

DEBIT ALIRAN AIR TANAH MELALUI PIPA BERPORI

Edy Sriyono

Jurusan Teknik Sipil Fakultas Teknik Universitas Janabadra Yogyakarta
email : edysriyono@gmail.com

ABSTRAK

Penelitian ini bertujuan untuk mengkaji pengaruh permeabilitas tanah (k), tinggi muka air (h), diameter pipa (D), panjang pipa (L), kedalaman pipa (l), dan luas pori (A_f) terhadap debit aliran melalui pipa berpori (Q). Selain itu juga bertujuan untuk menentukan formula empirik hasil analisis dimensi debit aliran (Q) yang melalui pipa berpori. Penelitian dilakukan dengan cara membuat eksperimen fisik di laboratorium yang terdiri dari bak penelitian yang terbuat dari pasangan batu bata dan pipa berpori (jumlah pipa berpori seluruhnya 9 buah), yang kemudian diisi dengan pasir dan air pada berbagai macam variasi, kemudian besarnya debit aliran melalui pipa berpori diukur dengan gelas ukur. Hasil penelitian menunjukkan bahwa beberapa parameter yang berpengaruh secara signifikan terhadap debit (Q) adalah: permeabilitas tanah (k), diameter pipa berpori (D), panjang pipa berpori (L), kedalaman pipa berpori (l), luas pori (A_f), dan ketinggian air di atas pipa berpori (h).

$Q = f(k, A_f, L, l, D, h)$

Adapun formulasi empirik debit yang mewakili hubungan antara $Q/k.L.D$ dengan $A_f.h/L.D.l$ adalah sebagai berikut ini.

$$\frac{Q}{k.L.D} = 54.600 \left[\frac{A_f.h}{L.D.l} \right]^{0,427}$$

Kata Kunci : debit, aliran air tanah, pipa berpori

PENDAHULUAN

Penelitian ini dilatarbelakangi pada masalah kekurangan debit air asin yang didapat dari sumur gali pada lahan tambak udang yang berada di pantai berpasir Dukuh Kuwaru, Desa Ponco Sari, Kecamatan Srandakan, Kabupaten Bantul, Propinsi Daerah Istimewa Yogyakarta yang dikelola oleh PT. Indokor Bangun Desa yang digunakan untuk memenuhi kebutuhan akan air asin pada lahan tambak udang tersebut.

Guna mengatasi kekurangan debit air asin tersebut diusulkan untuk membuat sumur kolektor berjari yang terdiri dari sumur gali dengan diameter 5,0 m yang kemudian di bagian bawahnya dipasang secara *horisontal* sejumlah pipa

berpori/berlubang dengan diameter 30 cm dan panjang 4,0 m. Sebagai langkah awal akan diteliti kemampuan sebuah pipa berpori dalam mengalirkan debit aliran air tanah tersebut.

Berdasarkan uraian tersebut di atas maka berikut ini disampaikan bentuk perumusan masalah yaitu “Bagaimana mendapatkan hitungan/formula empirik debit aliran air tanah melalui pipa berpori dengan cara membuat eksperimen fisik di laboratorium”.

Darcy (1956) dalam Kashef (1986) mengusulkan hubungan antara kecepatan dan gradien hidraulik sebagai berikut ini.

$$v = k.i \quad (1)$$

Dengan v = kecepatan air (cm/det), i = gradien hidraulik, dan k = koefisien permeabilitas tanah (cm/det).

Debit rembesan (q) dinyatakan dengan persamaan :

$$q = k.i.A = k.A \frac{h_f}{L} \quad (2)$$

Dengan q = debit rembesan (cm³/det), k = koefisien permeabilitas tanah (cm/det), A = luas penampang pengaliran (cm²), h_f = kehilangan tinggi tenaga (cm), dan L = jarak yang ditempuh aliran (cm).

Besarnya aliran yang keluar secara bebas dari pori dalam sebuah pipa dapat dihitung dengan mengetahui lobang pori dan pola lobang porinya. Sebuah persamaan orifice sederhana dapat digunakan untuk menghitung besarnya aliran tersebut dalam cubic feet per second (Anonim, 2004).

$$Q_p = C_d A \sqrt{2gH} \quad (3)$$

Dengan Q_p = laju aliran yang keluar bebas melalui sebuah pori (ft³/sec), C_d = koefisien debit = 0,60, A = luas penampang melintang dari sebuah pori (ft²), g = percepatan gravitasi = 32,2 ft/sec², dan H = tinggi permukaan air diatas pori, head (ft).

Pipa berpori dapat diletakkan dalam tanah sampai pada kedalaman 15 m dari permukaan tanah dan mampu mengalirkan debit sebesar 130 gpm/ft² (Anonim, 2005) atau 102 lt/sec/m² (Anonim, 2000).

Berdasarkan penelitian yang dilakukan oleh Nasjono (2002) diperoleh persamaan empirik hasil regresi aliran melalui pipa berpori sebagai berikut ini.

$$\frac{Q}{k.L.d} = 148,41 \left\{ \left(\frac{App}{L.d} \right) \left(\frac{h}{l} \right) \right\}^{0,2366} \quad (4)$$

Dengan Q = debit yang mengalir melalui pipa (m³/det), k = permeabilitas tanah (m/det), L = panjang pipa (m), d = diameter pipa (m), App = luas pori (m²), l

= kedalaman pipa dalam tanah (m), dan h = ketinggian air diatas pipa (m).

Penelitian tersebut dibatasi hanya pada 1 (satu) nilai k (permeabilitas tanah) saja, dan permukaan air berada di atas permukaan tanah.

Pada penelitian yang akan dilaksanakan ini, akan menggunakan : 3 (tiga) jenis nilai k (permeabilitas), dan permukaan tanah berada di atas permukaan air karena dipandang lebih sesuai dengan kondisi di lapangan.

Penelitian ini bertujuan menentukan formula empirik debit aliran air tanah melalui pipa berpori, yang menyangkut beberapa hal sebagai berikut ini.

1. Mengkaji pengaruh permeabilitas tanah (k), tinggi muka air (h), diameter pipa (D), panjang pipa (L), kedalaman pipa (l), diameter pori (D_f), jarak antar pori (s), dan luas pori (A_f) terhadap debit aliran (Q).
2. Membuat formulasi empirik debit aliran rembesan (Q) yang melalui pipa berpori dengan mencari hubungan antara karakteristik pipa [diameter pipa (D), panjang pipa (L), kedalaman pipa (l), diameter pori (D_f), jarak antar pori (s), dan luas pori (A_f)] dengan aliran rembesan menurut hukum Darcy [tinggi head/muka air (h), kedalaman pipa (l), dan koefisien permeabilitas tanah (k)].

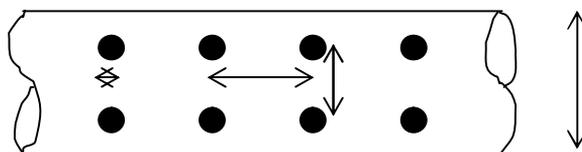
METODOLOGI PENELITIAN

Desain Penelitian

Model pipa berpori didesain seperti pada Gambar 1, model kombinasi pipa berpori didesain seperti Tabel 1, dan model kombinasi letak pipa berpori didesain seperti pada Tabel 2. Denah model pipa berpori didesain seperti pada Gambar 2. Gambar 3 memperlihatkan potongan A-A model pipa berpori.

Model pipa berpori adalah kombinasi dari panjang pipa berpori (L), diameter pipa berpori (D), diameter pori (D_f), jarak pori (s) seperti pada Gambar 1 dan Tabel 1. Setiap kombinasi menghasilkan luas pori (A_f) tertentu. Model letak pipa berpori adalah kombinasi dari Tabel 1, dan 2 dengan koefisien permeabilitas tanah (k), kedalaman pipa dalam tanah (l), dan ketinggian air di atas tanah (h).

Desain simulasi penelitian dibuat dengan memvariasi beberapa parameter penelitian yaitu panjang pipa berpori (L), diameter pipa berpori (D), diameter pori (D_f), jarak pori (s), kedalaman pipa berpori dalam tanah (l), ketinggian air di atas pipa berpori (h), dan permeabilitas tanah (k).



Gambar 1. Model Pipa berpori

Tabel 1. Model kombinasi pipa berpori

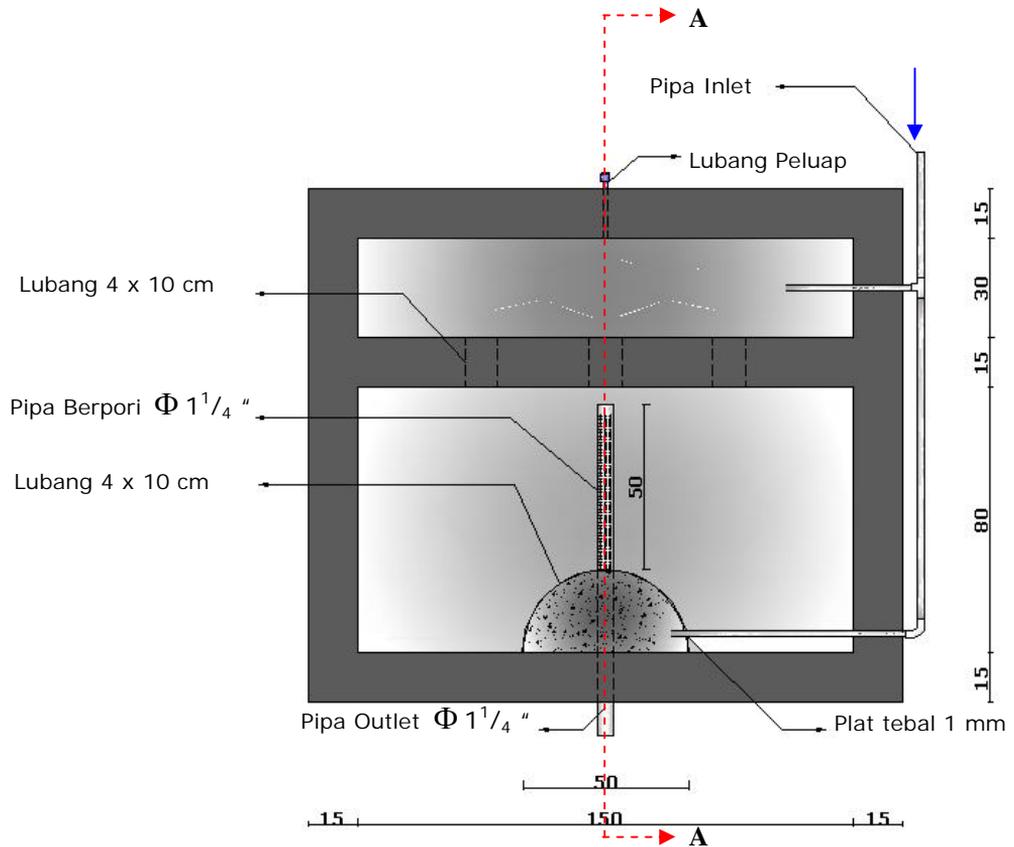
D (inch)	L (cm)	D _f (mm)	s (cm)
			1
		1	2
			3
	30	2	1
			2
			3
		3	1
			2
			3
		1	1
			2
			3
1,25	40	2	1
			2
			3
		3	1
			2
			3
		1	1
			2
			3
	50	2	1
			2
			3
		3	1
			2
			3

Tabel 2. Model kombinasi letak pipa berpori

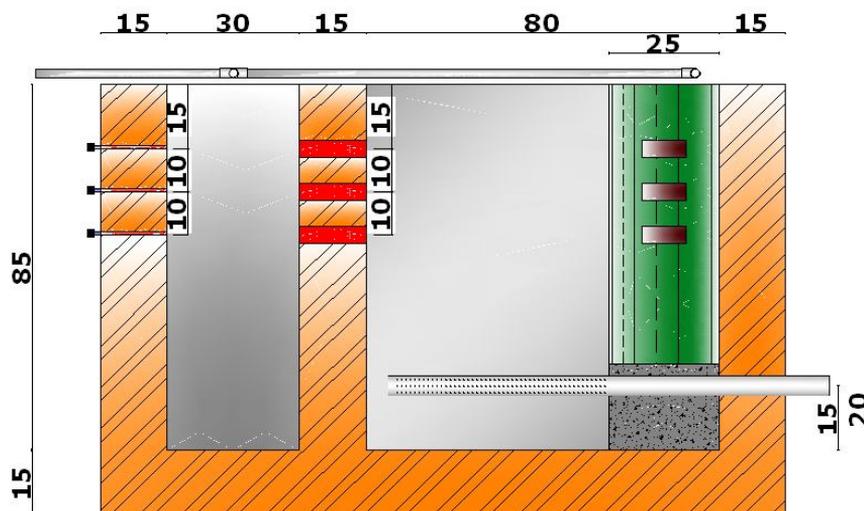
k (m/det)	l (cm)	h (cm)
		35
	55	45
		55
$k_1 = 6,1 \cdot 10^{-4}$		35
$k_2 = 1,1 \cdot 10^{-4}$	60	45
$k_3 = 2,8 \cdot 10^{-4}$		55
		35
	65	45
		55

Bahan dan Peralatan Penelitian

Media eksperimen terdiri dari pasangan batu bata tebal 15 cm berukuran panjang 180 cm; lebar 155 cm; dan tinggi 90 cm, serta plat baja tebal 1 mm. Pipa PVC berpori diletakkan seperti pada Gambar 2, dan 3 dengan kombinasi permeabilitas tanah (k), ketinggian air di atas pipa (h), kedalaman pipa dalam tanah (l) seperti pada Tabel 2. Simulasi eksperimen juga dilakukan terhadap kombinasi pipa berpori yang terdiri dari panjang pipa (L), diameter pori (D_p), dan jarak pori (s).



Gambar 2. Denah Model Pipa Berpori



Gambar 3. Potongan A – A Model Pipa Berpori

Pasir yang akan digunakan dalam penelitian ini mempunyai koefisien permeabilitas $k_1 = 6,1 \cdot 10^{-4}$ m/sec, $k_2 = 1,1 \cdot 10^{-4}$ m/sec, dan $k_3 = 2,8 \cdot 10^{-4}$ m/sec. Adapun peralatan yang digunakan dalam penelitian ini meliputi: Stop watch, Mistar ukur, Gelas ukur berkapasitas 1 liter sebanyak 3 buah, Kamera digital, Alat tulis, Lakban, Gunting, Cetok, Ember, Sekop tangan 2 buah, Pacul, dan alat bantu lainnya.

Pelaksanaan Penelitian

Garis besar langkah-langkah penelitian adalah sebagai berikut ini.

Pipa berpori diletakkan di dalam bak penelitian seperti terlihat pada Gambar 2. Bak penelitian diisi pasir dengan ketebalan bervariasi seperti terlihat pada Tabel 2 kemudian dialirkan air sampai dengan ketinggian bervariasi seperti Tabel 2 tersebut.

Jika kondisi aliran sudah stabil ($Q_{inlet} = Q_{outlet}$ dan muka air tetap pada elevasi peluap), ukur debit (Q) yang keluar melalui pipa berpori dan catat hasilnya. Pengukuran debit (Q) dilakukan sebanyak 3 kali untuk setiap kombinasi tinggi head dan letak pipa di dalam tanah, untuk diambil nilai rata-ratanya. Prosedur di atas dilakukan untuk beberapa variasi sesuai dengan desain penelitian yang sudah direncanakan untuk diteliti.

Percobaan dilaksanakan untuk 3 jenis pasir dengan masing-masing koefisien permeabilitas $k_1 = 6,1 \cdot 10^{-4}$ m/sec, $k_2 = 1,1 \cdot 10^{-4}$ m/sec, dan $k_3 = 2,8 \cdot 10^{-4}$ m/sec.

ANALISIS DAN PEMBAHASAN

Analisis Dimensi

Parameter-parameter yang berpengaruh dalam penelitian ini adalah:

$$Q = f(D, L, l, h, D_f, s, g, k)$$

$$Q = f(D, L, l, h, g, k, A_f) \quad (5)$$

Dimana $A_f = f(s, D_f)$

Parameter penting adalah Q atau debit aliran sedangkan parameter-parameter yang diulang adalah g atau percepatan gravitasi dan D atau diameter pipa berpori.

Pada Persamaan 5 tersebut terdapat delapan parameter ($n = 8$) dan hanya terdiri dari dua dimensi dasar ($m = 2$) yaitu dimensi panjang L dan dimensi waktu T, sehingga produk bilangan tak berdimensi yang dihasilkan adalah $(n - m) = 8 - 2 = 6$ buah ($\pi = 6$) yaitu:

$$\pi_1 = g^{-1/2} D^{-5/2} Q = g^{-1} D^{-5} Q^2 = \frac{Q^2}{gD^5} \quad (6)$$

$$\pi_2 = g^{-1/2} D^{-1/2} k = g^{-1} D^{-1} k^2 = \frac{k^2}{gD} \quad (7)$$

$$\pi_3 = g^0 D^{-2} A_f = \frac{A_f}{D^2} \quad (8)$$

$$\pi_4 = g^0 D^{-1} l = \frac{l}{D} \quad (9)$$

$$\pi_5 = g^0 D^{-1} L = \frac{L}{D} \quad (10)$$

$$\pi_6 = g^0 D^{-1} h = \frac{h}{D} \quad (11)$$

Jika analisis dimensi dilanjutkan maka:

$$\pi_7 = \frac{\sqrt{\pi_1 / \pi_2}}{\pi_5} = \sqrt{\frac{Q^2}{gD^5} \cdot \frac{gD}{k^2} / \frac{L}{D}} = \frac{Q}{kLD} \quad (12)$$

$$\pi_8 = \frac{\pi_6}{\pi_4} = \frac{h}{l} \quad (13)$$

$$\pi_9 = \frac{\pi_3}{\pi_5} \cdot \pi_8 = \frac{A_f}{D^2} \cdot \frac{D}{L} \cdot \frac{h}{l} = \frac{A_f \cdot h}{LDl} \quad (14)$$

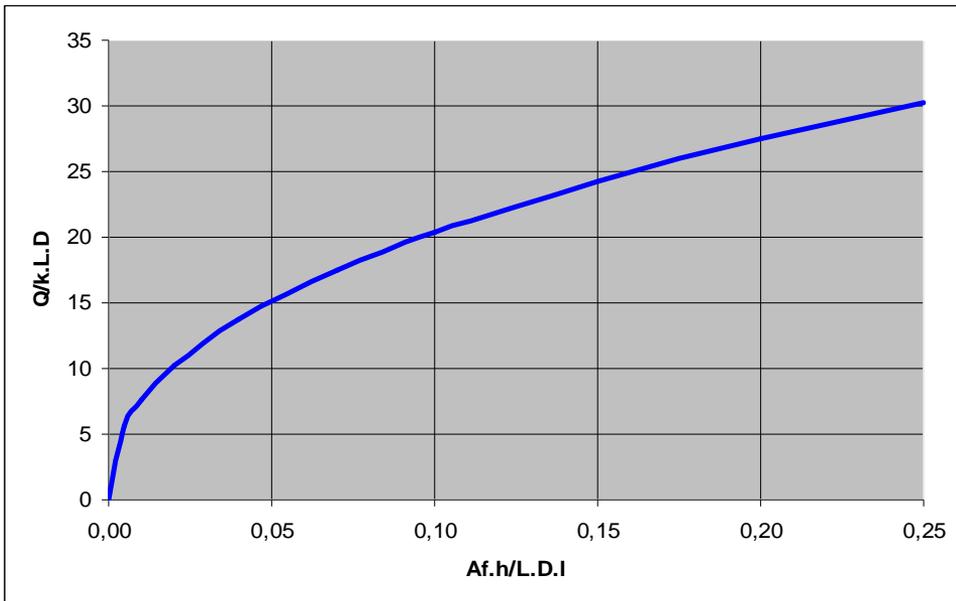
Dengan demikian bilangan tak berdimensi yang mewakili parameter-parameter yang mempengaruhi penelitian dapat ditulis sebagai berikut ini.

$$\phi\left(\frac{Q}{kLD}, \frac{A_f \cdot h}{LDI}\right) \quad (15)$$

Hubungan antara Q/k.L.D dengan A_f.h/L.D.I

Berdasarkan hasil analisis data regresi non linear, diperoleh hubungan antara Q/k.L.D dengan A_f.h/L.D.I sebagai berikut ini (lihat Gambar 5).

$$\frac{Q}{k.L.D} = 54.600 \left[\frac{A_f \cdot h}{L.D.I} \right]^{0,427} \quad (16)$$



Gambar 4. Hubungan antara Q/k.L.D dengan A_f.h/L.D.I

Rumus empirik pada Persamaan 16 ini mirip dengan rumus *Darcy* pada Persamaan 2, hanya saja pada Persamaan 16 mempunyai variabel yang lebih banyak. Sedangkan bila dibandingkan dengan rumus Nasjono pada Persamaan 4, berbeda koefisien-koefisiennya, hal ini dimungkinkan terjadi karena pada penelitian ini menggunakan 3 (tiga) nilai koefisien permeabilitas (*k*) dan elevasi muka air berada di bawah elevasi muka tanah.

Aplikasi Hasil Penelitian

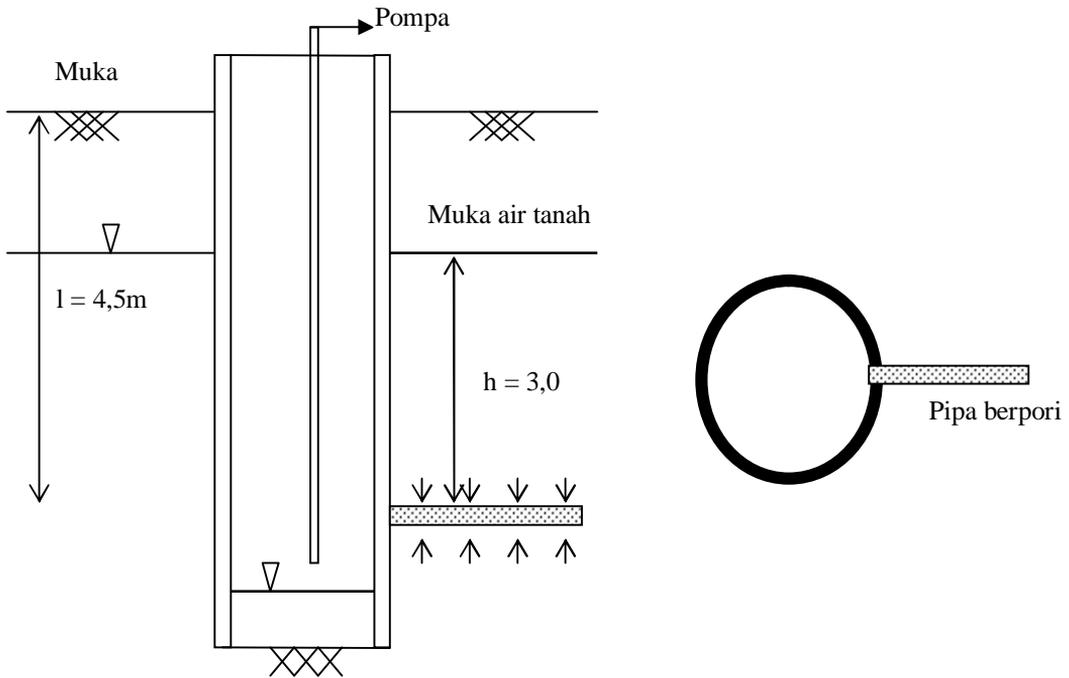
Dalam rangka mengaplikasikan hasil penelitian, akan diberikan contoh perencanaan pipa-pipa berjari pada sistem sumur kolektor berjari seperti terlihat pada Gambar 4.

Diketahui:

Koefisien permeabilitas tanah: $k = 5 \cdot 10^{-4}$ m/det

Pipa berpori : panjang (L) = 4,0 m dan diameter (D) = 0,30 m

Pori : diameter (D_f) = 3 cm = 0,03 m dan jarak (s) = 15 cm = 0,15 m



Gambar 5. Contoh aplikasi pipa berpori

Kedalaman muka air di atas pipa berpori: $h = 3,0$ m

Kedalaman muka tanah di atas pipa berpori: $l = 4,5$ m

Ditanyakan: Berapa besarnya debit aliran melalui pipa berpori (Q).

Penyelesaian:

Jumlah pori: $n_f = L/s \cdot (\pi \cdot D/s) = 4,0/0,15(\pi \cdot 0,30/0,15) = 27,6 = 162$ buah

Luas pori pada pipa berpori: $A_f = \frac{1}{4} \cdot \pi \cdot D_f^2 \cdot n_f = \frac{1}{4} \cdot \pi \cdot 0,03^2 \cdot 162 = 0,114557$ m²

$A_f \cdot h/L \cdot D \cdot l = (0,114557 \cdot 4,0)/(3,0 \cdot 0,30 \cdot 4,5) = 0,113143$

Debit aliran melalui pipa berpori :

Lihat grafik Gambar 4, didapat $Q/k \cdot L \cdot D = 21,5$

$Q = 21,5 \cdot k \cdot L \cdot D = 21,5 \cdot 5 \cdot 10^{-4} \cdot 4,0 \cdot 0,30 = 0,0129$ m³/det

Jadi besarnya debit melalui pipa berpori : $Q = 0,0129$ m³/det

KESIMPULAN

Berdasarkan pengamatan selama pelaksanaan penelitian dan hasil analisis terhadap data penelitian Debit Aliran Air Tanah Melalui Pipa Berpori, dapat disampaikan beberapa kesimpulan sebagai berikut ini.

1. Hasil penelitian menunjukkan bahwa beberapa parameter yang berpengaruh secara signifikan terhadap debit aliran melalui pipa berpori (Q) adalah: permeabilitas tanah (k), diameter pipa berpori (D), panjang pipa berpori (L), kedalaman pipa berpori (l), luas pori (A_f), dan ketinggian air di atas pipa berpori (h).

$$Q = f(k, D, L, l, A_f, h)$$

2. Adapun formulasi empirik hasil analisis dimensi debit aliran melalui pipa berpori yang mewakili hubungan antara $Q/k.L.D$ dengan $A_f.h/L.D.l$ adalah sebagai berikut ini.

$$\frac{Q}{k.L.D} = 54.600 \left[\frac{A_f.h}{L.D.l} \right]^{0.427}$$

Rumus empirik inilah yang dapat digunakan untuk perencanaan pipa berpori.

DAFTAR PUSTAKA

- Anonim, 2000, *Perforated Pipe Subdrains*, Specification.
- Anonim, 2004, *Outflow from Perforated Pipe*, Technical Notes, www.ads-pipe.com, Hilliard.
- Anonim, 2005, *Subdrainage 02620 (Spec-Data)*, Midwest Diversified Technologies Inc., Reed Construction Data.
- Hardiyatmo, H.C., 2002, *Mekanika Tanah I*, Edisi ketiga, Gadjah Mada University Press, Yogyakarta, 141-258.
- Kashef, A.I., 1986, *Groundwater Engineering*, McGraw-Hill Book Co. Inc., New York.
- Nasjono, J.K., 2002, *Studi Debit Aliran Rembesan Melalui Pipa Berpori*, Thesis, Program Pascasarjana Universitas Gadjah Mada, Yogyakarta.
- Nasjono, J.K., Yuwono, N., dan Triatmadja, R., 2003, *Formulasi Sistem Pipa Berpori Bawah Tanah Dan Penerapannya*, Civil Engineering Forum Journal XII(1): 12-20.
- Petroff, C., Arnason H., and Sieck L., 2003, *Groundwater Notes (Hydraulic Engineering)*, www.courses.washington.edu/hydc/class/index.html.
- Sunjoto, 1989, *Aliran Bawah Permukaan*, PAU-IT UGM, Yogyakarta.