

TINJAUAN PERILAKU TINGGI TEKANAN AIR DAN REMBESAN PADA BENDUNG MENGGUNAKAN ALAT PERAGA BENDUNG TANPA TURAP

Ariyani, N¹⁾, Soehoed, Y.D.M²⁾

¹⁾Jurusan Teknik Sipil Universitas Kristen Immanuel Yogyakarta
e-mail : niknok@yahoo.com

²⁾Alumni S-1 Teknik Sipil Fakultas Teknik Universitas Kristen Immanuel Yogyakarta

ABSTRACT

A dam was a building that always related to the water. A dam that was not planned well towards water pressure under it would causes its functional disadvantages and its surroundings buildings. This researchs was aimed to know water pressure height behaviour and dam leakage, and compared a theoretical calculation result by a flow net and a direct reading.

A model device made of acrylic mica size 90 x 25 x 70 cm filled with sand and water. Dam demonstrator made of 1st grade keruing (Dipterocarpus) wood with 50 cm length, 31 cm upper height, and 27 cm lower height. The test conducted was water pressure height test in the dam floor, sand soil permeability coefficient test, sand gradation test, and comparing water pressure height in the dam floor and leakage debit by a theoretical calculation and by using a flow net method.

The test result showed that water pressure height in the demonstration device was different with the result obtained from the theoretical calculation, but typically the diagram shape was same. The direct leakage debit obtained was 2.254 m³/second while theoretically its leakage debit was 1.280 cm³/second. The result difference was due to hard to maintain water surface height in the demonstrator upper. Sand used was with a good gradation with Cu value = 6 and Cc = 1.041, and k soil permeability = 2.273.10³ cm/second.

Keyword : pressure, leakage, debit.

I. PENDAHULUAN

Tanah adalah suatu himpunan mineral, bahan organik, dan endapan-endapan yang relatif lepas (loose), yang terletak diatas batuan dasar. Semua jenis tanah yang ada terdiri dari butiran – butiran dengan ruangan-ruangan yang disebut pori. Besar kecilnya ukuran pori-pori dan butiran tanah mempengaruhi cepat lambatnya aliran air.

Bendung merupakan salah satu contoh bangunan yang berada di atas sungai dan langsung berhubungan dengan air. Sesuai fungsinya sebagai pengempang air atau meninggikan permukaan air dalam suatu bangunan air, maka tubuh bendung merupakan penahan rembesan air ke arah hilir.

Berdasarkan latar belakang masalah seperti yang di uraikan, maka permasalahan yang ingin dijelaskan dalam penelitian ini adalah bagaimana pengaruh penambahan begel penahan kelenturan disisi model terhadap kebocoran dan karena model ini memperagakan proses rembesan dan tinggi tekanan air yang terjadi di dasar bendung, maka bagaimana pengaruh pemasangan pipa di dasar bendung terhadap hasil hitungan secara teoritis perlu diselidiki. Tujuan pengujian ini adalah menunjukkan aliran air dibawah dasar bendung tanpa turap, mengetahui tinggi tekanan air di bawah dasar bendung pada peraga dan debit rembesan, dan membandingkan hasil dari peraga dan hitungan secara teori. Manfaat praktis pada penelitian ini adalah untuk mengetahui tinggi tekanan air dan debit rembesan pada peragaan bendung. Secara teoritis pengujian ini bermanfaat untuk mengetahui dan memahami penggunaan jaring arus (flownet) pada bangunan bendung.

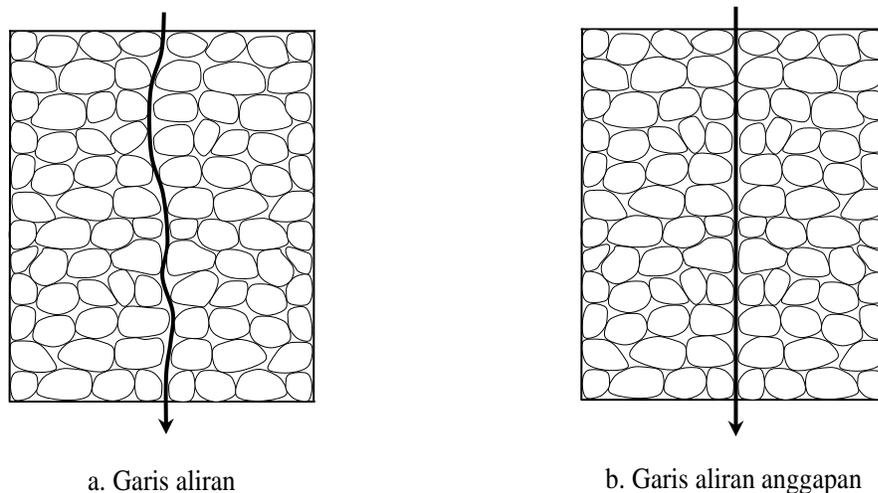
II. TINJAUAN PUSTAKA

Tanah merupakan agregat halus dengan diameter kurang dari 4,75 mm, namun lebih besar dari 0,075 mm. Tanah tersusun atas berbagai macam diameter butir membentuk suatu gradasi, yaitu distribusi ukuran butir tanah yang ditentukan dengan presentasi berat butir yang tertinggal di dalam satu set susunan ayakan tanah. Istilah yang sama juga di gunakan untuk menggambarkan sifat tanah yang khusus. Sebagai contoh, lempung adalah jenis tanah yang bersifat kohesif dan plastis, sedang pasir digambarkan sebagai tanah yang tidak kohesif dan tidak plastis (Hardiyatmo, 2006).

Air tanah di definisikan sebagai air yang terdapat dibawah permukaan bumi. Salah satu sumber utamanya adalah air hujan yang meresap ke bawah lewat ruang pori diantara butiran tanah. Akibat tekanan kapiler, air tanah tertarik keatas melebihi permukaan air tanah. Pori-pori tanah sebenarnya bukan sistem pipa kapiler, tapi teori kapiler dapat diterapkan guna mempelajari kelakuan air tanah pada zona kapiler. Air dalam zona kapiler ini dapat di anggap bertekanan negatif, yaitu mempunyai tekanan dibawah tekanan atmosfer (Hardiyatmo, 2006). Jika tekanan kapiler membesar, maka tegangan kontak diantara partikel juga membesar. Akibatnya, ketahanan tanah terhadap gaya geser atau kuat geser tanah menjadi bertambah.

Permeabilitas didefinisikan sebagai sifat bahan berpori yang memungkinkan aliran rembesan dari cairan yang berupa air atau minyak mengalir lewat rongga pori. Walaupun

secara teoritis, semua jenis tanah lebih atau kurang mempunyai rongga pori, dalam praktek, istilah mudah meloloskan air (permeable) dimaksudkan untuk tanah yang memang benar-benar mempunyai sifat meloloskan air. Sebaliknya, tanah disebut kedap air (impermeable), bila tanah tersebut mempunyai kemampuan meloloskan air yang sangat kecil (Hardiyatmo,2006). Aliran air lewat suatu kolom tanah di perhatikan dalam gambar 2.1a. masing-masing partikel air bergerak dari ketinggian A ke ketinggian B yang lebih rendah, mengikuti lintasan yang berkelok-kelok (ruang pori) di antara butiran padatnya. Kecepatan air bervariasi dari titik ke titik tergantung dari ukuran dan konfigurasi rongga pori. Akan tetapi, dalam praktek, tanah di anggap sebagai satu kesatuan dan tiap partikel air di anggap bergerak melewati lintasan lurus yang disebut garis aliran (Gambar 2.1b).



Gambar 2.1. Aliran air lewat tanah

Tekanan hidrostatik bergantung pada kedalaman suatu titik dibawah muka air tanah. Untuk mengetahui besarnya tekanan air pori yang terjadi pada kedalaman dibawah muka air tanah, persamaan bernouli dapat diterapkan.

$$h = \frac{p}{\gamma_w} + \frac{v^2}{2g} + z \quad \dots\dots\dots (2.1)$$

dengan h = tinggi energi total (m), p/γ_w = tinggi energi tekanan (m), p = tekanan air ($t/m^2, KN/m^2$), $v^2/2g$ = tinggi energi kecepatan (m), v = kecepatan air (m/det), γ_w = berat volume air ($t/m^3, KN/m^3$), g = percepatan gravitasi (m/dt^2), dan z = tinggi energi elevasi (m).

Dengan memperhitungkan kecepatan aliran di daerah tanah maka (Hardiyatmo,2006), memberikan hubungan antara kecepatan dan gradien hidrolis sebagai berikut.

$$v = k.i \quad \dots\dots\dots (2.2)$$

$$q = k.i.A \quad \dots\dots\dots (2.3)$$

dengan A = luas tampang tanah pada suatu dimensi (cm^2), q = debit rembesan (cm^2/dt), k = koefisien permeabilitas (cm/det), dan i = gradien hidrolis

Teori rembesan di dasarkan pada analisis dua dimensi (Hardiyatmo,2006). Tanah dianggap homogen dan isotropis. Tanah homogen dan isotropis merupakan tanah yang memiliki nilai koefisien permeabilitas yang sama pada semua arah, pada kondisi tanah homogen. Garis aliran adalah suatu garis sepanjang mana butir – butir air akan bergerak dari bagian hulu ke bagian hilir sungai melalui media tanah yang akan tembus air (permeable). Pada aliran dalam air tanah terdapat dua susunan yaitu : garis – garis aliran dan garis ekipotensial. Kedua susunan garis tersebut membentuk jala dan disebut jaring arus (*flownet*).

Dalam garis aliran dan ekipotensial digambarkan sedemikian rupa sehingga : garis ekipotensial memotong tegak lurus garis aliran dan elemen-elemen aliran di buat kira-kira mendekati bentuk bujur sangkar.

$$\Delta h = \text{potensial drop, maka : } \Delta h = \frac{H}{Nd} \quad \dots\dots\dots (2.4)$$

dengan H = selisih tinggi air hulu dan hilir dan Nd = jumlah potensial drop.

Penentuan koefisien permeabilitas K di laboratorium di lakukan dengan empat cara, yaitu pengujian tinggi energi tetap (*constant – head*), pengujian tinggi energi turun (*falling – head*), pengujian secara tidak langsung dari pengujian konsolidasi , dan pengujian secara tidak langsung dari pengujian kapiler horizontal. Uji tinggi energi tetap (*constant – head*) cocok untuk jenis tanah granular.

$$Q = q.t = k.i.A.t \quad \dots\dots\dots (2.5)$$

$$\text{karena } i = \frac{h}{L}, \text{ maka } Q = k.(h/L).A.t \quad \dots\dots\dots (2.6)$$

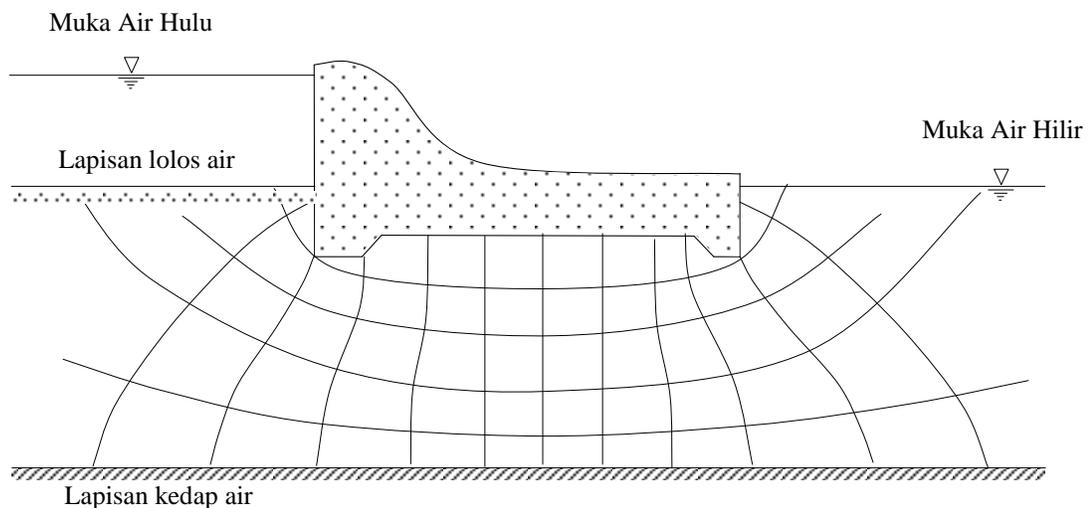
$$\text{Dari persamaan di atas diperoleh : } k = \frac{Q.L}{h.A.t} \quad \dots\dots\dots (2.7)$$

Untuk penentuan koefisien permeabilitas dilakukan dengan pengujian tinggi energi tetap (*constant – head*) dengan k = koefisien permeabilitas, t = waktu pengumpulan (det), L = panjang contoh tanah, D = diameter benda uji, dan V = volume

III. LANDASAN TEORI

Tekanan air pada tanah di bawah bendung dipengaruhi adanya permeabilitas tanah, tanah mempunyai kemampuan meloloskan air yang sangat kecil. Tanah juga dianggap sebagai satu kesatuan dan tiap partikel air dianggap bergerak melewati lintasan lurus yang disebut garis aliran. Pengujian *permeabilitas* tanah dilakukan untuk memperoleh nilai koefisien *permeabilitas*. Koefisien *permeabilitas* mempengaruhi rembasan yang terjadi pada tanah.

Perhitungan jaring arus (*flownet*) digunakan untuk membandingkan tinggi tekanan air yang diteliti. Untuk perhitungan tinggi tekanan air pada peragaan alat dengan mengamati kenaikan air di dalam Pipa. Dalam penggambaran jaring arus (*flownet*), garis aliran dan garis ekipotensial ada beberapa cara yaitu : cara coba-coba (*trial and error sketching method*), cara analitis, dengan membuat model di laboratorium dan dengan analogi listrik. Jaring arus (*flownet*) dalam struktur bangunan air dapat dilihat pada Gambar 3.1.

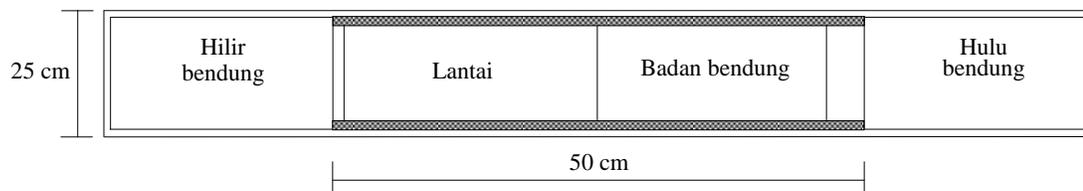


Gambar 3.1. Jaring arus (*flownet*)
(Sumber : Hardiyatmo, H.C., 2006)

IV. METODOLOGI PENELITIAN

1. Alat Peraga

Alat peraga yang digunakan pada penelitian ini adalah peraga bendung dari kayu yang diletakkan didalam sebuah bak yang terbuat dari *mikha acrylic* setebal 5 mm. Ukuran bak peraga panjang 90 cm, lebar 25 cm, dan tinggi 70 cm, lapisan kedap air terbuat dari kayu keruing dengan panjang 100 cm, lebar 30 cm, tebal 3 cm. Bendung terbuat dari kayu dilapisi karet dengan ukuran panjang horizontal dasar bendung 50 cm, tinggi sisi hulu 31 cm, dan sisi hilir 27 cm yang sudah ada di Laboratorium Jurusan Teknik Sipil Fakultas Teknik Universitas Kristen Immanuel. Untuk menjaga kestabilan dinding *mikha acrylic*, maka setiap sisi bendung dipasang profil siku 3 x 3 cm yang diperkuat dengan baut \emptyset 12 mm, dan dipasang beugel U ditengah alat peraga. Penempatan Badabn bendung dan Pipa-pipa untuk menghitung tinggi tekanan air dapat dilihat pada Gambar 4.1.



Gambar 4.1. Pemasangan bendung dan pipa-pipa

2. Pasir

Pasir yang digunakan adalah pasir dari Kali Gebang Sleman, yang diuji gradasinya dan permeabilitasnya.

3. Air

Air yang digunakan untuk pengujian ini berasal dari sumur Laboratorium Mekanika Tanah Universitas Kristen Immanuel Yogyakarta.

4. Penempatan Pipa

Pipa yang digunakan dalam pengujian ini adalah pipa bangunan dengan \emptyset 5mm. Penempatan pipa dipasang pada salah satu sisi bendung dengan letak permanen, penempatan pipa seperti Gambar 4.3.

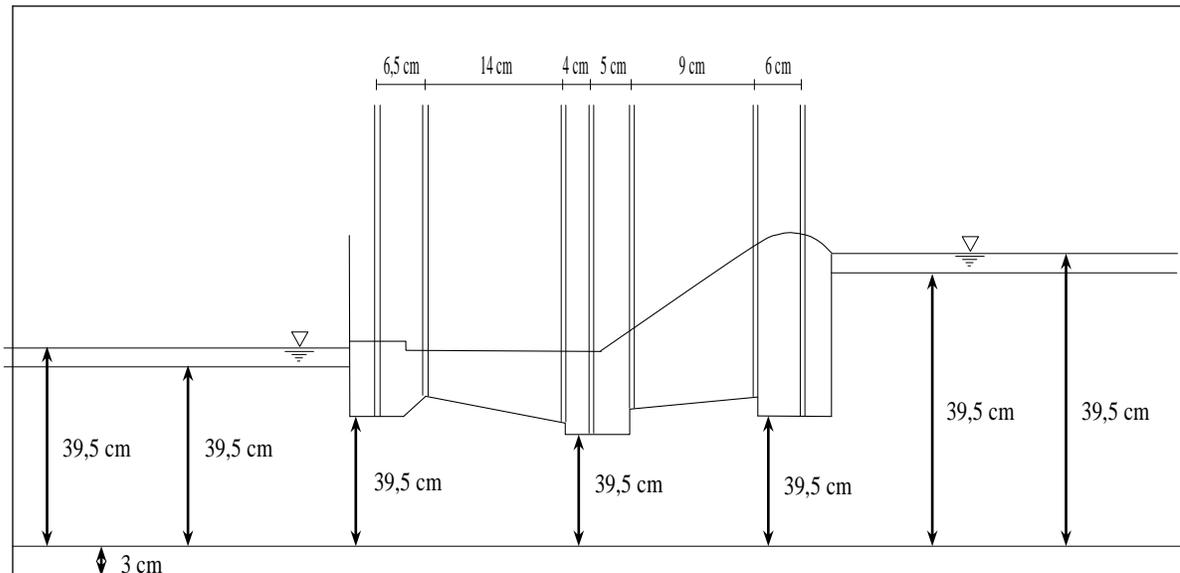
Pengujian tinggi tekanan air pada bendung dilaksanakan di Laboratorium Mekanika Tanah, Fakultas Teknik, Universitas Kristen Immanuel Yogyakarta. Pengujian

permeabilitas tanah dilaksanakan di Laboratorium Mekanika Tanah, Fakultas Teknik, Universitas Negeri Yogyakarta.

Untuk perhitungan tinggi tekanan air pada alat peraga dengan mengamati kenaikan air pada di dalam Pipa. Kenaikan air pada Pipa ini menunjukkan tinggi tekanan air di bawah dasar bendung. Pengukuran menggunakan satuan centimeter. Langkah-langkah pengujian tinggi tekann air adalah sebagai berikut :

- a. Pasir kering dan air diisi pada alat peraga secara bersamaan. Pengisian secara bersamaan berfungsi untuk memadatkan volume pasir kering. Pengisian pasir dilakukan sampai pada batas-batas tertentu, seperti tinggi pasir dibagian hulu bndung 46 cm, tinggi pasir dibawah dasar bendung 31 cm, 26,5 cm, dan 27 cm, tinggi pasir di hilir bendung 36 cm. Ketinggian muka pasir diukur dari lapisan kedap air. Untuk tinggi pasir pada alat peraga dapat dilihat pada gambar 3.3
- b. Setelah batas tinggi pasir terpenuhi, maka air dikeluarkan melalui pipa pembuangan.
- c. Pasir diisi air, muka hulu adalah 3,5 cm dari dasar sungai. Muka air bawah dasar bendung 31 cm, 26,5 cm, dan 27 cm. Muka air di hilir 39,5 c. Untuk batas muka air maksimum dapat dilihat pada Gambar 4.3.
- d. Ketinggian muka air hulu harus selalu konstan. Jika muka air hulu melebihi batas akan melimpah, maka air yang masuk harus diperkecil dan jika muka air hulu menurun, maka debit masuk harus diperbesar.
- e. Jika muka air hulu diperkirakan konstan, maka debit air masuk dibiarkan mengalir sampai kehilir bendung. Dan apabila muka air hulu mengalami perubahan (belum konstan) maka harus mengulang langkah d.
- f. Setelah muka air dipastikan konstan, didiamkan hingga mencapai muka air hilir yang diinginkan. Apabila melebihi batas muka air hilir, maka air akan melimpah.
- g. Untuk tinggi tekanan air dibawah dasar bendung akan diukur dengan pipa-pipa. Dasar Pipa berada pada setiap sudut dasar bendungan.
- h. Setelah tinggi tekanan air dibawah bendung diukur, maka air masuk akan dimatikan. Kemudian air yang tertinggal didalam alat peraga dikeluarkan melalui pipa pembuangan.

Pengujian tekanan air ini dilakukan dua kali pengujian. Pengujian pertama yaitu pada langkah f. Setelah itu air masuk dimatikan dan air yang tertinggal dikeluarkan seperti langkah h. Pengujian kedua dilakukan mulai langkah c sampai langkah h.



Gambar 4.2. Batas-batas permukaan tanah dan permukaan air

Pengujian *Permeabilitas tanah* dilakukan untuk memperoleh nilai koefisien *Permeabilitas*. Koefisien *Permeabilitas* mempengaruhi rembesan yang terjadi pada tanah. Pengujian *Permeabilitas* dilakukan dengan cara tinggi energi tetap (*constant-head*), dengan langkah sebagai berikut :

- a. Pasir dimasukkan kedalam benda uji berbentuk silinder
- b. Setelah pasir dimasukkan, diukur diameter silinder d , panjang contoh pasir L , dan tinggi tekanan konstan h .
- c. Pasir dialiri air dan tinggi tekanan konstan selama pengujian.
- d. Air yang mengalir dibiarkan beberapa menit.
- e. Setelah air mengalir melimpah, maka banyaknya air yang melimpah ditampung.
- f. Pencatatan waktu t dimulai pada awal penampungan sampai air yang ditampung cukup.

V. HASIL DAN PEMBAHASAN

5.1. Hasil Pengujian

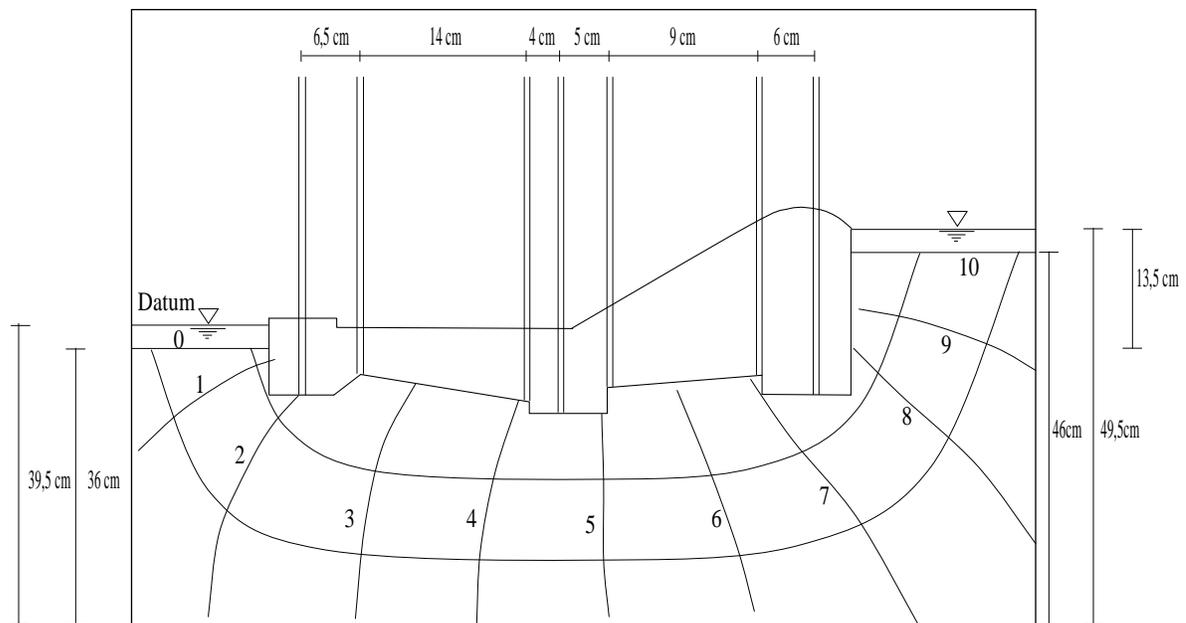
Pengujian tinggi tekanan air dilakukan terhadap bendung dengan posisi :

- a. Tinggi pasir dibagian hulu bendung 46 cm
- b. Tinggi air dibagian hulu bendung 49,5 cm
- c. Tinggi pasir dibagian hilir bendung 36 cm
- d. Tinggi air di bagian hilir bendung 39,5 cm

Tabel 5.1. Hasil pembacaan tinggi tekanan air dari dasar bendung.

Pipa	PERCOBAAN		Rata-rata (cm)
	I (cm)	II (cm)	
A	11,9	11,4	11,65
B	8,1	7,6	7,85
C	11,0	10,5	10,75
D	15,9	14,8	15,35
E	13,4	12,9	13,15
F	7,8	7,3	7,55
G	14,8	14,3	14,55

Untuk mengetahui perhitungan tinggi tekanan air pada bendung dengan menggunakan metode jaring arus dapat di lihat pada Gambar 5.1.



Gambar 5.1. Jaring arus (*flownet*)

Dari Gambar 5.1 perhitungan tekanan tinggi air untuk masing-masing pipa di titik A-G seperti berikut :

Diketahui :

$$H = 10 \text{ cm}$$

$$Nd = 10$$

$$\gamma_w = 1 \text{ gr/cm}^3$$

Tinjauan pipa titik A

Potensialnya : terletak pada garis ekipotensial antara no.7 dan 8 atau $nd = 7,4$ $z = -8,5$ cm (kebawah)

$$\text{Potensial drop, } \Delta h = \frac{H}{Nd} = \frac{10}{10} = 1 \text{ cm}$$

$$\text{Tinggi energi total, } h = nd \cdot \frac{H}{Nd} = 7,4 \cdot \frac{10}{10} = 7,4 \text{ cm}$$

$$\text{Tinggi tekanan air pori, } h_w = h - z = 7,4 - (-8,5) = 15,9 \text{ cm}$$

$$\text{Tekanan air pori (tekanan hidrostatik), } U = h_w \cdot \gamma_w = 15,9 \cdot 1 = 15,9 \text{ gr/cm}^2$$

Tabel 5.2 Hasil perhitungan tekanan air (teori)

Pipa	nd	Z (cm)	Tinggi energi total (h) cm	Tinggi tekanan air pori (h_w) cm	Tek. Hidrostatik (U) gr/cm^2
A	7,4	-8,5	7,4	15,9	15,9
B	6,6	-4,5	6,6	11,1	11,1
C	6,0	-7,0	6,0	13,0	13,0
D	5,2	-13,0	5,2	18,2	18,2
E	4,6	-11,0	4,6	15,6	15,6
F	2,7	-6,5	2,7	9,2	9,2
G	2,0	-12,5	2,0	14,5	14,5

Penelitian permeabilitas tanah dilakukan di laboratorium mekanika tanah, Universitas Negeri Yogyakarta, dengan nilai $k = 2,273 \cdot 10^{-2}$ cm/dt. Hasil pembacaan volume air yang tertampung dapat dilihat pada tabel 5.3.

Tabel 5.3 hasil pembacaan volume air yang tertampung.

Percobaan	t (detik)	V (cm^3)
I	1.853	4.276,480
II	1.751	3.848,832
Rata-rata	1.802	4.062,656

Hasil perhitungan debit rembesan dari penelitian,

$$q = \frac{v}{t} = \frac{4.062,656}{1.802} = 2,254 \text{ cm}^3 / \text{det}$$

Perhitungan debit rembesan secara teori dari flownet, $q = \frac{Nf}{Nd} k \cdot h$

Nf = alur aliran = 2,3

Nd = jumlah penurunan garis ekipotensial = 10

H = 10 cm

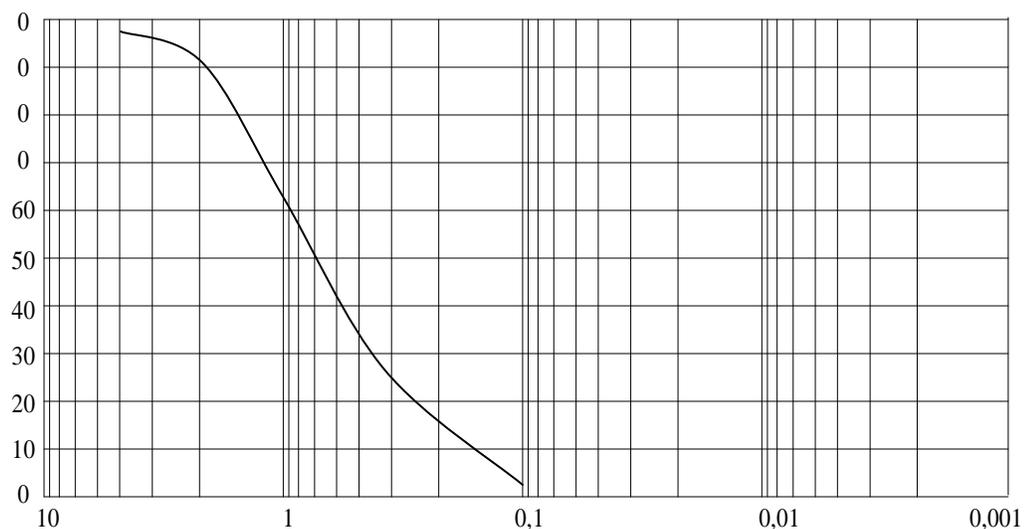
Lebar peraga = 24,5 cm ; $K = 2,273 \cdot 10^{-2}$ cm/dt

$$q = \frac{2,3}{10} 2,273 \cdot 10^{-2} \cdot 10 \cdot 24,5 = 1,280 \text{ cm}^3 / \text{det}$$

Pengujian dengan menggunakan berat pasir 1000 gr. Hasil analisa dapat dilihat pada Tabel 5.4.

Tabel 5.4 Analisa gradasi

No. saringan	Ukuran saringan (mm)	Berat tertahan saringan (gr)	Berat lewat saringan (gr)	Persen lewat saringan $\frac{c}{w} \times 100\%$
200	0,075	14	2	0,2
140	0,106	122	16	1,6
60	0,250	196	138	13,8
40	0,425	562	334	33,4
10	0,850	68	896	89,6
4	2,000	36	964	96,4
Berat butiran lebih kecil 0,075 mm		2		
jumlah		1000		



Gambar 5.2. Kurva distribusi ukuran butir tanah

Dari gambar 5.1 diperoleh $D_{10} = 0,16 \text{ mm}$, $D_{30} = 0,4 \text{ mm}$, $D_{60} = 0,96 \text{ mm}$

$$Cu = \frac{D_{60}}{D_{10}} = \frac{0,96}{0,16} = 6$$

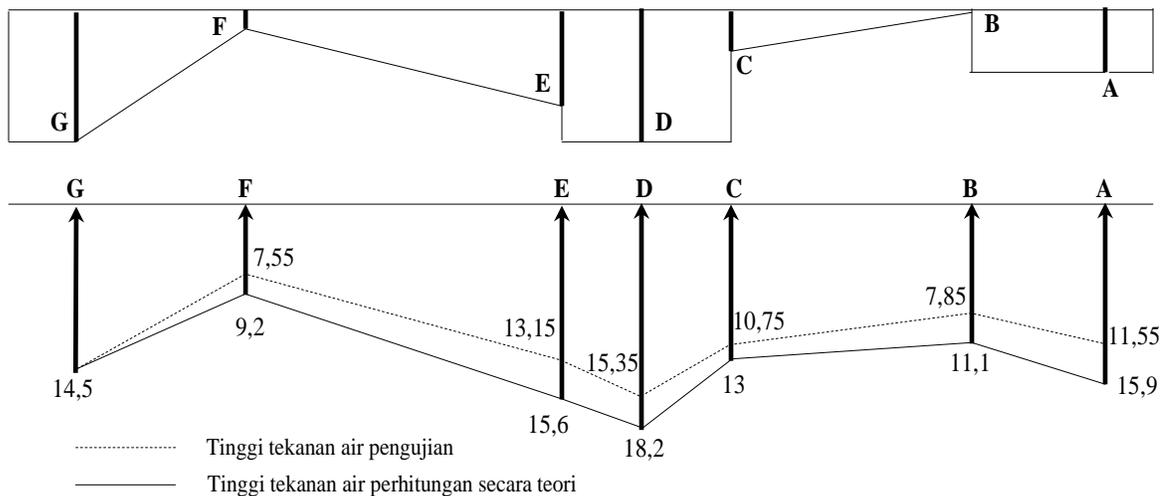
$$Cc = \frac{(D_{30})^2}{D_{10} \cdot D_{60}} = \frac{(0,4)^2}{0,16 \cdot 0,96} = 1,041$$

5.2. Pembahasan

Tinggi tekanan air pada penelitian ini di baca pada pipa-pipa yang terpasang pada peraga bendung dan di hitung secara teori dengan menggunakan flownet. Hasil perhitungan pada kedua cara tersebut disajikan pada tabel 5.5. Sedangkan diagram tekanan dibawah dasar bendung disajikan pada gambar 5.4. Dari kedua hasil tersebut terlihat bahwa ada perbedaan, tetapi secara tipikal bentuk diagram sama.

Tabel 5.5 Hasil pengujian di lapangan dan perhitungan secara teoritis.

Pipa	Tinggi tekanan air di pengujian (cm)	Tinggi tekanan air perhitungan secara teoritis (cm)
A	11,65	15,884
B	7,85	11,190
C	10,75	12,769
D	15,35	18,077
E	13,15	15,615
F	7,55	9,192
G	14,55	14,442



Gambar 5.3. Diagram tekanan air di bawah dasar bendung

Perhitungan debit rembesan yang mengalir dibawah bendung dilakukan dengan cara menampung volume air yang mengalir keluar dari alat peraga pada waktu tertentu dan di bandingkan dengan hitungan secara teori. Hasil perhitungan debit rembesan pada kedua cara tersebut adalah sebagai berikut, pada hitungan secara langsung diperoleh debit rembesan 2,254 cm³/det, sedangkan dari hitungan secara teori diperoleh debit rembesan 1,280 cm³/det. Perhitungan debit secara langsung lebih besar dari perhitungan teori. Perbedaan hasil hitungan pada kedua cara tersebut di karenakan beberapa kemungkinan : kondisi kepadatan pasir untuk pengujian k berbeda dengan kepadatan tanah pada alat peraga, pasir yang dituangkan adalah pasir kering, sehingga pasir yang digunakan belum mencapai keadaan jenuh, air merembes melalui sisi antara kaca dan peraga bendung.

Gradasi tanah bawah bendung yang digunakan dapat dibaca dari bentuk kurva distribusi ukuran butir, makin kekiri kurva suatu tanah berarti makin kasar butir-butirnya, maka makin ke kanan makin halus. Tanah dengan kurva makin tegak, berarti variasi ukuran butir-butirnya makin sedikit dan apabila kurva makin landai maka ukuran butir makin banyak variasi. Makin banyak variasi ukuran butir berarti gradasi makin baik. Dari hasil analisa gradasi dan dari gambar diagram distribusi ukuran butir tanah pada gambar 5.3 adalah tanah berbutir kasar. Jika dari fraksi kasar, fraksi pasirnya lebih banyak dari kerikil dinamakan sebagai pasir. Pada penelitian pasir yang digunakan mempunyai nilai $C_u = 6$ dan $C_c = 1,041$. Pada tanah pasir bila $C_u \geq 6$ dan $1 < C_c < 3$ dikatakan pasir bergradasi baik, jadi pasir pada penelitian ini adalah pasir bergradasi baik (SW).

VI. KESIMPULAN

Berdasarkan hasil dari pengujian pada alat peraga bendung dan hitungan secara teoritis maka dapat disimpulkan :

- a. Tinggi tekanan air pada bendung berdasarkan hasil pengukuran dilapangan berbeda dengan hasil yang diperoleh dari hitungan secara teori. Tetapi secara tipikal bentuk diagram tekanan air sama, perbedaan ini disebabkan beberapa kemungkinan yaitu : kondisi kepadatan pasir untuk pengujian k berbeda dengan kepadatan tanah pada alat peraga, pasir yang dituangkan adalah pasir kering, sehingga pasir yang digunakan belum dalam keadaan jenuh, air merembes melalui sisi antara kaca dan peraga bendung

- b. Debit rembesan yang diperoleh secara langsung $2,254 \text{ cm}^3/\text{detik}$, sedangkan debit rembesan secara teori $1,280 \text{ cm}^3/\text{detik}$, perbedaan hasil tersebut dikarenakan sulitnya mempertahankan tinggi air di hulu.
- c. Pasir yang digunakan adalah pasir bergradasi baik dengan nilai $C_u = 6$ dan $C_c = 1,041$, dan koefisien permeabilitasnya tanah $k = 2,273 \cdot 10^{-2} \text{ cm/dt}$.

DAFTAR PUSTAKA

- Bowles, J., Hainim, J. K., 1989, *Sifat-sifat Fisika dan Geoteknik Tanah*, Edisi Kedua, Eriangga, Jakarta
- Craig, R. F., Soepandji, B. S., 1991, *Mekanika Tanah*, Edisi Keempat, Erlangga, Jakarta.
- Daruslan, 1993-1994, *Mekanika Tanah I*, Diktat Kuliah, Biro Penerbit KMTS FT Universitas Gajah Mada, Yogyakarta.
- Das, B. M., Noor Endah, Mochtar, I. B., 1994, *Mekanika Tanah, Prinsip-prinsip Rekayasa Geoteknis*, Jilid II, Erlangga, Jakarta.
- Hardiyatmo, H. C., 2006, *Mekanika Tanah I*, Edisi Keempat, Penerbit Gadjah Mada University Press, Yogyakarta.
- Tedy, Yusaka, 2008, Tugas, Akhir, *Tinjauan Alat Peraga Bendung Dengan Turap Dan Tanpa Turap Pada Tanah Halus*, UKRIM, Yogyakarta (Tidak di publikasikan).
- Napitupulu, R., 2003, Tugas, Akhir, *Tinjauan Alat Peraga Bendung Dengan Turap Dan Tanpa Turap Pada Tanah Permeabel*, UKRIM, Yogyakarta (Tidak di publikasikan).
- Soedarmo, G. D., Purnomo, S. J. E., 1993, *Mekanika Tanah I*, Kanisius, Yogyakarta.
- Soedibyo, 2003, *Teknik Bendungan*, Edisi Kedua, PT Sentra Sarana Abadi, Jakarta.
- Sosrodarsono, S., Takeda, K., 2003, *Hidrologi Untuk Pengairan*, PT Pradnya Paramita, Jakarta.
- Terzaghi, Karl, Peck, Ralph B., 1987, *Mekanika Tanah Dalam Praktek Rekayasa*, Erlangga, Jakarta.
- Wesley, L., 1997, *Mekanika Tanah*, Badan Penerbit Pekerjaan Umum, Jakarta.