

ANALISA PERMEABILITAS ZONA INTI DAN ZONA FILTER BENDUNGAN LOGUNG

Vrishella Setiadi Putri, Fiqri Rangga, Siti Hardiyati^{*)}, Kresno Wikan S.^{*)}

Departemen Teknik Sipil, Fakultas Teknik, Universitas Diponegoro
Jl. Prof Soedarto, SH., Tembalang, Semarang. 50239,
Telp.: (024) 7474770, Fax.: (024) 7460060

ABSTRAK

Pada bendungan tipe urugan, rembesan merupakan penyebab terbesar dari kegagalan bendungan. Dimana rembesan bisa ditinjau dari segi gradasi maupun permeabilitas dari material yang digunakan. Selain untuk mengetahui permeabilitas material pada saat terjadi rembesan, tetapi juga dilakukan peninjauan stabilitas pada lapisan filter sehingga dapat diketahui apakah material filter (filter kasar) mampu menahan laju erosi material lapisan base (filter halus). Untuk permeabilitas dari zona inti maupun zona filter bisa didapat melalui pengujian di laboratorium maupun pendekatan menggunakan kurva gradasi dari masing-masing zona. Pengujian permeabilitas yang dilakukan di laboratorium sendiri dibedakan berdasarkan ukuran material yang akan diuji. Pada material timbunan yang memiliki butiran halus ($<0,0075\text{mm}$) digunakan alat *falling head* sedangkan untuk butiran kasar ($>0,0075$) digunakan alat *constant head*. Dengan menggunakan alat *constant head* juga dapat diketahui stabilitas antara filter halus dengan filter kasar. Sampel dari masing-masing zona (inti, filter halus, dan filter kasar) diuji menggunakan alat tersebut dan didapat nilai permeabilitas dari masing-masing zona yaitu: zona inti dengan $k=2,48 \times 10^{-7}$ m/s, zona filter halus dengan $k=2,24 \times 10^{-4}$ dan $1,98 \times 10^{-4}$ m/s serta untuk zona filter kasar dengan $k=4,08 \times 10^{-3}$ m/s. Untuk pengujian stabilitas didapatkan hasil antara filter halus hulu terhadap filter kasar dengan nilai permeabilitas $2,38 \times 10^{-2}$ m/s dan dengan penurunan material 10 mm sehingga filter kasar stabil, dan untuk filter halus hilir terhadap filter kasar dengan nilai permeabilitas $1,85 \times 10^{-2}$ m/s dan dengan penurunan material 10 mm sehingga filter kasar stabil. Pada metode dengan menggunakan analisa gradasi, nilai permeabilitas didapat menggunakan rumus *Hazen* dan *Kozeny-Carman*. Hasil dari masing-masing rumus yang ada yaitu: Filter halus dengan nilai $k=3,54 \times 10^{-4}$ dan $4,84 \times 10^{-4}$ (*Hazen*) serta $k=8,47 \times 10^{-4}$ dan $2,33 \times 10^{-3}$ (*Kozeny-Carman*). Hasil permeabilitas yang diperoleh melalui pengujian laboratorium maupun menggunakan kurva gradasi, memiliki nilai yang tidak jauh berbeda. Selain itu, dari nilai permeabilitas yang ada, dapat juga diketahui karakteristik dari masing-masing material dengan menggunakan metode *Terzaghi* dan *Peck*. Didapat bahwa zona inti memiliki permeabilitas buruk, sehingga air sulit keluar dari zona tersebut. Untuk zona filter halus dan filter kasar diperoleh bahwa kedua lapisan tersebut memiliki permeabilitas tinggi sehingga saat terjadi rembesan pada bendungan, air cepat keluar dari zona tersebut. Selain itu zona filter halus dan kasar juga berfungsi sebagai drainase (jalur keluarnya air).

Kata kunci: Bendungan, Zona Inti, Zona Filter Halus Dan Filter Kasar, Permeabilitas

ABSTRACT

For embankment dams, seepage is the biggest cause of the dam failure. Where can seepages in terms of gradation and permeability of the material used. In addition to knowing the permeability of the material in the event of seepage, but also conducted a review of stability in the filter so it can be known whether the material filter (coarse filter) is able to withstand the erosion rate base layer material (fine filter).

^{*)} Penulis Penanggung Jawab

For the permeability of the core layer and the filter layer can be obtained through testing in the laboratory as well as the approach of using grading curve of each zone. Permeability tests on the laboratory was divided into two categories based on particle size. Fine grained (core zone) embankment material ($<0,0075\text{mm}$) were tested using a falling head apparatus while coarse grained particles (> 0.0075) were tested using the constant head apparatus. Samples from each zone (core, fine filter and coarse filter) were tested using these apparatus and permeability values obtained from the respective zones, namely: a core zone with $k = 2,48 \times 10^{-7} \text{ m / s}$, fine filter zone with $k = 2,24 \times 10^{-4}$ and $1,98 \times 10^{-4} \text{ m / s}$ and untukk coarse filter zone with $k = 4,08 \times 10^{-3} \text{ m / s}$. In the method using gradation analysis, permeability values obtained using the formula of Hazen and Kozeny-Carman. The results from the formulae are as follow: values of $k = 3,54 \times 10^{-4}$ and $4,84 \times 10^{-4}$ (Hazen) and $k = 8.47 \times 10^{-4}$ and 2.33×10^{-3} (Kozeny -Carman). Permeability results obtained through laboratory testing or using the grading curve, has a value which is not much different. In addition, the value of the existing permeability, may also note the characteristics of each material using Terzaghi and Peck. Learned that the core zone has poor permeability, so that water is difficult to get out of the zone. Meanwhile, the fine filter zone and the coarse filter zone have high permeability properties, quickly discharging water in times of seepage occurrence. Besides, the fine and coarse filter zones also serve as drainage / discharge points.

Keywords: *Dam, Core Zone, Fine Filter Zone anda Coarse Zone, Permeability*

PENDAHULUAN

LATAR BELAKANG

Pada bendungan tipe urugan, zona filter berperan penting sebagai pelindung agar tidak terjadi kegagalan struktur pada bendungan tersebut. Oleh karena itu, perlu adanya analisis terhadap material penyusun zona filter. Untuk menganalisis zona filter pada bendungan, maka dibutuhkan penyelidikan lapangan, analisa laboratorium, dan melakukan perhitungan-perhitungan data.

Konsep perlindungan filter adalah melindungi butiran halus yang berada pada zona inti karena kegagalan pada inti bendungan sering terjadi. Filter yang digunakan tidak hanya untuk melindungi zona inti dari urugan, tetapi juga zona penting lainnya, seperti kaki dan selimut drainase. Filter yang tidak sesuai dengan persyaratan akan mengakibatkan kegagalan struktur diwaktu yang akan datang. Pada analisa rembesan pada bendungan, sifat permeabilitas dari material yang digunakan untuk timbunan sangat berpengaruh terhadap kemampuan material tersebut dalam mengatur rembesan.

Fungsi utama dari filter adalah untuk mencegah pergerakan partikel tanah akibat aliran air di dalam dan di bawah bendungan urugan atau struktur penahan air lainnya. Untuk dapat memenuhi fungsi dari filter diperlukan persyaratan material dengan kualitas cukup tinggi sehingga tidak akan menyebabkan retak pada bendungan. Dahulu, kualitas material diukur dengan konten halus maksimum dan plastisitas. Baru-baru ini, telah ditemukan bahwa jenis pengikat atau material perekat, yang tidak terdeteksi oleh prosedur sebelumnya, sehingga material dapat mempertahankan retak.

Dari nilai permeabilitas yang dimiliki, bisa diketahui karakteristik dari masing-masing material yang digunakan pada zona inti, zona filter halus dan filter kasar. Sehingga dapat diketahui apakah material tersebut memiliki tingkat permeabilitas yang tinggi atau rendah. Selain itu dari nilai permeabilitas juga bisa diketahui fungsi yang lain yaitu peran material tersebut sebagai drainase yang baik atau buruk.

BATASAN MASALAH

Untuk mempermudah proses penelitian maka penulis menetapkan batasan masalah sebagai berikut:

1. Perilaku rembesan yang terjadi pada bendungan diamati nilai permeabilitasnya
2. Permeabilitas yang diamati hanya pada zona inti, zona filter halus dan zona filter kasar

TINJAUAN PUSTAKA

BENDUNGAN

Bendungan merupakan bangunan melintang sungai yang berfungsi sebagai penampung air dan untuk menaikkan muka air yang biasa disebut waduk. Dalam prakteknya, bendungan dibagi menjadi 2 macam yaitu bendungan tipe urugan (*embankment dams*) dan bendungan beton (*concrete dams*). Yang membedakan keduanya yaitu terletak pada material penyusun bendungan. Pada bendungan tipe urugan tersusun dari lapisan-lapisan (zonasi) pada tubuh bendungan tersebut. Lapisan-lapisan utama dari zonasi bendungan tipe urugan yaitu lapisan terluar yang disusun dari tumpukan batuan, lapisan penyaring (*filter*) yang tersusun dari tanah butir halus (pasir) serta lapisan inti (*core*) yang tersusun atas tanah kedap air.

Bendungan tipe urugan dibagi menjadi *homogeneous dams* dan *rockfill dams*. Pembagian tipe ini berdasarkan pada material penyusun yang digunakan sebagai timbunan pada bendungan yang akan dibangun. Pada bendungan tipe *homogeneous* material penyusun berasal dari satu jenis material. Akan tetapi pada bendungan tipe *rockfill* material penyusun dibedakan berdasarkan zona-zona yang ada.

PERMEABILITAS

Permeabilitas didefinisikan sebagai sifat bahan berongga yang memungkinkan air atau cairan lainnya untuk menembus atau merembes melalui hubungan antar pori. Bahan yang mempunyai pori-pori kontinu disebut dapat tembus (*permeable*). Kerikil mempunyai sifat tembus yang tinggi sedangkan lempung kaku mempunyai sifat dapat tembus yang rendah dan karena itu lempung disebut tidak dapat tembus (*impermeable*) untuk semua tujuan pekerjaan yang berhubungan dengan tanah tersebut. (Soedarmo & Purnomo, 1993)

Pengujian permeabilitas pada zona inti dan filter bendungan urugan dibagi menjadi 2 percobaan yang semuanya dilakukan di laboratorium menggunakan alat bernama *permeameter cell*. Kedua metode tersebut yaitu pengujian permeabilitas menggunakan *constant head permeability test* dan *falling head permeability test*. Pembagian pengujian ini berdasarkan pada butiran material yang akan diamati. Untuk material halus digunakan pengujian *falling head permeability test* sedangkan untuk material kasar digunakan pengujian *constant head permeability test*.

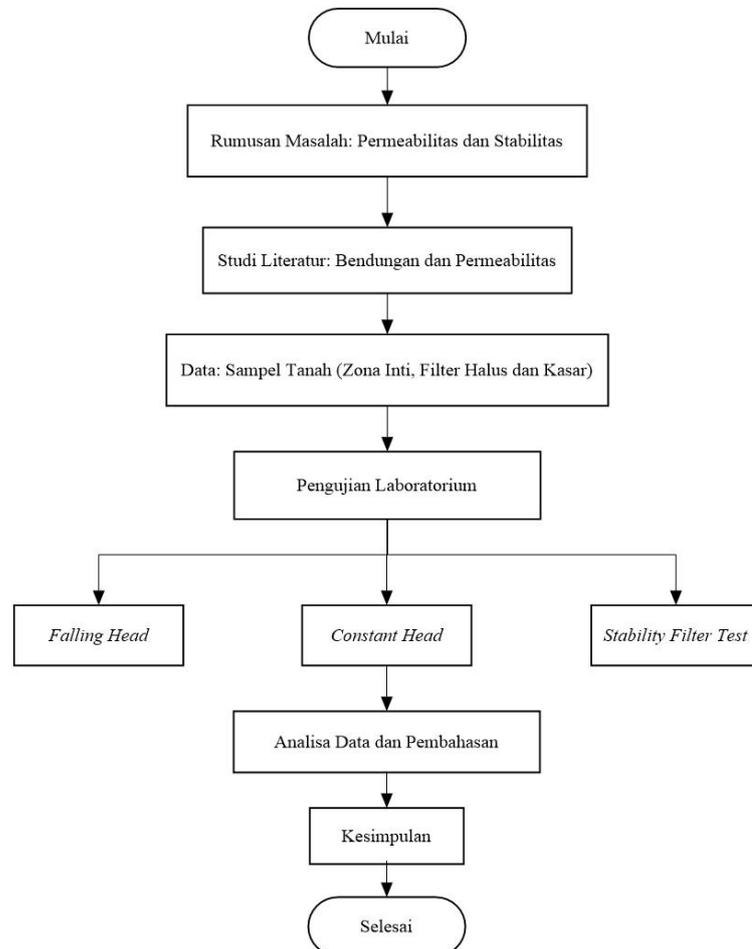
Selain itu, untuk mengetahui nilai permeabilitas dari suatu material halus bisa didapatkan melalui pengujian konsolidasi. Dengan rumus seperti berikut:

$$k_T = 0,31 \times 10^{-9} \times c_v \times m_v \text{ (m/s)}$$

dimana: k_T = koefisien permeabilitas (m/s)
 c_v = koefisien konsolidasi (m²/tahun)
 m_v = koefisien volume kompresibilitas

METODOLOGI PENELITIAN

Metode penelitian merupakan acuan dari langkah-langkah yang dilakukan selama penelitian. Dengan mengikuti langkah-langkah yang sudah diterapkan dalam metodologi penelitian, maka diharapkan penelitian dapat berjalan dengan sistematis. Metode tersebut dapat dilihat pada Gambar 1. Untuk pengujian nilai permeabilitas dilakukan di Laboratorium Mekanika Tanah Teknik Sipil Undip



Gambar 1. Metodologi Penelitian

Data primer berupa sampel tanah pada zona inti, zona filter halus dan kasar diambil langsung dari lokasi proyek pembangunan Bendungan Logung yang terdapat di Kabupaten Kudus, Jawa Tengah

PENGUJIAN LABORATORIUM

1. Analisa Saringan

Pengujian saringan pada material yang akan digunakan pada zona inti menggunakan metode *hidrometer* dan pada material zona filter menggunakan analisa ayakan. Dari kedua metode ini akan diperoleh gradasi dari masing-masing material.

2. Kepadatan Kering Maksimum

Sebelum sampel dimasukkan kedalam *permeameter cell*, harus diketahui terlebih dahulu kepadatan kering maksimum yang dimiliki masing-masing zona. Untuk zona inti digunakan pengujian *standard proctor* dan pada zona filter halus dan kasar digunakan pengujian *minimum density*. Langkah-langkah pengujian kepada pada masing-masing zona adalah sebagai berikut:

a. *Standard Proctor*

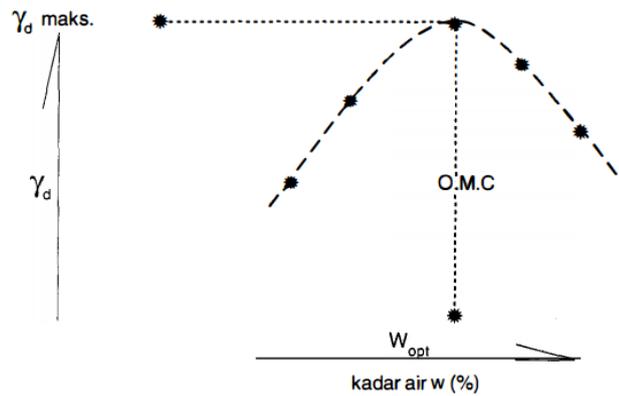
Contoh tanah diambil sebanyak $\pm 12,6$ kg, dikeringkan dan kemudian dihaluskan dengan penumbuk kayu. Selanjutnya diayak dengan ayakan No. 4. Tanah yang telah diayak dimasukkan ke dalam 6 buah plastik masing-masing sama banyaknya. Menambahkan air ke dalam masing-masing plastik dengan kadar air yang berbeda-beda. Kadar air didapat

dari hasil dari pengujian *Plastic Limit* (PL), nilai PL ini digunakan sebagai nilai tertinggi, lalu buat 2 sampel dibawah dan diatas nilai PL dengan selisih 5 %. Pada penambahan air digunakan tabung ukur dan dituangkan sedikit demi sedikit sambil diaduk dengan merata. Kemudian tanah dimasukkan ke dalam plastik dan diikat serta didiamkan selama satu hari.

Pemadatan dilakukan dalam tabung pemadatan dengan jalan memasukkan tanah ke dalamnya dan dipadatkan dengan palu dengan cara sebagai berikut :

Lapis pertama yang tingginya = $1/3$ tinggi tabung ditumbuk sebanyak 25 kalo, kemudian lapis kedua diisi lagi dengan tinggi yang sama juga ditumbuk sebanyak 25 kali dan lapis ketiga demikian juga seperti lapis pertama dan kedua. Pada lapis ketiga (terakhir) ini tingginya dilebihi ± 2 cm dari tinggi tabung. Kemudian ring pengikat tabung bagian atas (perpanjangan) dilepas dan tanah yang tingginya dilebihi tadi diratakan dengan pisau.

Dalam hasil percobaan-percobaan tersebut dibuat sebuah kurva yang menunjukkan hubungan antara kadar air dan berat isi tanah kering dan dari kurva tersebut akan diperoleh kadar air optimum (*Optimum Moisture Content = O.M.C*) dan berat isi tanah kering maksimum (*Maximum dry density*)



Gambar 2. Grafik Hubungan Kadar Air dengan Kepadatan
(Sumber : Soedarmo, dkk, Mekanika Tanah 1, hal. 124)

b. *Minimum Density*

Untuk material pasir, pengujian ini ditemukan oleh Kolbuszewski (1948a) dan memberikan hasil untuk kepadatan minimum yang kering dan dalam keadaan bersih dapat mempertahankan dalam tabung ukur. Setelah digoncang, tanah dibiarkan untuk jatuh bebas dan dengan demikian udara akan terjebak dan membentuk struktur butir yang menutup volume maksimum dari *void*. Pengujian ini tidak sesuai untuk pasir yang mengandung material halus yang lolos dari saringan 63 μm lebih dari 10%, atau partikel yang tertahan pada saringan 2 mm.

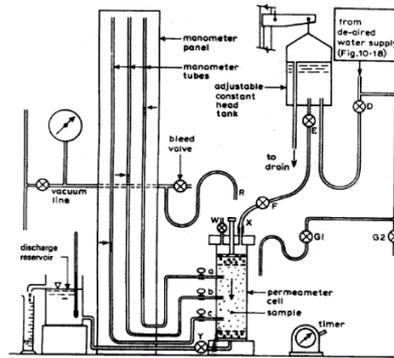
Untuk material kerikil, pengujian ini disarankan oleh K.H Heads untuk memperoleh kepadatan minimum dari tanah *gravel*. Secara prinsip sama dengan pengujian *minimum density-sands*, kecuali penggunaan mould logam (umumnya mould CBR) dimana tanah dijatuhkan dari ketinggian 0,5 m untuk dimasukkan kedalam *mould* hingga terisi penuh dalam waktu 1 detik.

3. Permeabilitas

Pengujian permeabilitas pada material yang digunakan pada zona inti, zona filter halus dan filter kasar dibagi menjadi dua jenis pengujian yaitu *constant head permeability test* dan *falling head permeability test*. Untuk pengujian *constant head permeability test* digunakan pada tanah non-kohefif, khususnya pasir dan kerikil. Sedangkan untuk jenis tanah lanau dan lempung, digunakan pengujian *falling head permeability test*.

a. *Constant Head Permeability Test*

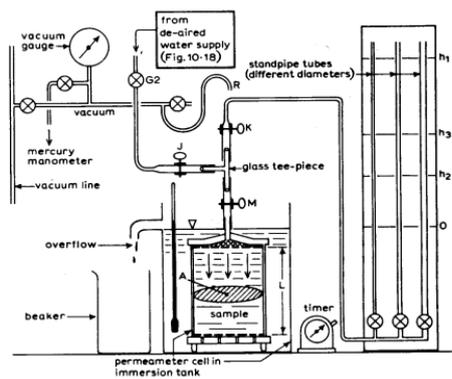
Permeameter cell dengan diameter 75mm (*sands*) dan 114 mm (*gravel*) dimasukkan material dengan kepadatan 75% dari kepadatan maksimum (kepadatan rencana lapangan). Pada bagian atas dan bawah sampel diberi *pea gravel* yang berfungsi menjaga agar aliran air yang berasal dari reservoir stabil menuju sampel uji. Setelah itu dilakukan pengamatan nilai permeabilitas dari masing-masing sampel. Berikut merupakan skema dari alat uji *constant head permeability test*.



Gambar 3. Skema Pengujian *Constant Head*

b. Falling Head Permeability Test

Permeameter cell yang digunakan untuk pengujian *falling head* menggunakan mould proctor. Sampel zona inti yang akan diuji nilai permeabilitasnya dipadatkan terlebih dahulu menggunakan prosedur *standard proctor*. Setelah itu sampel dijenuhkan dengan cara direndam didalam air. Barulah setelah jenuh, dilakukan pengujian permeabilitas dengan menggabungkan mould proctor dengan reservoir sehingga bisa diamati nilai permeabilitasnya. Berikut merupakan skema dari alat uji *falling head permeability test*.



Gambar 4. Skema Pengujian *Falling Head*

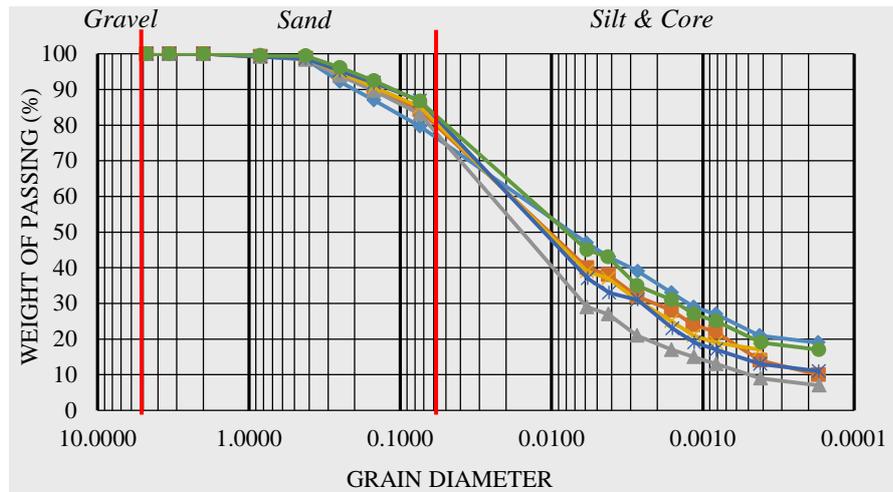
4. Stabilitas Filter

Analisa stabilitas zona filter yang dilakukan menggunakan *constant head apparatus* hanya bisa digunakan untuk material filter halus terhadap filter kasar. Dalam pengujian ini, pendeskripsian secara visual terhadap pergerakan partikel disetiap tingkatan setidaknya sama pentingnya dengan pengukuran nilai permeabilitas dan keduanya harus tetap dilaporkan. Kesesuaian material filter untuk digunakan pada material dasar dapat diringkas secara umum sebagai berikut:

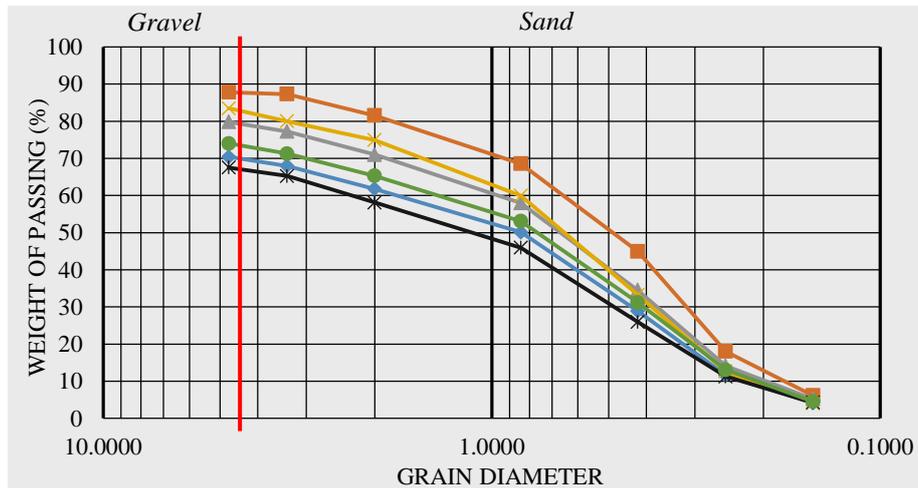
- Stabil : Tidak ada perubahan berarti dalam permeabilitas selama rentang gradien hidrolik diterapkan. Tidak terlihat perpindahan material dasar menuju filter. Material dasar menembus tidak lebih dari 5 atau 10 mm, asalkan permeabilitas tetap dan tidak berubah.
- Tidak stabil : Terjadi pengurangan permeabilitas akibat penekanan, atau dengan naiknya garis hidrolik serta terlihat hilangnya material dasar menuju filter.

HASIL

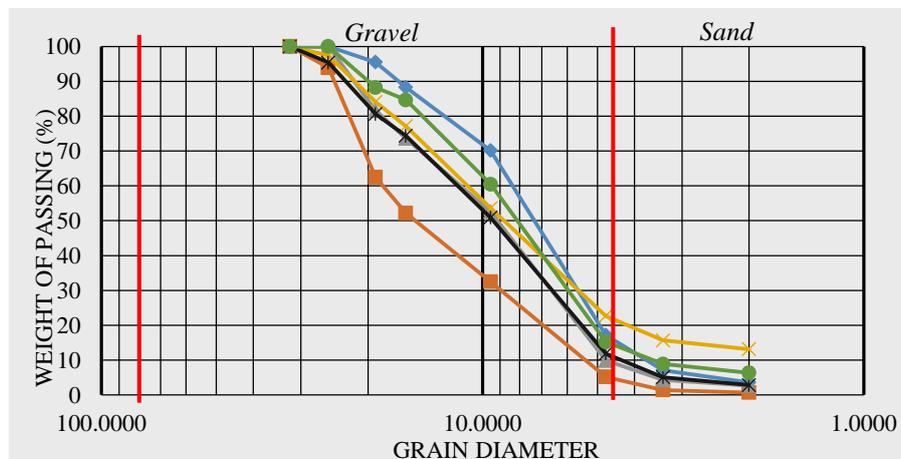
Kurva Gradasi



Gambar 5. Gradasi Zona Inti



Gambar 6. Gradasi Zona Filter Halus



Gambar 7. Gradasi Zona Filter Kasar

KEPADATAN MAKSIMUM

Dari hasil pengujian terhadap material zona inti dan filter dengan menggunakan *standard proctor test* dan *minimum density test*, didapat hasil seperti berikut:

Tabel 1. Hasil Pengujian Kepadatan Kering Maksimum

Zona	Nilai Kepadatan Kering Maksimum	Nama Pengujian
Inti	1,39 gram/cm ³	<i>Standard Proctor</i>
Filter Halus Hulu	1,66 gr/cm ³	<i>Minimum Density</i>
Filter Halus Hilir	1,51 gr/cm ³	<i>Minimum Density</i>
Filter Kasar	1,768 gr/cm ³	<i>Minimum Density</i>

Nilai kepadatan diatas selanjutnya akan digunakan sebagai acuan saat memasukkan sampel tanah kedalam *permeameter cell* maupun *mould proctor*.

PERMEABILITAS

Berdasarkan pengujian permeabilitas menggunakan *constant head* maupun *falling head* didapatkan hasil permeabilitas dari masing-masing material sebagai berikut:

Tabel 2. Hasil Pengujian Permeabilitas

Zona	Nilai Permeabilitas	Nama Pengujian
Inti	2,482 x 10 ⁻⁷ m/s	<i>Falling Head</i>
Filter Halus Hulu	2,24 x 10 ⁻⁴ m/s	<i>Constant Head</i>
Filter Halus Hilir	1,98 x 10 ⁻⁴ m/s	<i>Constant Head</i>
Filter Kasar	4,08 x 10 ⁻³ m/s	<i>Constant Head</i>

STABILITAS FILTER

Berdasarkan hasil pengujian stabilitas zona filter halus terhadap filter kasar diperoleh hasil seperti pada tabel dibawah ini.

Tabel 3. Hasil pengujian stabilitas zona filter halus hulu terhadap filter kasar

Parameter	Hasil Pengamatan	Kesimpulan
Permeabilitas	k = 2,38 x 10 ⁻² m/s	Stabil
Perpindahan material dasar	Tidak terlihat perpindahan material dasar	Stabil
Penurunan material dasar	Penembusan material dasar 5 mm	Stabil

Tabel 4. Hasil pengujian stabilitas zona filter halus hilir terhadap filter kasar

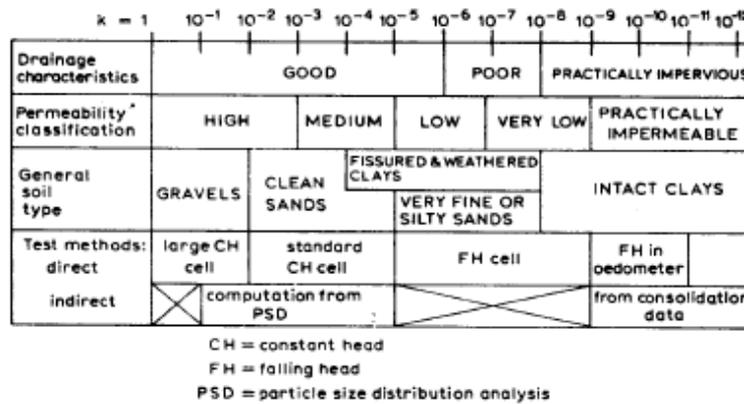
Parameter	Hasil Pengamatan	Kesimpulan
Permeabilitas	k = 1,85 x 10 ⁻² m/s	Stabil
Perpindahan material dasar	Tidak terlihat perpindahan material dasar	Stabil
Penurunan material dasar	Penembusan material dasar 5 mm	Stabil

PEMBAHASAN

METODE TERZAGHI

Tabel 5. Klasifikasi tanah sesuai dengan permeabilitas

Tingkat Permeabilitas	Rentang dari koefisien permeabilitas, k (m/s)
Tinggi	Lebih dari 10^{-3}
Sedang	10^{-3} - 10^{-5}
Rendah	10^{-5} - 10^{-7}
Sangat rendah	10^{-7} - 10^{-9}
Tidak permeable	Kurang dari 10^{-9}



Gambar 8. Karakteristik permeabilitas dan drainase

Metode ini berdasar pada hasil pengujian permeabilitas untuk setiap lapisan (lapisan inti, filter halus, filter kasar). Nilai permeabilitas yang ada kemudian dimasukkan kedalam Tabel 5 dan Gambar 8 sehingga didapatkan karakteristik permeabilitas dan drainase setiap lapisan. Adapun hasil dari analisa metode ini sebagai berikut :

Tabel 6. Hasil analisa metode Terzaghi n peck

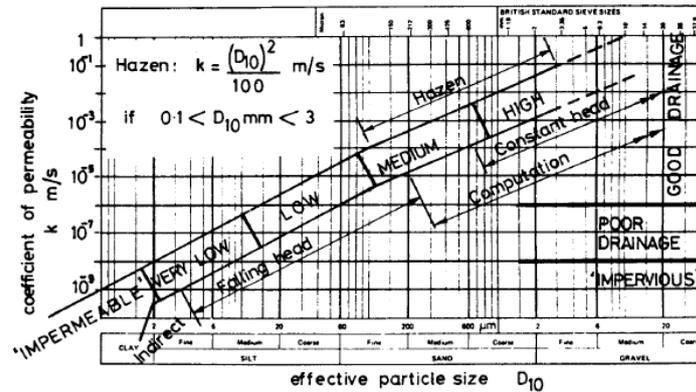
Zona yang ditinjau	Nilai Permeabilitas (m/s)	Karakteristik zona
Inti	$2,482 \times 10^{-7}$ m/s	Permeabilitas rendah, drainase buruk serta tipe tanah yang sangat halus.
Filter Halus Hulu	$2,24 \times 10^{-4}$ m/s	Permeabilitas sedang, drainase bagus serta tipe tanah berupa pasir bersih.
Filter Halus Hilir	$1,98 \times 10^{-4}$ m/s	Permeabilitas sedang, drainase bagus serta tipe tanah berupa pasir bersih.
Filter Kasar	$4,08 \times 10^{-3}$ m/s	Permeabilitas tinggi, drainase bagus serta tipe tanah berupa pasir berkerikil.

METODE HAZEN

Metode ini berdasar pada hasil pengujian analisa saringan untuk lapisan filter halus (filter halus hulu dan filter halus hilir). Dari hasil pengujian analisa saringan akan didapatkan nilai D_{10} yang kemudian bisa diketahui nilai permeabilitas dengan memasukkan kedalam persamaan :

$$k = \{(D_{10})^2 / 100\} \text{ m/s}$$

Dimana nilai D_{10} berada diantara 0,1 sampai 3. Nilai permeabilitas yang didapatkan dimasukkan kedalam Gambar 9 sehingga didapatkan hasil berupa karakteristik permeabilitas dari lapisan.



Gambar 9. Klasifikasi permeabilitas terkait dengan ukuran efektif partikel

Adapun hasil dari analisa metode hazen adalah sebagai berikut :

Tabel 7. Hasil analisa metode hazen

Lapisan yang ditinjau	Nilai Permeabilitas (m/s)	Karakteristik permeabilitas dan drainase
Filter Halus Hulu	$2,24 \times 10^{-4}$ m/s	Permeabilitas sedang dan termasuk kedalam drainase baik.
Filter Halus Hilir	$1,98 \times 10^{-4}$ m/s	Permeabilitas sedang dan termasuk kedalam drainase baik.

METODE KONZENY-CARMAN

Metode ini berdasar pada hasil pengujian analisa saringan untuk lapisan filter halus (filter halus hulu dan filter halus hilir). Dari hasil analisa saringan kemudian dimasukkan kedalam persamaan sehingga didapatkan nilai permeabilitas, adapun persamaan tersebut sebagai berikut :

$$k_{20} = \frac{2}{f S^2} \frac{e^3}{1 + e} \text{ m/s}$$

Dimana :

$f s^2$: *specific surface*

e : *void ratio*

Tabel 8. Hasil analisa metode konzeny-carman

Lapisan yang ditinjau	Nilai Permeabilitas (m/s)
Filter Halus Hulu	$2,24 \times 10^{-4}$ m/s.
Filter Halus Hilir	$2,33 \times 10^{-3}$ m/s

KESIMPULAN

Hasil analisa menunjukkan bahwa permeabilitas yang diperoleh dari pengujian laboratorium menggunakan alat *constant head* dan *falling head* memiliki nilai yang tidak jauh berbeda

dengan nilai permeabilitas yang diperoleh melalui rumus yang berdasarkan pada gradasi yang dimiliki masing-masing zona. Selain itu, nilai permeabilitas yang didapat pada masing-masing zona masuk kedalam syarat permeabilitas yang harus dipenuhi. Hal tersebut dapat dilihat pada tabel dibawah ini.

Tabel 9. Perbandingan nilai permeabilitas

Lapisan	Analisa Gradasi		Pengujian		Syarat Permeabilitas (m/s)
	Rumus	Permeabilitas (m/s)	Permeabilitas (m/s)	Alat	
Inti	-	-	$2,48 \times 10^{-7}$	<i>Falling head</i>	$< 10^{-6}$
Filter Halus Hulu	<i>Hazen</i>	$3,57 \times 10^{-4}$	$2,24 \times 10^{-4}$	<i>Constant head</i>	$10^{-3} - 10^{-5}$
	<i>Kozeny-Carman</i>	$8,47 \times 10^{-4}$			
Filter Halus Hilir	<i>Hazen</i>	$4,84 \times 10^{-4}$	$1,98 \times 10^{-4}$	<i>Constant head</i>	$10^{-3} - 10^{-5}$
	<i>Kozeny-Carman</i>	$2,33 \times 10^{-3}$			
Filter Kasar	-	-	$4,08 \times 10^{-3}$	<i>Constant head</i>	$1 - 10^{-3}$

Dari nilai permeabilitas yang ada, maka karakteristik dari masing-masing zona yang ditinjau adalah sebagai berikut:

Tabel 10. Karakteristik Berdasarkan Nilai Permeabilitas

Zona yang ditinjau	Karakteristik zona
Inti	Permeabilitas rendah, drainase buruk serta tipe tanah yang sangat halus.
Filter Halus Hulu	Permeabilitas sedang, drainase bagus serta tipe tanah berupa pasir bersih.
Filter Halus Hilir	Permeabilitas sedang, drainase bagus serta tipe tanah berupa pasir bersih.
Filter Kasar	Permeabilitas tinggi, drainase bagus serta tipe tanah berupa pasir berkerikil.

Dan berdasarkan pengujian stabilitas menggunakan *constant head apparatus*, dapat disimpulkan bahwa material filter kasar stabil dalam menahan laju erosi filter halus. Artinya saat terjadi rembesan, air tetap mengalir dari filter halus menuju filter kasar akan tetapi butiran material dari filter halus tidak terbawa.

UCAPAN TERIMA KASIH

Penulis mengucapkan terima kasih yang sebesar-besarnya kepada para pembimbing yang telah memberikan bimbingan, saran dan masukan selama pelaksanaan penelitian ini. Penulis juga mengucapkan terima kasih kepada redaksi dan reviewer jurnal ini yang telah memberikan koreksi dan masukan bagi penyempurnaan tulisan ini.

DAFTAR PUSTAKA

Das, B. M., 2012, *Principle of geotechnical engineering*, Stamford: Cengage Learning

- Fell, R., MacGregor, P., Stapledon, D., & Bell, G., 2005, *Geotechnical Engineering of Dams*, London: A.A Balkema Publishers Leiden.
- Head, K., 1994, *Manual of Soil Laboratory Testing Volume 2 : Permeability, Shear Strength, and Compressibility Tests*, New York: John Wiley & Sons, Inc.
- Head, K., 2006, *Manual of Soil Laboratory Testing Volume 1 : Soil Classification and Compaction Tests*, Scotland, UK: Whittles Publish