 15$  menit. *Sieve Analysis* banyak digunakan untuk mengetahui proses dalam penentuan sifat-sifat fisik dari tanah yang akan diuji. Dimana tanah merupakan material yang terdiri dari agregat (butiran) mineral-mineral padat yang tidak tersementasi satu sama lain dan berasal dari bahan-bahan organik dan anorganik yang telah melapuk. Sifat-sifat fisik tanah tersebut, yaitu berupa ukuran butir, berat jenis tanah dan kekuatan tanah tersebut beserta komposisi kandungan tanah. Tujuan dari *sieve analysis* antara lain untuk mengetahui suatu tanah yang akan diuji, apakah tanah tersebut bergradasi buruk, bergradasi seragam ataupun bergradasi baik, sekaligus untuk mengetahui ukuran butir tanah.



Gambar 2.5 Alat Analisis Saringan  
Sumber: Lauw Tjun Nji (2011)

### 2.5.2 Karakteristik *Specific Gravity* (Gs)

Berat jenis (*specific gravity*) tanah (Gs) merupakan sebagai perbandingan antara berat volume butiran padat ( $\gamma_s$ ) dengan berat volume air ( $\gamma_w$ ) pada temperatur tertentu. *Specific gravity* banyak digunakan dalam berbagai macam keperluan perhitungan dalam mekanika tanah. Berat jenis dari berbagai jenis tanah berkisar antara 2,65 sampai 2,75 biasanya digunakan untuk tanah-tanah tak berkoheisi. Sedangkan tanah koheisi tak organik berkisar di antara 2,68 sampai 2,72. Nilai berat jenis (Gs) dari berbagai jenis tanah adalah sebagai berikut:

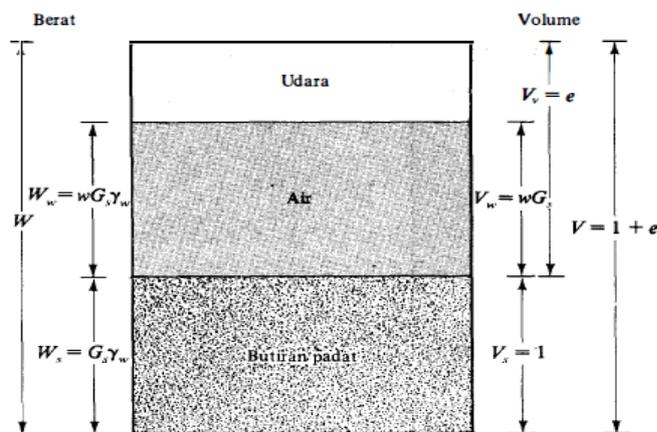
Tabel 2.1 Harga Gs Beberapa Jenis Tanah

Macam Tanah	Berat Jenis (Gs)
Kerikil	2,65-2,68
Pasir	2,65-2,68
Lanau Tak Organik	2,62-2,68
Lempung Organik	2,58-2,65
Lempung Tak Organik	2,68-2,75
Humus	1,37
Gambut	1,25-1,80

Sumber: (Hardiyatmo, 2006)

### 2.5.3 Karakteristik Kerapatan (*Density*) dan Angka Pori (*Void Ratio*)

Tanah dapat terdiri dari dua atau tiga bagian. Dalam tanah yang kering, maka tanah hanya terdiri dari dua bagian, yaitu butir-butir tanah dan pori-pori udara. Dalam tanah yang jenuh juga terdapat 2 (dua) bagian, yaitu bagian padat atau butiran dan air pori. Dalam keadaan tidak jenuh, tanah terdiri dari 3 (tiga) bagian, yaitu bagian padat (butiran), pori-pori udara, dan air pori. Untuk mendapatkan hubungan antara berat volume (atau kepadatan), angka pori, dan kadar air pada suatu elemen tanah maka dapat digambarkan sebagai suatu diagram fase seperti pada Gambar 2.6.



Gambar 2.6 Tiga Fase Elemen Tanah Dengan Volume Butiran Padat Sama Dengan 1  
Sumber: M. Das (1993:34)

Dari memperhatikan gambar tersebut dapat dibentuk persamaan:

$$W_s = G_s \gamma_w$$

$$W_w = w W_s = w G_s \gamma_w \quad (2-1)$$

dengan:

$G_s$  = berat spesifik butiran padat

$w$  = kadar air

$\gamma_w$  = berat volume air.

Apabila tanah keadaan jenuh air (*saturated*) dimana ruang pori terisi penuh oleh air berat volume tanah yang jenuh air dapat ditentukan dengan persamaan:

$$\gamma = \frac{W}{V} = \frac{W_s + W_w}{V} = \frac{G_s \gamma_w + w G_s \gamma_w}{1 + e} = \frac{(1 + w) G_s \gamma_w}{1 + e} \quad (2-2)$$

dan

$$\gamma_d = \frac{W_s}{V} = \frac{G_s \gamma_w}{1 + e} \quad (2-3)$$

Karena berat air dalam elemen tanah yang ditinjau adalah  $w G_s \gamma_w$ , volume yang ditempati air adalah:

$$V_w = \frac{W_w}{\gamma_w} = \frac{w G_s \gamma_w}{\gamma_w} = w G_s$$

Maka dari itu, derajat kejenuhan merupakan perbandingan antara volume air dengan volume pori adalah:

$$S = \frac{V_w}{V_v} = \frac{w G_s}{e}$$

atau

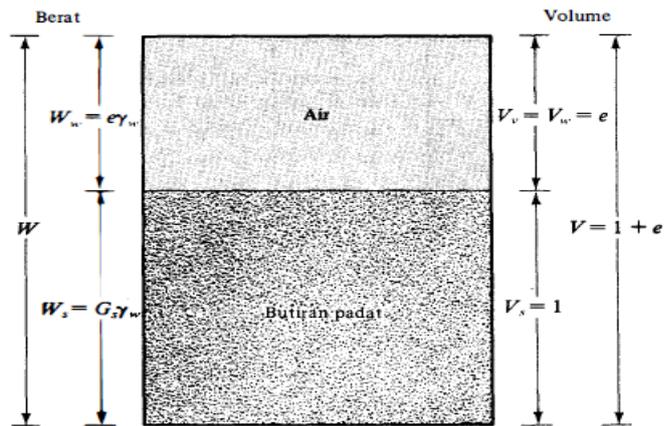
$$S e = w \cdot G_s \quad (2-4)$$

Apabila tanah dalam keadaan jenuh air (*saturated*) yaitu ruang pori terisi penuh oleh air, maka berat volume tanah yang jenuh air dapat ditentukan dengan cara yang sama seperti di atas:

$$\gamma_{sat} = \frac{W}{V} = \frac{W_s + W_w}{V} = \frac{G_s \gamma_w + e \gamma_w}{1 + e} = \frac{(G_s + e) \gamma_w}{1 + e} \quad (2-5)$$

dengan:

$\gamma_{sat}$  = berat volume tanah yang jenuh air.



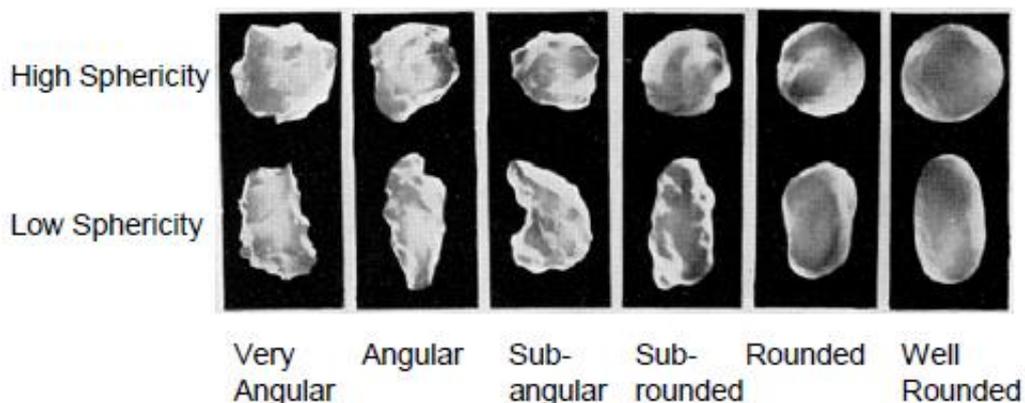
Gambar 2.7 Elemen Tanah yang Jenuh Air dengan Volume Butiran Padat Sama  
Sumber: M. Das (1993:35)

#### 2.5.4 Sphericity and Roundness

Perilaku atau sifat mekanik dari material berbutir ditentukan terutama oleh struktur dan tegangan efektif yang diterapkan. Struktur tanah berbutir dipengaruhi oleh susunan (*arrangement*) partikel dan kepadatan. Ukuran partikel, bentuk dan distribusinya pada suatu susunan gabungan beberapa partikel dan kontak antar butiran akan membentuk suatu fabrik dari tanah (*soil fabric*).

Bentuk (*shape*) dari suatu partikel tanah atau material sedimen umumnya tergantung kepada bentuk geometriknya, yang dapat dilihat dari dua konsep yang berbeda yaitu *sphericity* dan *roundness*. *Sphericity* dan *roundness* merupakan ukuran dari dua aspek yang berbeda dari sifat morfologi butiran atau partikel, *sphericity* dipengaruhi oleh panjang butiran sedangkan *roundness* dipengaruhi oleh kekasaran sudut atau tonjolan di permukaan butiran.

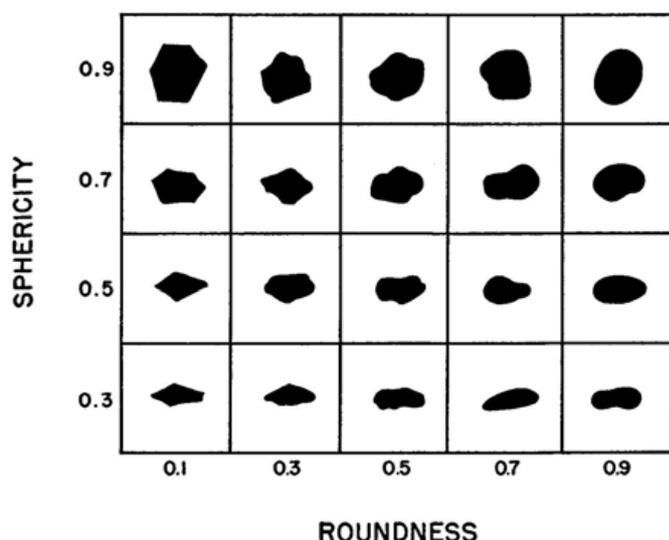
*Sphericity* suatu partikel mempengaruhi jenis erosi, transportasi dan pola deposisi suatu material sedimen. Suatu partikel yang datar (*flat*) akan bergerak atau bergulir dengan cara yang berbeda dengan partikel yang sferis (*spherical*). *Roundness* secara sederhana dapat didefinisikan sebagai kehalusan permukaan (*smooth*) suatu butiran. Karena itu, butiran yang datar dapat berbentuk bundar (*round*) meskipun tidak sferis (*spherical*). *Sphericity* dan *Roundness* dari partikel berhubungan dengan jarak tempuh partikel tersebut mampu bergerak atau bergulir selama proses transportasi.



Gambar 2.8 Grafik Pembacaan *Sphericity and Roundness*  
 Sumber: Krumbein, 1941; Krumbein and Sloss, 1963; Powers, 1953).

### 2.5.5 Bentuk Partikel (*Particle Shape*)

Bentuk partikel (*particle shape*) merupakan suatu karakteristik tanah yang berperan penting pada perilaku mekanik tanah. Pada skala kecil, tekstur tanah, yang merefleksikan aspek kekasaran butiran seperti kehalusan permukaan, kebundaran tepi dan ujung butiran menjadi aspek yang sangat penting untuk dipelajari. Pengetahuan tentang morfologi partikel pada bidang ilmu mekanika tanah umumnya dilakukan dengan cara membandingkan antar individu butiran dengan bantuan grafik standar, misalnya grafik yang diusulkan oleh Krumbein (1941). Grafik dari Krumbein ini dapat digunakan untuk mengestimasi harga *sphericity* dan *roundness* dari suatu butiran material tanah atau sedimen.



Gambar 2.9 Grafik Pembacaan *Sphericity and Roundness*  
 Sumber: Krumbein, 1941; Krumbein and Sloss, 1963; Powers, 1953).

### 2.5.6 Pengujian SEM-EDX (*Scanning Electron Microscopes–Energy Dispersive X Ray*)

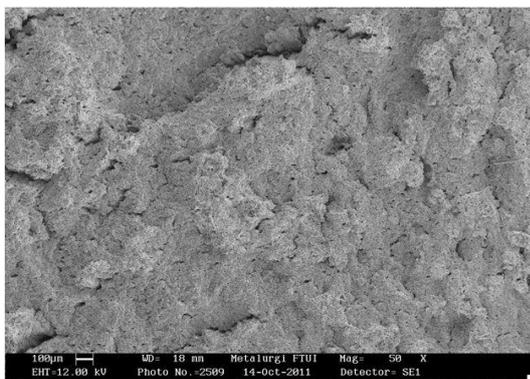
SEM merupakan sebuah mikroskop elektron untuk mengamati permukaan objek solid secara langsung. SEM memiliki perbesaran 10–3.000.000 kali, *depth of field* 4–0.4 mm dan resolusi sebesar 1–10 nm. Kombinasi dari perbesaran yang tinggi, *depth of field* yang besar, resolusi yang baik, kemampuan untuk mengetahui komposisi dan informasi kristalografi membuat SEM banyak digunakan untuk keperluan penelitian dan industri (Prasetyo, 2011). Pengujian SEM memfokuskan sinar elektron (*electron beam*) dipermukaan obyek dan mengambil gambarnya dengan mendeteksi elektron yang berasal dari permukaan obyek. Ada 2 (dua) tipe operasional pada SEM, *Low Vacuum* (untuk sampel non-konduktif) dan *High Vacuum* (untuk sampel konduktif). Untuk menguji kandungan unsur pada bahan yang dilihat pada struktur permukaannya, alat ini juga dilengkapi EDX.

Adapun kelebihan teknik SEM yaitu terdapat sistem vakum pada *electron-optical column* dan sampel *chamber* yang bertujuan antara lain:

- Menghilangkan efek pergerakan elektron yang tidak beraturan karena adanya molekul gas pada lingkungan tersebut, yang dapat mengakibatkan penurunan intensitas dan stabilitas
- Meminimalisir gas yang dapat bereaksi dengan sampel atau mengendap pada sampel, baik gas yang berasal dari sampel atau pun mikroskop. Karena apabila hal tersebut terjadi, maka akan menurunkan kontras dan membuat gelap detail pada gambar

Sedangkan kelemahan dari teknik SEM antara lain:

- Memerlukan kondisi vakum
- Hanya menganalisa permukaan
- Resolusi lebih rendah dari TEM
- Sampel harus bahan yang konduktif, jika tidak konduktor maka perlu dilapis logam seperti emas



Gambar 2.10 Contoh Hasil Pengujian SEM - EDX  
Sumber: fannowidy (2011)

### 2.5.7 Pengujian X-RF (*X-Ray Fluorecense*)

*X-RF* merupakan alat untuk menganalisa komposisi kimia dan konsentrasi unsur-unsur dalam suatu sampel. Pada umumnya *X-RF* digunakan untuk menganalisa unsur dalam mineral atau batuan. Prinsip kerja metode analisa *X-RF* berdasarkan terjadinya tumbukan atom-atom pada permukaan sampel oleh sinar X. Hasil analisa kualitatif dilakukan untuk menganalisa jenis unsur yang terkandung dalam sampel dan analisa kuantitatif untuk menentukan konsentrasi unsur dalam sampel.

Adapun beberapa kelebihan dari *X-RF* antara lain:

- Mudah digunakan dan sampel dapat berupa padat, bubuk (butiran) dan cairan.
- Tidak merusak sampel (*Non Destructive Test*), sampel utuh dan analisa dapat dilakukan berulang kali.
- Banyak unsur dapat dianalisa sekaligus (Na-U).
- Konsentrasi dari ppm hingga 100%.
- Hasil keluar dalam beberapa detik (tidak memerlukan waktu lama).
- Menjadi metoda analisa unsur standar dengan banyaknya metoda analisa ISO dan ASTM yang mengacu pada analisa *X-RF*.

Sedangkan kelemahan dari *X-RF* salah satunya:

- Tidak dapat mengetahui senyawa yang dibentuk oleh unsur-unsur yang terkandung dalam material yang akan diteliti.

15-Mar-2011 14:19:21 Page 1

**Sample results**

Sample ident													
Batu Coklat Tua (Asli)													

<b>Application</b>	<Standardless>
<b>Sequence</b>	1 of 1
<b>Measurement time</b>	07-Mar-2011 09:56:56
<b>Position</b>	5

Compound	Al	Si	P	S	K	Ca	Ti	V	Cr	Mn	Fe	Cu	Zn
<b>Conc</b>	7.9	11.8	6.80	4.76	2.18	17.5	1.85	0.13	0.099	0.59	44.0	0.64	0.80
<b>Unit</b>	%	%	%	%	%	%	%	%	%	%	%	%	%

Compound	Eu	Re
<b>Conc</b>	0.5	0.4
<b>Unit</b>	%	%

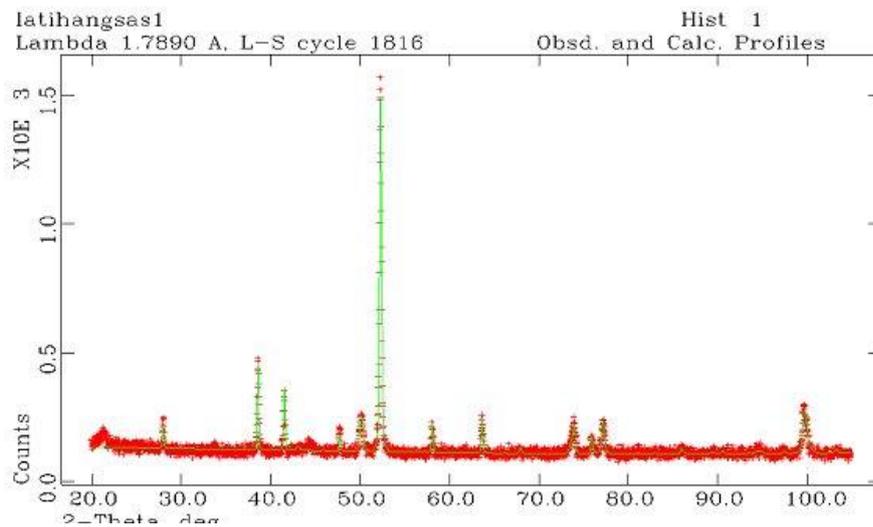
Gambar 2.11 Contoh Hasil Pengujian *X-RF*

Sumber: Laboratorium Central FMIPA UM (2011)

### 2.5.8 Pengujian *X-RD* (*X-Ray Diffraction*)

Difraksi sinar X pertama kali ditemukan oleh *Max von Laue* tahun 1913 dan pengembangannya oleh *Bragg*, merupakan salah satu metode baku yang penting untuk mengkarakterisasi material. Sampai sekarang metode difraksi sinar X digunakan untuk mendapatkan informasi struktur kristal material logam, mineral, senyawa inorganik, polimer, material organik, superkonduktor (Suharyana, 2012).

*X-RD* terdiri dari tiga bagian utama, yaitu tabung sinar X, tempat objek yang diteliti, dan detektor sinar X. Sinar X dihasilkan di tabung sinar X yang berisi katoda memanaskan filamen, sehingga menghasilkan elektron. Perbedaan tegangan menyebabkan percepatan elektron akan menembaki objek. Ketika elektron mempunyai tingkat energi yang tinggi dan menabrak elektron dalam objek sehingga dihasilkan pancaran sinar X. Objek dan detektor berputar untuk menangkap dan merekam intensitas refleksi sinar X.



Gambar 2.12 Contoh Hasil Pengujian *X-RD*

Sumber: Laboratorium Central FMIPA UM (2011)

### 2.5.9 Pengujian AAS (*Atomic Absorbtion Spectroscopi*)

*Atomic Absorbtion Spectroscopi* merupakan spektroskopi yang prinsipnya adalah penyerapan cahaya oleh atom. Atom akan menyerap cahaya pada suatu panjang gelombang tertentu, bergantung pada sifat unsurnya. Serapan cahaya pada panjang gelombang mempunyai energi untuk mengubah tingkat elektronik suatu atom. Pada spektroskopi serapan atom terjadi penyerapan energi sehingga atom mengalami transisi elektronik dari keadaan dasar menjadi keadaan tereksitasi.

Dalam metode ini, analisa didasarkan kepada pengukuran intensitas sinar yang diserap oleh atom sehingga terjadilah eksitasi. Untuk dapat terjadi proses absorpsi atom diperlukan sumber radiasi monokromatik dan alat untuk menguapkan sampel sehingga diperoleh atom dalam keadaan dasar dari unsur yang diinginkan. Spektrofotometri serapan atom dapat

dikatakan metode analisis yang tepat untuk meng analisa analit terutama logam-logam dengan konsentrasi rendah.

## 2.6 Karakteristik Sebagai Bahan Geoteknik

### 2.6.1 Sistem Klasifikasi AASHTO

Sistem klasifikasi ini dikembangkan dalam tahun 1929 sebagai *Public Road Administration Classification System*. Sistem ini sudah mengalami beberapa perbaikan, versi yang saat ini berlaku adalah yang diajukan oleh *Committee on Classification of Materials for Subgrade and Granular Type Road of the Highway Research Board* dalam tahun 1945 (ASTM Standard no D-3282, AASHTO metode M 1 45). Sistem klasifikasi AASHTO yang dipakai saat ini diberikan dalam Tabel 2.2. Pada sistem ini, tanah diklasifikasikan ke dalam tujuh kelompok besar, yaitu A-1 sampai dengan A-7. Tanah yang diklasifikasikan ke dalam A-1 , A-2, dan A-3 adalah tanah berbutir di mana 35% atau kurang dari jumlah butiran tanah tersebut lolos ayakan No. 200. Tanah di mana lebih dari 35% butirannya lolos ayakan No. 200 diklasifikasikan ke dalam kelompok A-4, A-5 , A-6, dan A-7. Butiran dalam kelompok A-4 sampai dengan A-7 tersebut sebagian besar adalah lanau dan atau lempung.

Tabel 2.2 Klasifikasi Tanah Sistem AASHTO

Klasifikasi Umum	Tanah berbutir (35% atau kurang dari seluruh contoh tanah lolos ayakan No. 200)							Tanah lanau - lempung (lebih dari 35% dari seluruh contoh tanah lolos ayakan No. 200)			
	A-1		A-3	A-2				A-4	A-5	A-6	A-7
	A-1a	A-1b		A-2-4	A-2-5	A-2-6	A-2-7				A-7-5* A-7-6**
Analisis ayakan (% lolos)											
No. 10	Maks 50	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---
No. 40	Maks 30	Maks 50	Min 51	---	---	---	---	---	---	---	---
No. 200	Maks 15	Maks 25	Maks 10	Maks 35	Maks 35	Maks 35	Maks 35	Min 36	Min 36	Min 36	Min 36
Sifat fraksi yang lolos ayakan No. 40											
Batas Cair (LL)	---		---	Maks 40	Min 41	Maks 40	Min 41	Maks 40	Min 41	Maks 40	Min 41
Indek Plastisitas (PI)	Maks 6		NP	Maks 10	Maks 10	Min 11	Min 11	Maks 10	Maks 10	Min 11	Min 11
Tipe material yang paling dominan	Batu pecah, kerikil dan pasir		Pasir halus	Kerikil dan pasir yang berlanau atau berlempung				Tanah berlanau		Tanah berlempung	
Penilaian sebagai bahan tanah dasar	Baik sekali sampai baik							Biasa sampai jelek			

Keterangan : \* Untuk A-7-5,  $PI \leq LL - 30$

\*\* Untuk A-7-6,  $PI > LL - 30$

Sumber: Braja M. Das, 1995:67

Sistem klasifikasi AASHTO didasarkan atas kriteria sebagai berikut:

#### 1. Ukuran butir

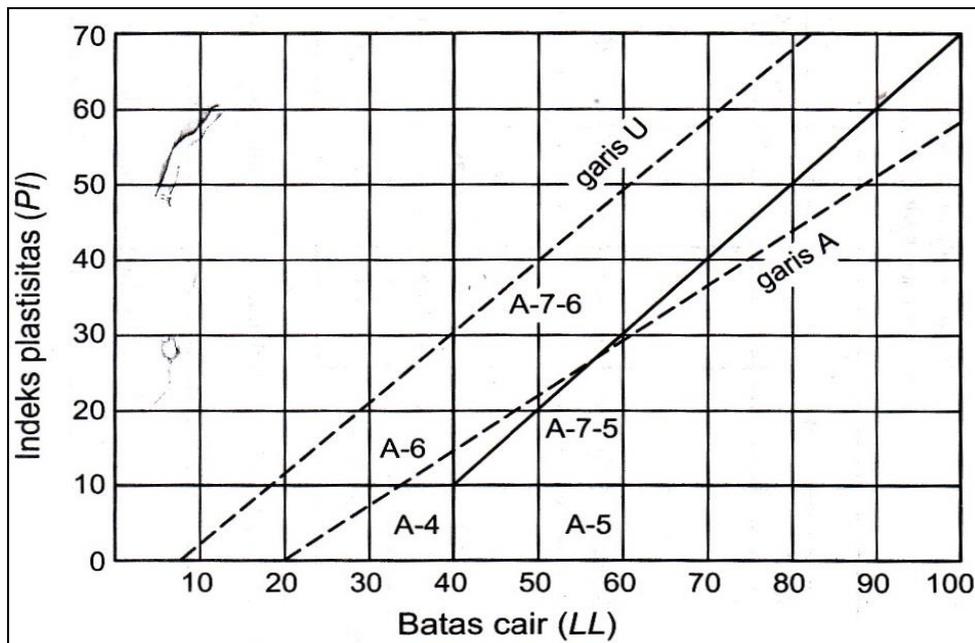
Kerikil adalah bagian tanah yang lolos ayakan dengan diameter 75 mm dan yang tertahan pada ayakan No.10 (2 mm). Sedangkan pasir adalah bagian tanah yang lolos ayakan No.10 (2 mm) dan tertahan pada ayakan No.200 (0,075 mm).

## 2. Plastisitas

Nama berlanau dipakai apabila bagian-bagian yang halus dari tanah mempunyai indeks plastisitas ( $PI \leq 10$ ). Nama berlempung dipakai apabila tanah mempunyai  $PI > 11$ .

3. Apabila batuan (ukuran  $> 75$  mm) ditemukan dalam contoh tanah yang akan diklasifikasikan, maka batuan-batuan tersebut harus dikeluarkan terlebih dahulu. Tetapi persentasenya harus tetap dicatat.

Gambar 2.13 menunjukkan suatu gambar dari rentang batas cair (LL) dan indeks Plastisitas (PI) untuk tanah yang masuk ke dalam kelompok A-2, A-4, A-5, A-6, dan A-7.



Gambar 2.13 Rentang (*Range*) dari Batas Cair (LL) dan Indeks Plastisitas (PI) untuk Tanah

Sumber: Braja M. Das, 1995:68

Untuk menilai kualitas tanah sebagai bahan *subgrade* jalan raya dapat ditentukan dengan angka indeks kelompok (*Group Index=GI*) yang menentukan kelompok dan sub kelompok tanah.

Indeks kelompok dapat dihitung dengan persamaan:

$$GI = (F - 35) [0,2 + 0,005 (LL - 40)] + 0,01 (F - 15) (PI - 10) \quad (2-6)$$

keterangan :

F = persentase butir yang lolos ayakan No. 200

LL = batas cair

PI = indeks plastisitas

Suku pertama dalam persamaan (2-6) dalam hal ini:

$(F - 35) [0,2 + 0,005 (LL - 40)]$  merupakan bagian indeks kelompok tetap batas cair. Suku kedua, dalam hal ini  $0,01 (F - 15) (PI - 10)$  merupakan bagian indeks kelompok tetap indeks plastisitas.

Berikut ini ketentuan-ketentuan untuk menentukan indeks kelompok:

- a. Jika dalam perhitungan, menghasilkan harga  $GI$  negatif, maka diambil=0
- b. Indeks kelompok yang dihitung dari persamaan (2-6) dibulatkan ke bilangan bulat yang terdekat, misalnya:  $GI=3,40$  dibulatkan menjadi=3 dan  $GI=3,50$  dibulatkan menjadi=4 dan ditempatkan dalam tanda kurung dibelakang kelompok dan sub kelompok tanah misalnya: A-2-6 (4). Pada umumnya makin besar nilai indeks kelompoknya, makin kurang baik tanah tersebut untuk dipakai dalam pembangunan jalan raya, untuk tanah-tanah di dalam sub kelompok tersebut
- c. Dalam hal ini tidak ada batas lebih tinggi untuk indeks kelompok
- d. Indeks kelompok tanah digolongkan ke dalam kelompok-kelompok A-1-a, A-1-b, A-2-4, A-2-5 dan A-3 akan selalu nol
- e. Jika menghitung indeks kelompok untuk tanah-tanah yang tergolong dalam kelompok-kelompok A-2-6 dan A-2-7, maka bagian indeks kelompok untuk  $PI$  dapat digunakan persamaan:

$$GI = 0,01 (F-15) (PI - 10) \quad (2-7)$$

Pada dasarnya, kualitas tanah yang digunakan untuk bahan tanah dasar dapat dinyatakan sebagai kebalikan dari harga indeks grup.

### 2.6.2 Sistem Klasifikasi USCS

Sistem ini pada mulanya diperkenalkan oleh *Casagrande* (1942) dan diperuntukan pada pekerjaan pembuatan lapangan terbang yang dilaksanakan oleh *The Army Corps of Engineers*. Pada tahun 1952 sistem ini disempurnakan dalam rangka kerja sama dengan *Unifield States Bureau Of Reclamation*.

Sistem klasifikasi berdasarkan hasil-hasil percobaan di laboratorium yang paling banyak dipakai secara meluas adalah sistem klasifikasi kesatuan tanah. Percobaan laboratorium yang dipakai adalah analisis ukuran butir dan batas-batas *Atterberg*. Semua tanah diberi 2 (dua) huruf penunjuk berdasarkan hasil-hasil percobaan ini. Sistem ini mengelompokkan tanah ke dalam 2 (dua) kelompok, yaitu:

1. Tanah berbutir kasar (*coarse grained soil*), yaitu tanah kerikil dan pasir dimana kurang dari 50% berat total contoh tanah lolos ayakan No. 200. Simbol dari kelompok ini dimulai dengan huruf awal *G*, adalah untuk kerikil (*gravel*) atau tanah berkerikil dan *S*, adalah untuk pasir (*sand*) atau tanah berpasir
2. Tanah berbutir halus (*fine grained soil*), yaitu kerikil dan pasir dimana lebih dari 50% berat total contoh tanah lolos ayakan No. 200. Simbol dari kelompok ini dimulai dengan huruf awal *M* untuk lanau (*silt*) anorganik, *C* untuk lempung (*clay*) anorganik dan *O* untuk lanau-organik dan lempung-organik. Simbol *PT* digunakan untuk tanah gambut (*peat*), *muck* dan tanah-tanah lain dengan kadar organik yang tinggi

Tanah berbutir kasar ditandai dengan simbol kelompok seperti: *GW*, *GP*, *GM*, *GC*, *SW*, *SP*, *SM* dan *SC*. Untuk klasifikasi yang benar, perlu diperhatikan faktor-faktor berikut ini:

1. persentase butiran yang lolos ayakan No. 200 (ini adalah fraksi halus)
2. persentase fraksi kasar yang lolos ayakan No. 40
3. koefisien keseragaman ( $C_u$ ) dan koefisien gradasi ( $C_c$ ) untuk tanah dimana 0–12% lolos ayakan No. 200
4. batas cair (*LL*) dan indeks plastisitas (*IP*) bagian tanah yang lolos ayakan No. 40 (untuk tanah dimana 5% atau lebih lolos ayakan No. 200)

Simbol-simbol lain yang digunakan untuk klasifikasi USCS adalah:

*W* = *well graded* (tanah dengan gradasi baik)

*P* = *poorly graded* (tanah dengan gradasi buruk)

*L* = *low plasticity* (plastisitas rendah) ( $LL < 50$ )

*H* = *high plasticity* (plastisitas tinggi) ( $LL > 50$ )

Bilamana persentase butiran yang lolos ayakan No. 200 adalah antara 5 sampai 12%, simbol ganda seperti: *GW-GM*, *GP-GM*, *GW-GC*, *GP-GC*, *SW-SM*, *SW-SC*, *SP-SM* dan *SP-SC* diperlukan, secara jelas dapat diberikan dalam Tabel 2.3.

Tabel 2.3 Sistem Klasifikasi Tanah *Unified*

Divisi Utama		Simbol Kelompok	Nama Jenis	Kriteria laboratorium			
Tanah berbutir kasar 50% atau lebih tertahan saringan no. 200 (0,075 mm)	Kerikil 50% atau lebih dari fraksi kasar tertahan saringan no. 4 (4,75 mm)	Kerikil bersih (sedikit atau tak ada butiran halus)	GW	Kerikil gradasi baik dan campuran pasir - kerikil, sedikit atau tidak mengandung butiran halus	$C_u = \frac{D_{60}}{D_{10}} > 4$ , $C_c = \frac{(D_{30})^2}{D_{10} \times D_{60}}$ antara 1 dan 3 Tidak memenuhi kriteria untuk GW Batas-batas Atterberg di bawah garis A atau $P_l < 4$ Batas-batas Atterberg di atas garis A atau $P_l > 7$		
			GP	Kerikil gradasi buruk dan campuran pasir - kerikil, atau tidak mengandung butiran halus			
		Kerikil banyak kandungan butiran halus	GM	Kerikil berlanau, campuran kerikil pasir-lempung			
			GC	Kerikil berlempung, campuran kerikil pasir-lempung			
	Pasir lebih dari 50 % fraksi kasar lolos saringan no. 4 (4,75 mm)	Kerikil bersih (sedikit atau tak ada butiran halus)	SW	Pasir gradasi baik, pasir berkerikil, sedikit atau tidak mengandung butiran halus	$C_u = \frac{D_{60}}{D_{10}} > 6$ , $C_c = \frac{(D_{30})^2}{D_{10} \times D_{60}}$ antara 1 dan 3 Tidak memenuhi kriteria untuk SW Batas-batas Atterberg di bawah garis A atau $P_l < 4$ Batas-batas Atterberg di atas garis A atau $P_l > 7$		
			SP	Pasir gradasi buruk, pasir berkerikil, sedikit atau tidak mengandung butiran halus			
		Kerikil banyak kandungan butiran halus	SM	Pasir berlanau, campuran pasir - lanau			
			SC	Pasir berlempung, campuran pasir - lempung			
			Klasifikasi berdasarkan persentase butiran halus, kurang dari 5% lolos saringan no. 200 : GW, GP, SW, SP. Lebih dari 12% lolos saringan no. 200 : GM, GC, SM, SC. 5% - 12% lolos saringan no. 200 : Batasan klasifikasi yang mempunyai simbol double				
Tanah berbutir halus 50% atau lebih lolos saringan no. 200 (0,075 mm)	Lanau dan lempung batas cair 50 % atau kurang	ML	Lanau tak organik dan pasir sangat halus, serbuk batuan atau pasir halus berlanau atau berlempung				
		CL	Lempung tak organik dengan plastisitas rendah sampai sedang, lempung berkerikil, lempung berpasir, lempung berlanau, lempung kurus ("lean clays")				
		OL	Lanau organik dan lempung berlanau organik dengan plastisitas rendah				
	Lanau dan lempung batas cair > 50 %	MH	Lanau tak organik atau pasir halus diatomae, lanau elastis				
		CH	Lempung tak organik dengan plastisitas tinggi, lempung gemuk ("fat clays")				
		OH	Lempung organik dengan plastisitas sedang sampai tinggi				
	Tanah dengan kadar organik tinggi		P <sub>t</sub>		Gambut ("peat") dan tanah lain dengan kandungan organik tinggi	Manual untuk identifikasi secara visual dapat dilihat di ASTM Designation D-2488	

Sumber: Braja M. Das, 1995:71

2.6.3 Sistem Klasifikasi *The Japanese Geotechnical Society (JGS)*

*The Japanese Geotechnical Society*, JGS mengusulkan tambahan klasifikasi geoteknik dari tanah vulkanik tergantung pada (*Finer Content*)  $F_c$  (%) (< 75  $\mu$ m) dan batas cair ( $LL$ ), dan lain-lain ditunjukkan pada Tabel 2.4. Dalam penelitian JGS menggunakan tanah vulkanik di Hokkaido. Tanah di Hokkaido dibedakan tanah vulkanik  $F_c < 50\%$  dan  $F_c \geq 50\%$  sebagai vulkanik kasar tanah dan tanah halus vulkanik. Tanah kasar vulkanik merupakan sedimen primer atau sekunder yang dihasilkan oleh abu vulkanik, batu apung dan batu scoria, sedangkan tanah halus vulkanik merupakan material vulkanik yang mengalami pelapukan sehingga menjadi pasir. Sedimen primer lebih jatuh terlebih dahulu dan terdeposit setelah letusan, sedangkan sedimen sekunder dihasilkan dari sedimen utama yang mengalir dalam gravitasi atau aliran air kemudian mengendap kembali di tanah atau di air.

Tabel 2.4 Klasifikasi Tanah Vulkanik (*Volcanic Soil*) Menurut JGS

★ Fine-grained soil ( $F_c \geq 50\%$ )	
Volcanic cohesive soil {V}	
Low liquid limit (VL) . . . . .	$50\% > w_L$
Type I (VH <sub>1</sub> ) . . . . .	$50 \leq w_L < 80\%$
Type II (VH <sub>2</sub> ) . . . . .	$w_L \geq 80\%$
Organic soil {O} . . . . .	Organic, dark-colored soil with organic smell
Organic-volcanic ash soil (OV) . . . . .	Organic-volcanic soil
★ Coarse-grained soil ( $F_c < 50\%$ )	
$F_c \geq 5\%$ ; Volcanic soil {V}	
$5\% \leq F_c < 15\%$ (G-V, S-V)	
$15\% \leq F_c < 50\%$ (GV, SV)	
★ Classification by Stratum, Unusual soil, Local soil, colloquial term	
Shirasu (SV), Kanto loam (VH <sub>1</sub> , VH <sub>2</sub> ), Hachinohe loam (VL)	

Sumber: Satoshi Matsumura, 2014

## 2.7 Rencana Aplikasi

### 2.7.1 Material Timbunan *Backfill* Pada *Embedded Pipe*

Dalam penelitian ini direncanakan pengaplikasian material piroklastik sebagai alternatif material timbunan. Material yang dimaksud adalah material *backfill*. Dalam ilmu tambang, *backfill* sering diartikan sebagai pekerjaan mengisi galian bekas endapan batubara beserta tanah penutupnya dengan tanah kupasan. Sedangkan dalam bidang Teknik Pengairan, *backfill* adalah tanah atau batuan yang dipakai untuk mengisi bekas galian pada suatu pekerjaan galian.

Dalam pengerjaan konstruksi, bangunan harus dibangun diatas tanah dasar yang keras. Untuk mendapatkan tanah dasar yang kuat, tidak jarang diperlukan proses penggalian terlebih dahulu sampai mendapatkan tanah keras. Setelah dilakukan penggalian, kemudian dilaksanakan pemadatan tanah. Setelah tanah sudah padat dilakukan proses penimbunan. Pada proses inilah material timbunan yang digunakan berasal dari material piroklastik. Material piroklastik kiranya dapat digunakan untuk material *backfill* karena memiliki agregat yang ringan (*light-weight materials*) sehingga dapat mengurangi beban yang akan ditahan oleh suatu konstruksi dan juga memiliki daya dukung tanah yang kuat.

Moser (1990) mengemukakan untuk tanah (*embedded pipe*) dibagi dalam beberapa kelas sesuai menurut USCS antara lain:

- Kelas I mencakup batuan bergradasi bersudut 1/4–1 1/2-inch (6-40mm) termasuk sejumlah bahan pengisi spesifik berupa karang, slug, hancuran kerang dan batuan yang dihancurkan. Rentang ukuran dan angka pori yang tinggi dari material kelas 1 menjadikannya cocok untuk digunakan sebagai parit penguras selama pemasangan pipa
- Kelas II terdiri dari pasir kasar dan kerikil dengan ukuran partikel maksimum 40mm, termasuk pasir dan kerikil bergradasi bervariasi yang mengandung material sedikit presentasi butiran halus, umumnya berbutir dan non-kohefif baik pada kondisi basah maupun kering. Jenis tanah GW, GP, SW dan SP masuk dalam kriteria pada kelas II. Pasir dan kerikil masuk kriteria kelas II, baik yang memiliki material halus maupun tidak. Gradasi kelas II juga mempengaruhi kepadatan dan daya dukung terhadap pipa ketika dipadatkan pada kondisi renggang. Hal ini juga dianggap penting terhadap daya dukung pipa, stabilitas dinding dan pondasi, jika material diperoleh dari tempat lain dan bukan tanah asli
- Kelas III terdiri dari pasir halus dan kerikil berlempung, termasuk pasir halus, campuran pasir dan lempung, serta campuran kerikil dan lempung. Tanah jenis GM, GC, SM, dan SC termasuk dalam kelas ini
- Kelas IV terdiri dari lanau, lempung berlanau dan lempung, termasuk lempung anorganik dan lanau dengan plastisitas rendah sampai tinggi. Tanah jenis MH, ML, CH, dan CL termasuk dalam kelas ini. Perlu diperhatikan bahwa dalam desain dan pemilihan metode untuk pemadatan tanah untuk tanah kelas IV karena kesulitan dalam mengendalikan kadar air di lapangan. Beberapa tanah dalam kelas IV dengan plastisitas sedang sampai tinggi dan batas cair lebih besar dari 50% (CH, MH, CH-MH) dapat mengurangi kekuatan ketika basah. Tanah kelas IV dengan plastisitas rendah sampai sedang dan batas cair kurang dari 50 persen (CL, ML, CL-ML) juga membutuhkan ketelitian dalam desain dan instalasi untuk mengontrol kadar air, tetapi tidak perlu dibatasi penggunaannya untuk lokasi yang kering
- Kelas V meliputi tanah organik (OL, OH dan PT) serta tanah mengandung tanah beku (*frozen earth*), debris, batu besar dengan diameter lebih dari 1 1/2 inch (40 mm) dan material asing yang lainnya

Tabel 2.5 Klasifikasi Pipa Didalam Tanah

Kelas Tanah	Tipe Kelas	Deskripsi Klasifikasi Material
Tanah Kelas I	-	Membentuk sudut, material granular, berukuran 1/4 sampai 1 1/2 in (6-40 mm), termasuk bahan yang memiliki yang spesifiknya berupa karang, abu, kerang hancur, dan batu hancur
Tanah Kelas II	GW	Kerikil bergradasi baik dan campuran kerikil-pasir, sedikit atau tidak ada debu. 50 persen atau lebih tertahan pada saringan no. 4. Lebih dari 95 persen tertahan saringan no. 200. Bersih.
	GP	Kerikil bergradasi buruk dan campuran kerikil-pasir, sedikit atau tidak ada debu. 50 persen atau lebih tertahan pada no. 4 saringan. Lebih dari 95 persen tertahan saringan no. 200. Bersih.
	SW	Pasir bergadasi baik dan pasir berkerikil, sedikit atau tidak ada debu. Lebih dari 50 persen lolos saringan no. 4. Lebih dari 95% tertahan saringan no. 200. Bersih
	SP	Pasir bergradasi buruk dan pasir berkerikil, sedikit atau tidak ada debu. Lebih dari 50% lolos saringan no. 4. Lebih dari 95% tertahan saringan no. 200. Bersih
Tanah Kelas III	GM	Kerikil berlanau, campuran kerikil-pasir-lumpur. 50% atau lebih tertahan saringan no. 4. Lebih dari 50% tertahan saringan no. 200
	GC	Kerikil mengandung liat, campuran kerikil-pasir-tanah liat. 50% atau lebih tertahan saringan no. 4. Lebih dari 50% tertahan saringan no. 200
	SM	Pasir berlanau, campuran pasir dan lanau. Lebih dari 50% lolos saringan no. 4. Lebih dari 50% tertahan saringan no. 200.
	SC	pasir mengandung lempung, campuran pasir dan tanah liat. Lebih dari 50% lolos saringan no. 4. Lebih dari 50% tertahan saringan no. 200.
Tanah Kelas IV	ML	Lanau anorganik, pasir sangat halus, abu batu, pasir halus mengandung lumpur dan liat. Batas cair 50% atau kurang. 50% atau lebih lolos saringan no. 200
	MH	Lanau anorganik MH, pasir halus atau lanau bersifat mika atau diatom, lanau elastis. Batas cair lebih besar dari 50%. 50% atau lebih lolos saringan no. 200.
	CH	Lempung anorganik plastisitas tinggi, tanah liat lemak. batas cair lebih besar dari 50%. 50% atau lebih berlalu tidak ada. 200 saringan.

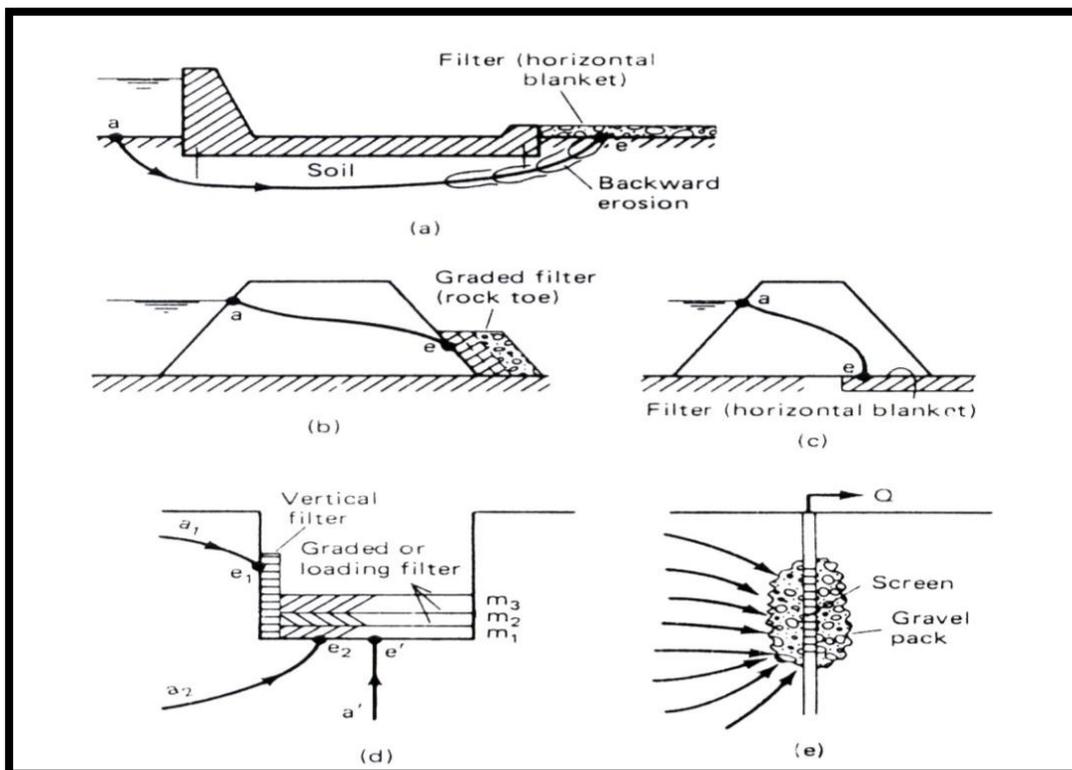
Lanjutan Tabel 2.5 Klasifikasi Pipa Didalam Tanah

Kelas Tanah	Tipe Kelas	Deskripsi Klasifikasi Material
Tanah Kelas V	OL	Lanau organik dan tanah liat berlumpur organik plastisitas rendah. Batas cair 50% atau kurang. 50% atau lebih lolos saringan no. 200.
	OH	Lempung organik dengan plastisitas tinggi. Batas cair lebih besar dari 50%. 50% atau lebih lolos saringan no. 200.
	PT	Gambut, lumpur dan tanah dengan bahan organik yang tinggi

Sumber: Moser (1990)

### 2.7.2 Bahan Filter

Filter merupakan suatu struktur penyaring yang terdiri dari tanah pasir dan atau kerikil yang mempunyai fungsi untuk mencegah aliran air masuk kedalam galian dan berguna untuk menghalangi pergerakan partikel masuk ke dalam *filter*. Gradasi dari bahan *filter* harus dapat membentuk pori-pori berukuran relatif kecil untuk dapat mencegah perpindahan dari partikel-partikel tanah yang akan dilindungi (*base soil*) serta gradasi dari bahan *filter* harus sedemikian rupa sehingga dapat digunakan sebagai drainase tanpa menimbulkan gaya-gaya rembesan yang besar.



Gambar 2.14 Filter Pada Berbagai Struktur

Sumber: Kashef, 1987: 110

Dalam memilih bahan *filter* yang sesuai, 2 (dua) kondisi harus dipenuhi (Das, 1983):

1. Gradasi dari bahan *filter* harus dapat membentuk pori-pori ukuran kecil sedemikian rupa sehingga perpindahan dari partikel-partikel tanah yang akan dilindungi dapat di cegah
2. Gradasi dari bahan *filter* harus sedemikian rupa sehingga dapat digunakan sebagai drainase tanpa menimbulkan gaya-gaya rembesan yang besar

Bertram (1940) menyediakan kriteria sebagai berikut untuk memenuhi kondisi-kondisi di atas :

$$\frac{D_{15(F)}}{D_{85(S)}} \leq 4 \text{ sampai } 5 \quad (2-8)$$

$$\frac{D_{15(F)}}{D_{15(S)}} \geq 4 \text{ sampai } 5 \quad (2-9)$$

Dimana:

$D_{15(F)}$  = diameter butiran dimana 15% bahan *filter* akan lolos (mm)

$D_{15(S)}$  = diameter butiran dimana 15% tanah yang dilindungi akan lolos (mm)

$D_{85(S)}$  = diameter butiran dimana 85% tanah yang dilindungi akan lolos (mm)

Penentuan distribusi ukuran butiran dari tanah yang digunakan sebagai *filter* ditunjukkan pada gambar 2.14. Prinsip yang sama dapat diadopsi untuk penentuan dari batas-batas ukuran bagi lapisan batu untuk melindungi bahan *filter* dari gerusan.

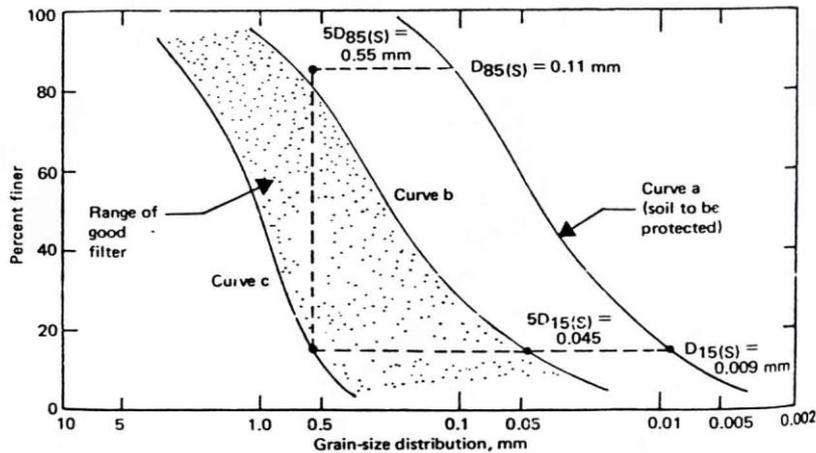
U.S. Navy (1971) mensyaratkan kondisi-kondisi sebagai berikut untuk desain *filter*.

1. Untuk menghindari pergerakan dari partikel-partikel tanah yang dilindungi :

$$\frac{D_{15(F)}}{D_{85(S)}} < 5 \quad (2-10)$$

$$\frac{D_{50(F)}}{D_{50(S)}} < 25 \quad (2-11)$$

$$\frac{D_{15(F)}}{D_{15(S)}} > 5 \quad (2-12)$$



Gambar 2.15 Penentuan distribusi ukuran butiran dari penyaring dengan menggunakan persamaan (2-8) dan (2-9)

Sumber: Das, 1987:158

Bila  $C_u$  tanah yang dilindungi  $< 1,5$ ;  $\frac{D_{15(F)}}{D_{85(S)}} < 6$

Bila  $C_u$  tanah yang dilindungi  $> 4$ ;  $\frac{D_{15(F)}}{D_{15(S)}} < 40$

2. Untuk menghindari terbentuknya gaya rembesan yang besar pada *filter*,

$$\frac{D_{15(F)}}{D_{15(S)}} > 4 \quad (2-13)$$

3. Bahan *filter* harus tidak mempunyai ukuran butiran yang lebih besar dari pada 3 inci (76,2 mm). Hal ini untuk menghindari segregasi dari partikel-partikel pada penyaring

4. Untuk menghindari pergerakan internal dari butiran-butiran halus pada penyaring, butiran-butiran tersebut harus tidak boleh lebih dari 5% yang lolos ayakan no.200

5. Ketika pipa-pipa berlubang digunakan untuk mengumpulkan air rembesan, *filter* juga digunakan di sekitar pipa untuk melindungi tanah berbutir halus dari gerusan menuju pipa. Untuk menghindari pergerakan dari bahan *filter* menuju lubang-lubang pipa pembuang, kondisi-kondisi tambahan berikut harus terpenuhi:

$$\frac{D_{85(F)}}{\text{slot width}} > 1,2 \text{ sampai } 1,4 \quad (2-14)$$

$$\frac{D_{85(F)}}{\text{hole diameter}} > 1,0 \text{ sampai } 1,2 \quad (2-15)$$

Penelitian kriteria desain *filter* awalnya digunakan untuk pembangunan bendungan tanah yang dimulai sekitar 100 tahun terdahulu. Parameter desain *filter* dipublikasikan pada awal tahun 1940 (Hsu, 1981). Namun, yang menjadi dasar dari kriteria desain *filter* pada saat ini adalah kriteria dari Terzaghi (1920) dan Casagrande (1930) (Arulanandan and Perry, 1983; Hsu, 1981). Tujuan utama dari *filter* dapat diuraikan sebagai berikut:

- a. Harus dapat mencegah perpindahan pada inti (*core*) atau material dasar ke dalam *zone* yang lain pada suatu bendungan
- b. Harus mempunyai permeabilitas yang cukup, sehingga kelebihan tekanan pada pori-pori tidak terjadi di dalam tubuh bendungan tersebut

Untuk memenuhi kriteria pertama, gradasi *filter* harus memenuhi syarat:

$$\frac{D_{15(F)}}{D_{85(B)}} \leq 4 \quad (2-16)$$

Dimana:

$D_{15(F)}$  = diameter ukuran butiran *filter* dimana 15% berat dari partikel tanah lebih kecil dari diameternya (mm)

$D_{85(B)}$  = diameter ukuran butiran dimana 85% dari tanah dasar atau *filter* tanah lebih kecil dari diameternya (mm)

Untuk memenuhi kriteria kedua, Terzaghi mengusulkan kriteria:

$$\frac{D_{15(F)}}{D_{15(B)}} \geq 4 \quad (2-17)$$

Dimana:

$D_{15(B)}$  = diameter ukuran butiran dari tanah dasar atau inti dimana 15% berat dari partikel tanah lebih kecil dari diameternya (mm)

Thanikachalam dan Sakthivadivel (1974) menganalisa hasil percobaan mengenai penyaring yang dilaporkan oleh Karpoff (1955), Us Corps of Engineers (1953), Leatherwood dan Peterson (1954), Dayaprakash dan Gupta (1972), dan Belyashevskill (1972). Berdasarkan analisis ini, mereka merekomendasikan bahwa ketika tanah yang dilindungi merupakan tanah berbutir (*granular*), kriteria desain *filter* yang stabil akan diberikan oleh persamaan-persamaan sebagai berikut:

$$\frac{D_{60(s)}}{D_{10(s)}} = 0,4 \frac{D_{10(F)}}{D_{10(s)}} - 2,0 \quad (2-18)$$

$$\frac{D_{60(F)}}{D_{10(F)}} = 0,941 \frac{D_{10(F)}}{D_{10(S)}} - 5,65 \quad (2-19)$$

dimana  $D_{60(S)}$  dan  $D_{10(S)}$  adalah, diameter butiran dimana 60% dan 10% dari tanah yang dilindungi adalah lolos; dan  $D_{60(F)}$  serta  $D_{10(F)}$  adalah, diameter yang lewat dimana 60% dan 10% dari bahan *filter* akan lolos.

Kriteria desain *filter* oleh USBR (1994) telah menggolongkan kategori tanah dasar (*base soil*) berdasarkan pada persen butiran halus pada material dasar (Tabel 2.6).

Tabel 2.6 Kriteria desain *filter* dan Katagori tanah dasar (*Base soil*) (USBR, 1994)

Kategori Tanah Dasar	Persen yang lolos diameter 0.074 (lolos saringan 200)	Deskripsi Tanah Dasar	<sup>1/</sup> Kriteria <i>Filter</i>
1	> 85	Lanau dan lempung	<sup>2/</sup> $D_{15F} \leq 9xD_{85B}$
2	40 – 85	Pasir, lanau, lempung dan lempung berpasir	$D_{15F} \leq 0.7 \text{ mm}$
3	15 – 39	Lanau, Lempung berpasir dan kerikil	<sup>3,4/</sup> $D_{15F} \leq 0.7 \text{ mm} + \frac{(40 - A) * 4xD_{85B} - 0.7\text{mm}}{25}$
4	< 15	Pasir dan kerikil	<sup>5/</sup> $D_{15F} \leq 4xD_{85B}$

Sumber: Said, M, 2013

- <sup>1/</sup> Kriteria *filter, filter* mempunyai ukuran partikel maksimum 2 inc (50mm) dan yang lolos maksimum 5% dari saringan No. 200 (0.074 mm), setelah pemadatan, dengan indeks plastisitas butiran senilai dengan nol. Indeks plastisitas ditentukan dari material yang lolos dari saringan No. 40 (0.425 mm) yang berdasarkan aturan USBR 5360, “*Earth manual*”. Untuk memastikan tingkat permeabilitas, *filter* mempunyai ukuran  $D_{15F} \geq 5 \times D_{15B}$  tetapi harus  $< 0.1 \text{ mm}$
- <sup>2/</sup> Bila  $9 \times D_{85B}$  kurang dari 0.2 mm, maka gunakan 0.2 mm
- <sup>3/</sup> A = persen lolos saringan No. 200 setelah pencampuran
- <sup>4/</sup> Bila  $4 \times D_{85B} < 0.7 \text{ mm}$ , gunakan 0.7 mm
- <sup>5/</sup> Pada kategori 4,  $D_{85B}$  dapat ditentukan dari kurva gradasi butiran tanah dasarnya, tanpa penyesuaian dari partikel yang lebih besar dari 4.75 mm

USBR juga menyarankan perbandingan  $D_{90F}/D_{10F}$  untuk memperoleh kurva gradasi untuk menjamin suatu distribusi ukuran partikel yang seragam, untuk mencegah pemisahan (*segregation*) selama penempatan. Untuk *filter* yang lebih kasar (pasir dan kerikil), kriteria yang digunakan oleh USBR dapat dilihat pada Table 2.7.

Tabel 2.7 Batas butiran untuk mencegah pemisahan (*segregation*) pada *filter* yang lebih kasar (USB, 1994)

D <sub>10F</sub> (mm) Minimum	D <sub>90F</sub> (mm) Maksimum
< 0.5	20
0.5 – 1.0	25
1.0 – 2.0	30
2.0 – 5.0	40
5.0 – 10	50
10 - 50	60

Sumber: Said, M, 2013

Tahun (1941-1955) U.S. Army menyarankan kriteria desain *filter* untuk jenis tanah kohesif sebagai berikut:

$$\frac{D_{15(F)}}{D_{15(B)}} > 5 \quad (2-20)$$

$$\frac{D_{15(F)}}{D_{85(B)}} \leq 5 \quad (2-21)$$

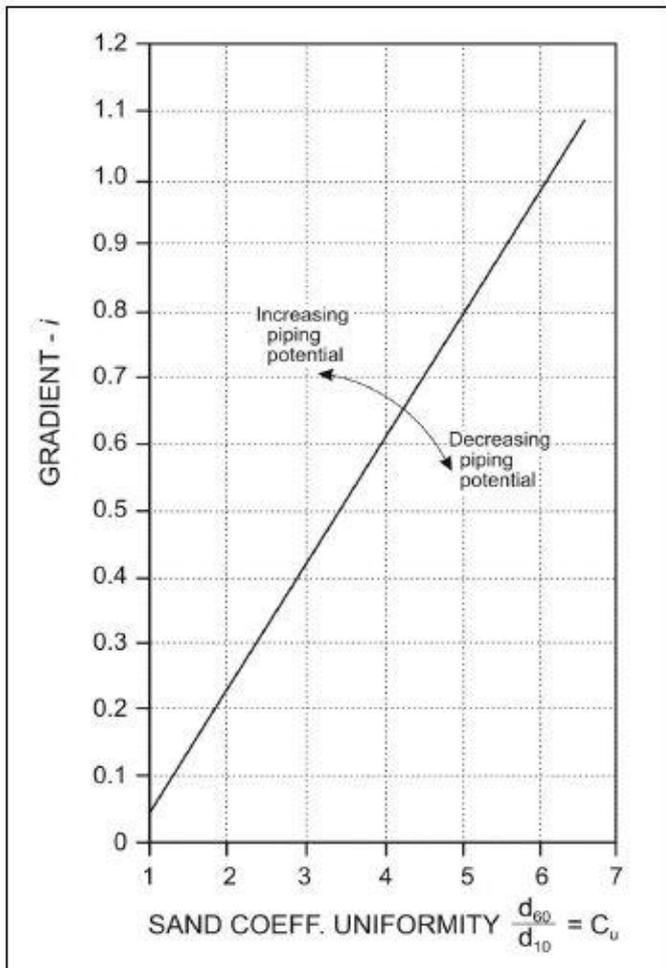
$$\frac{D_{50(F)}}{D_{50(B)}} \leq 25 \quad (2-22)$$

Dalam penentuan tanah dasar (*base soil*), ada beberapa kategori yang dapat dikelompokkan berdasarkan prosentase distribusi butiran yang lolos ayakan no. 200. Kategori ini digunakan oleh FEMA (*Federal Emergency Management Agency*).

Tabel 2.8 Kategori *Base Soil* Berdasarkan FEMA

Kategori <i>Base Soil</i>	Prosentase Lolos Ayakan No. 200	Deskripsi
1	>85	<i>Fine silt and clay</i>
2	40-85	Sands, silt, clay ad silty and sands
3	15-39	Silty and clayey sandsand gravels
4	<15	Sand and gravels

Sumber: FEMA,2011



Gambar 2.16 Hubungan Gradasi Horizontal *Piping* dengan  $C_u$   
 Sumber: FEMA, 2011

Berdasarkan gambar diatas, terlihat potensial ketahanan material terhadap *piping* berdasarkan hubungannya dengan *coefficient uniformity*. Semakin besar nilai gradasi semakin besar potensi material terhadap *piping*, sebaliknya semakin kecil nilai gradasi semakin kecil potensi material terhadap *piping*.

Bila *filter* digunakan pada bendungan, terdapat ketentuan khusus yang harus dipenuhi berdasarkan ketebalan minimal *filter*. Ketebalan minimal berdasarkan hubungannya dengan kemiringan dapat dilihat berdasarkan tabel berikut.

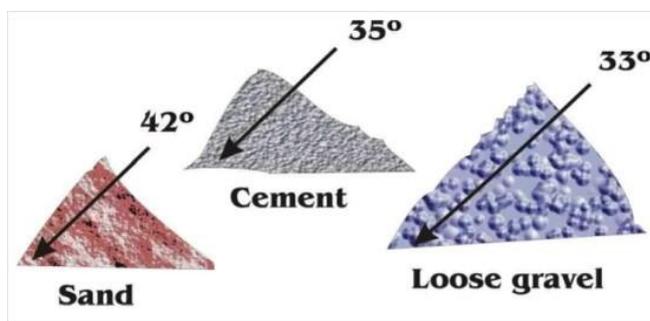
Tabel 2.9 Ketebalan *filter* lebih kecil dari 2ft  
 Width-ft

Slope	16	9	6	5	3
1:1	11.7	6.6	4.4	3.6	2.2
2:1	7.5	4.2	2.8	2.3	1.4
3:1	5.1	2.9	1.9	1.6	1.0
4:1	3.8	2.2	1.4	1.2	0.7

Sumber: FEMA, 2011

### 2.7.3 *Angle of Repose*

Dalam pelaksanaan timbunan perlu diperhatikan mengenai sudut tenang atau sudut istirahat (*angle of repose*), hal ini bertujuan untuk dapat menjaga kestabilan pada material timbunan, terutama material berbutir kasar. Pengetahuan tentang sudut tenang sangat penting bila kita ingin merencanakan suatu timbunan dengan material berbutir. Pada timbunan, material berbutir yang berada dalam *angle of repose* akan mengunci satu sama lain dan tidak akan menyebabkan keruntuhan. Tetapi material tanah yang berada di luar area *angle of repose* akan berada di dalam “zone pengaruh” (*zone of influence*), dimana material ini akan berpotensi untuk mengalami keruntuhan, terutama bila ada faktor-faktor pemicu keruntuhan seperti hujan, rembesan, akibat campur tangan manusia maupun pergerakan mesin yang dapat menyebabkan tanah menjadi bergerak.



Gambar 2.17 Sudut Tenang Atau Sudut Istirahat (*Angle of Repose*) Pada Suatu Gundukan Pasir

Sumber: wikipedia.com

Tabel 2.10 *Angle of Repose* Dari Beberapa Material Tanah dan Batuan

<b>Material</b>	<b><i>Angle Of Repose</i> ( ° )</b>
Pasir basah	45
Granite	35-40
Pasir kering	34
<i>Crushed Asphalt</i>	30-45
Kerikil lepas kering	30-45
Gumpalan lempung kering	25-40
Kerikil alami dengan pasir	25-30
Pasir jenuh	15-30
Galian lempung basah	15