FORMULAS1 SISTIM PIPA BERPORI BAWAH TANAH DAN PENERAPANNYA

Judi K. Nasjono[1)], Nur Yuwono[2)], Radianta Triatmadja[2)]

[1)] Jurusan Teknik Sipil, Fakultas Sains dan Teknik, Universitas Nusa Cendana, Kupang
Jalan Adisucipto Penfui, Kupang, Nusa Tenggara Timur
[2)] Jurusan Teknik Sipil dan Lingkungan, Fakultas Teknik, Universitas Gadjah Mada
Jalan Grafika No. 2 Yogyakarta 55281

ABSTRACT

One advantage of saline water intrusion phenomena is that saline water may be obtained from shallow well close to coastline. The method is friendly to the environment. Shallow well of depth less than 40 times of ground water height measured from seawater level produce a small amount of saline water. Additional saline intrusion discharge may be obtained by installing seaward horizontal perforated pipe at the bottom of well. Research of seepage discharge trough perforated pipe has been done using physical model with tree variation of pipe diameter. Each pipe was varied in length, perforation diameter, and gap of perforation. They were placed at three various depths under sand surface. To simulate the tidal fluctuation there was four variation of water level. Discharge was obtained from all model combination. The result of the research is a formula that was derived from Darcy formula. The formula could be useful to design. It indicates that there are correlation between depth of pipe burial, pipe length, pipe diameter, head, porosity of pipe and discharge

KEYWORDS : Pipe, perforation, discharge.

PENDAHULUAN

Air asin adalah elemen penting pada usaha tambak ikan air asin. Air asin tersedia berlimpah ruah dilautan, dan untuk itu diperlukan suatu cara yang dapat memindahkan air laut dari lautan ke dalam tambak. Cara pengambilan air asin meliputi pemompaan, dengan memanfaatkan kondisi pasang surut atau dengan menggali sumur memanfaatkan intrusi air asin.

Metode Ghyben-Herzberg (Todd 1980; Bowen 1986; Reilly. 1985) adalah metode sederhana yang berdasarkan prinsip keseimbangan hidrostatis antara air asin dan tawar menetapkan bahwa air asin yang terintrusi kedaratan terdapat pada kedalaman 40 kali ketinggian muka air tawar atau lebih diukur dari muka air laut rerata. Hal ini belum terlalu akurat karena pada daerah pantai ternyata ada aliran air tanah yang mengalir menjorok masuk daerah dibawah dasar pantai. Jauhnya aliran air ini mengalir dari bibir pantai kearah lautan tergantung dari jenis tanah (koefisien permeabilitas) dan debit aliran air tanah. Selain itu kenyataan dilapangan menunjukkan adanya daerah pencampuran air tawar dan air asin didaerah pertemuan keduanya. Intrusi air asin dipengaruhi pula oleh aktifitas manusia yang memanfaatkan air tanah disekitar daerah pantai, evaporasi, transpirasi dan pasang surut. Pada daerah yang kurang memanfaatkan

air tanah maka berarti penggalian sumur harus lebih dalam lagi untuk mendapatkan air asin yang diperulukan. Sumur yang lebih dalam akan membutuhkan daya pompa besar yang berarti menambah biaya pengoperasian. Memasang sistim pipa berpori bawah tanah di dasar sumur yang dangkal bertujuan untuk meningkatkan debit air asin tanpa menambah kedalaman sumur.

Dari hasil studi literatur ternyata hanya sedikit hasil penelitian yang dapat dijadikan rujukan untuk perencanaan dan pengoperasian sistim pipa berpori bawah tanah. Todd (1980) menyebutkan laporan keberhasilan penggunaan pipa berpori yang berfungsi sebagai sumur horizontal pada suatu daerah perbukitan yang dikarenakan keadaan formasi tanah sedemikian sehingga mampu menampung air dalam jumlah besar, sehingga membangun sumur horizontal lebih murah daripada sumur biasa. Laporan ini tidak menyebutkan hubungan besarnya debit yang dihasilkan dengan diameter pipa yang terpasang dan spesifikasi pori pada pipa.

Todd (1980) dan Bowen (1986) masing-masing telah menyebutkan suatu sistim pipa berpori bawah tanah yang dikenal dengan nama *collector well.* Sistim ini adalah pipa berpori yang dibungkus dengan filter dan ditempatkan dibawah dasar sungai. Pipa-pipa ini kemudian disambungkan pada suatu sumur. Diameter pipa 12-20 cm dan diameter sumur pengumpul 5 m. dengan cara ini debit yang dihasilkan dapat mencapai 27.000 m^3/dtk bervariasi tergantung lokasi. Laporan ini tidak menyertakan suatu cara untuk perencanaan yang memperlihatkan hubungan debit yang dihasilkan dengan diameter pipa dan spesifikasi pori sehingga dapat dipakai untuk penerapan di tepi laut.

Weisman dkk (1995) meneliti *beach drain system* yang menggunakan pipa berpori bawah tanah di pasir sejajar dengan gelombang datang dalam *flume* dengan mensimulasikan pula pengaruh pasang surut. keadaan ini berbeda dengan sistim pipa berpori yang diteliti dimana pipa berpori dipasang tegak lurus pantai dan tidak memerlukan simulasi gelombang. Hasil yang diperoleh dari penelitian *beach drain system* adalah terbentuknya *berm* yang lebih tinggi dan lebar di pantai dibandingkan dengan tanpa mempergunakan sistim ini. Vesterby dkk (1999) rnelaporkan keberhasilan penggunaan sistim yang di tinjau oleh Weisman pada kondisi skala penuh dengan hasil berupa adanya perpindahan garis pantai kearah lautan. Kedua laporan ini menyebutkan adanya aliran air dari pipa bawah tanah yang debitnya menurun bersamaan dengan berpindahnva garis pantai dan terbentuk *berm* yang lebih lebar.

Tujuan utama penelitian ini adalah memformulasikan debit aliran rembesan yang melalui pipa berpori dengan mencari hubungan dari spesifikasi pipa, tinggi muka air laut serta kedalam pipa dari permukaan tanah. Hasilnya diharapkan dapat membantu perencanaan sistim pipa

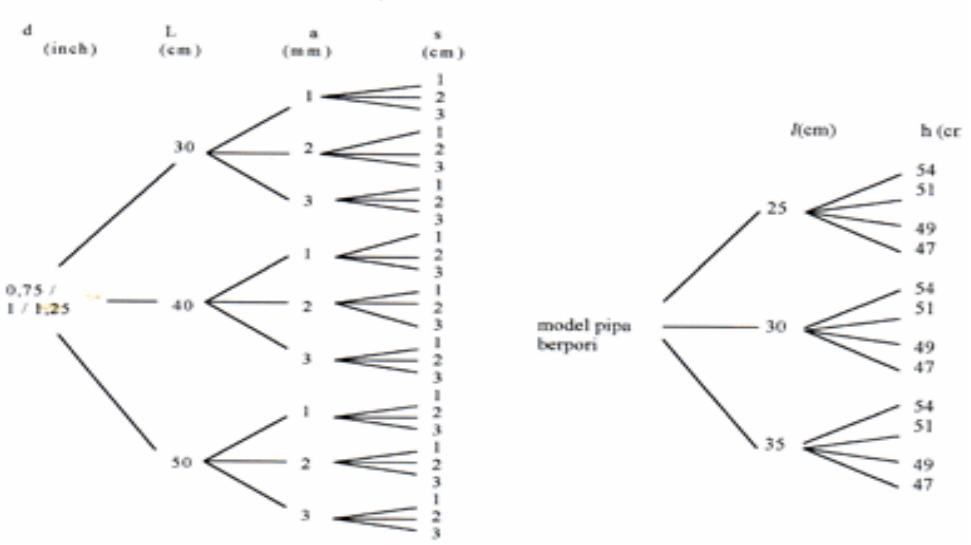
bawah tanah sehubungan dengan debit yang diperlukan dan cara pengoperasian pompa terkait dengan besar debit yang dihasilkan akibat pengaruh pasang surut.

PELAKSANAAN PENELITILAN

Penelitian ini sebagian besar dilaksanakan di Laboratorium Hidraulik dan Hidrologi, PAU llmu Teknik Universitas Gadjah Mada. Fasilitas yang digunakan diantaranya adalah sebuah wadah dari kayu yang diberi lapisan anti air berukuran panjang 70 cm; lebar 30 cm: tinggi 70 cm. Pipa PVC berpori dibungkus dengan kain filter dan diletakkan seperti pada Gambar 2a dengan kombinasi ketinggian air (h) dan kedalaman dalam tanah (*l*) seperti pada Gambar l b. Model pipa berpori adalah kombinasi dari (Gambar 1 a) panjang pipa (L), diameter pipa (d), diameter pori (*a*). Jarak antara pori (s) seperti pada Gambar 2b, setiap kombinasi menghasilkan luas pori (A_{pp}) tertentu.

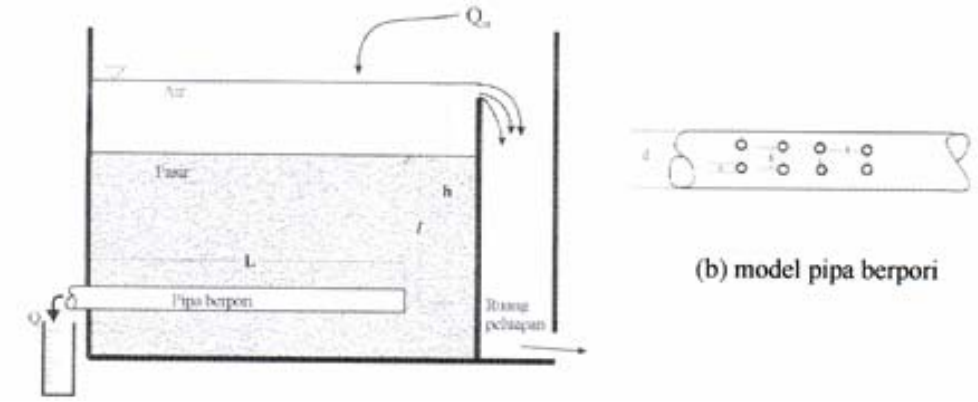
Pengukuran debit (Q) yang mengalir melalui pipa dilakukan sebanyak empat kali untuk setiap kombinasi tinggi head dan letak pipa didalam tanah. Tinggi tekanan pada pori (h_e) diketahui dengan membaca alat ukur tekanan vang dihubungkan pada permukaan pipa, dibaca pada saat sebelum dan sesudah pengukuran debit.

Penelitian ini dibatasi pada keadaan koefisien permeabilitas pasir ($k = 6{,}8 \times 10^{-5}$ m/dtk) tetap, dasar laut rata, aliran yang terjadi karena gravitasi, pengaruh kain filter diabaikan.



(a) kombinasi pipa berpori (b) kombinasi letak pipa

Gambar 1. Diagram kombinasi pipa berpori dan letak pipa

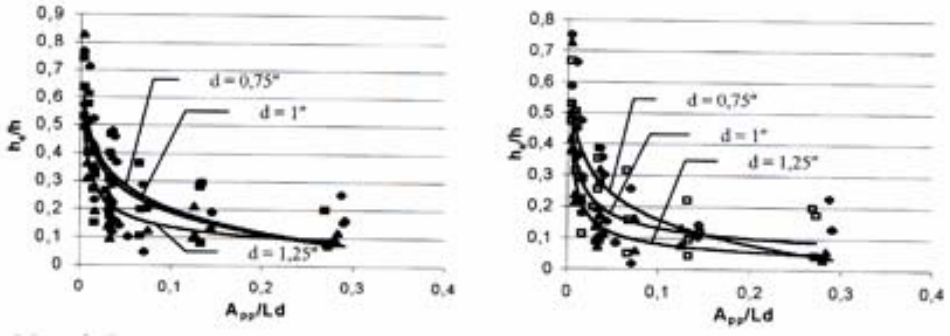


(a) letak model dalam wadah

Gambar 2. letak model dalam wadah dan model pipa berpori

HASIL PENELITIAN DAN PEMBAHASAN

Hasil penelitian disajikan dalam bentuk grafik dengan parameter non dimensi sebagai hasil dari analisa non dimensi cara Buckingham (Nasjono, 2002). Kurva hasil regresi statistik yang diperoleh dari grafik tersebut menunjukkan hubungan non dimensional pula



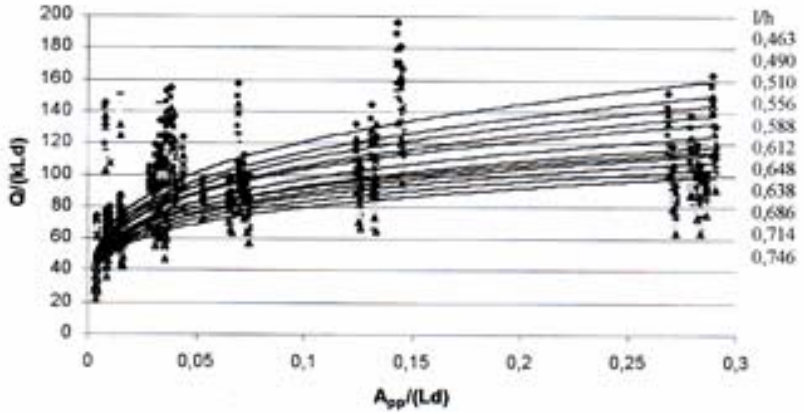
(a) pada head 45 m, kedalaman 25 cm (b) pada head 47 cm, kedalaman 35 cm

Gambar 3. Hubungan h_e/h dan $A_{pp}/(Ld)$ dengan variasi diameter pipa

Gambar 3 adalah hubungan h_e/h dan $A_{pp}/(Ld)$ yang memperlihatkan bahwa semakin luas pori ($A_{pp}/(Ld)$) pada penampang pipa, tekanan pada pori (he) menjadi semakin kecil. Kehilangan tekanan terbesar terjadi pada interval luas $0 < A_{pp}/(Ld) < 0.05$ ditandai dengan gradien yang relatif besar pada intenal tersebut. Pada permukaan dengan luas pori yang lebih luas lagi, pertambahan kehilangan tekanan kecil. Selain luas pori, kehilangan tekanan dipengaruhi pula oleh letak pipa dari permukaan pasir. Semakin jauh pipa diletakkan dari permukaan pasir tekanan pada pori semakin kecil.

Pada Gambar 3 terlihat bahwa semakin besar diameter pipa kehilangan tekanan semakin besar berarti diameter pipa mempengaruhi besar kehilangan tekanan. Hal ini dapat terjadi dikarenakan untuk pipa yang mempunyai luas pori, letak dan head yang sama berarti menerima aliran rembesan dengan volume yang sama, tetapi dengan adanya perbedaan diameter akan menyebabkan terjadinya perbedaan tekanan didalam pipa. Dimana dengan volume aliran tetap, makin besar diameter tekanan akan berkurang dan sebaliknya (pada keadaan air penuh didalam pipa). Persamaan Bernoulli (Dougherty, 1985, dan Triatmodjo, 1986) memperlihatkan bahwa jumlah tekanan di semua titik dalam pipa adalah sama, sehingga bila tekanan pada pipa berkurang maka tekanan pada lubang pori akan berkurang pula bahkan pada pori akan terjadi kehilangan tenaga.

Gambar 4 memperlihatkan bahwa semakin besar porositas pipa ($A_{pp}/(Ld)$) maka Q/(kLd) yang dihasilkan semakin besar. Porositas yang relatif effektif yaitu pada interval 0 < A,d(Ld) < *0,05* yang mengalami pertambahan debit besar ditandai dengan besarnya gradien pada interval tersebut, pada interval yang lebih besar lagi pertambahan debit kecil.



Gambar 4. Hubungan Q/(kLd) dan $A_{pp}/(Ld)$ dengan variasi *l*/h

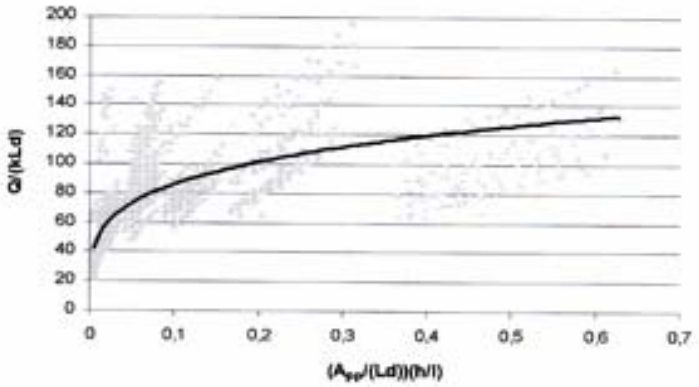
Dari urutan tiap kurva atas kebawah, ternyata kurva paling atas adalah yang mempunyai head terbesar dan kedalaman pipa dari permukaan pasir terkecil, berturutan sehingga pada kurva paling bawah mempunyai head tekecil dengan letak pipa dari permukaan pasir terbesar. Ini berarti debit yang dihasilkan berbanding lurus dengan tinggi head dan berbanding terbalik dengan letak pipa. Hasil yang sama sudah diperlihatkan oleh Darcy (Todd, 1980; Bowen, 1985; Detay, 1997) melalui rumus

$$Q = k\ A\ (h/l) \qquad (1)$$

Dimana k adalah permeabilitas tanah, A adalah luas penampang, h adalah kehilangan tekanan dan 1 adalah jarak yang ditempuh aliran.

Selain dipengaruhi oleh sifat mekanis debit aliran dalam tanah ternyata dipengaruhi oleh *property* pipa seperti luas pori, panjang dan diameter pipa dimana semakin besar dimeter pipa debit bertambah. Dari pengamatan selama percobaan ternyata semakin besar diameter pipa dengan luas pori yang sama debit akan bertambah hingga pada akhirnya mencapai nilai yang tetap walaupun diameter pipa terus diperbesar ini disebabkan oleh faktor nilai k pada persamaan (1). Faktor ini pula yang mempengaruhi tinggi tekanan pada Gambar 2 sehingga pada kedalaman l yang besar kehilangan tekanan bertambah besar.

Dari pembahasan diatas terasa pengaruh hukum Darcy, hubungan non dimensi yang ada belum memperlihatkan pengaruh hukum Darcy tersebut sehingga dbuatlah hubungan non dimensi seperti pada Gambar 4.



Gambar 4. Hubungan Q/(kLd) dan $A_{pp}/(Ld)(h/l)$

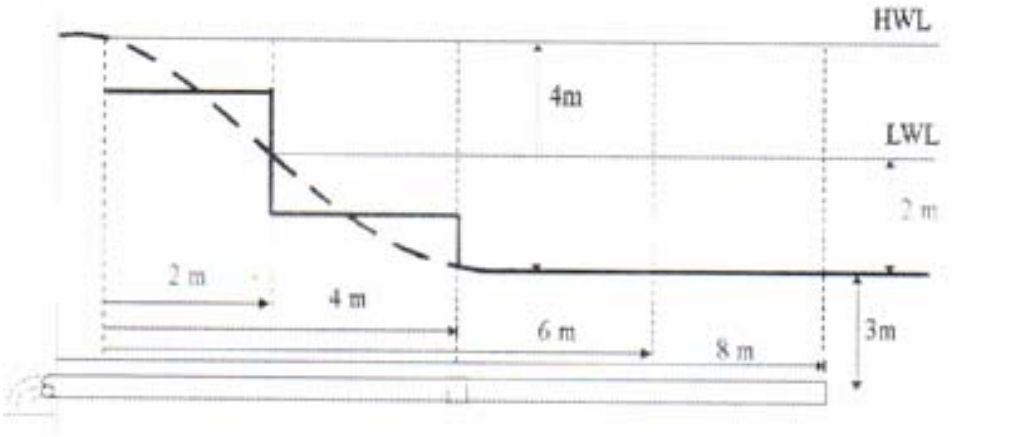
Hasil analisa regresi terhadap kurva pada gambar 4 adalah

$$Q/(kLd) = 148{,}41\ (A_{pp}/(Ld)(h/l))^{0{,}2366} \qquad (2)$$

APLIKASI

Untuk aplikasi, dibuat suatu permasalahan yang mirip dengan kondisi lapangan. Permasalah tersebut adalah suatu pengambilan air sistin pipa bawah tanah Gambar 5. Diameter pipa 23 cm diameter pori 3 cm mempunvai jarak satu dengan lainnya 15 cm membentuk pola matriks. Permeabilitas tanah 0,000068 m/dtk, kemiringan pipa 1 %. Berapa debit yang dihasilkan bila panjang pipa yang terpasang 2 m, 4 m, 6 m, dan 8 m.

Penyelesaian membutuhkan anggapan kontur mengikuti garis tebal pada Gambar 5 Dengan anggapan ini penyelesaian adalah



Gambar 5. Anggapan keadaan kontur dasar laut untuk perhitungan

Dari kondisi pipa maka pada panjang pipa 2m terdapat 12 lubang pori, keliling pipa 23 cm terdapat 4 lubang pori, total pori adalah 12 x 4 = 48 lubang sehingga A_{pp} = 48 x 0.03^2 x π/4 = 0,0339 m :. $A_{pp}/(Ld)$ = 0,0737

Dengan menggunakan persamaan (2)

⇒ Pada kondisi HWL

o Pada $L_{1=}$ 2 m, h = 7 m, / = 6 m

Q = 148,41 x 0,000068 x 2 x 0,23 x $(0{,}0737 \mathbf{x} 7 / 6)^{0{,}2366}$ = 0.0026 m^3/dtk

o Pada L = 4 m

$L_2 = L_1 1 + L$ maka $Q_2 = Q_1 + Q$

L_2 = 2 m h = 7 m, *l* = 4 m

Q = 0,00286 m^3/dtk, maka $Q_2 = Q_1 + Q$ = 0,00546 m^3/dtk

o Pada L_3 = 6 m, seperti pada L_2 = 4 m diperoleh

$Q_3 = Q_1 + Q_2 + Q$ = 0,00852 m^3/dtk

o Pada L_3 = 8 m

$L_3 = L_1 + L_2 + L$

L = 4 pada h = 7 m, *l* = 3 m mempunyai $A_{pp}/(Ld)$ = 0,0768 maka Q = 0,00618 m^3/dtk dan Q_4 = 0,01161 m^3/dtk

⇒ Pada kondisi LWL

Pada keadaan ini head berada dibawah permukaan tanah sehingga l = 5, h = 5,

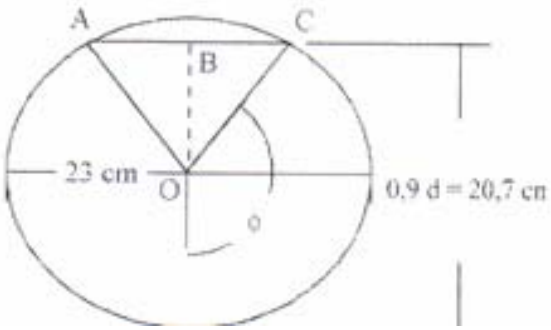
$Q = 148{,}41 \times 0{,}000068 \times 2 \times 0{,}23 \times (0{,}0737 \times 5/\ 5)^{0{,}2366} = 0{,}00250\ m^3/dtk$

Tabel 1. Debit aliran pada pipa sebagai fungsi dari panjang pipa

Kondisi muka laut	Q (m^3/dtk)			
	L = 2 m	L = 4 m	L = 6 m	L = 8 m
HWL	0,00260	0,00546	0,00852	0,01470
LWL	0,00250	0,00514	0,00797	0,01368

Untuk panjang pipa selanjutnya langkah-langkah penyelesaian sama seperti pada kondisi HWL hasilnya dapat dilihat pada Tabel 1.

Tabel 1 memperlihatkan bahwa semakin panjang pipa debit akan terus bertambah. Sebagai aliran yang mengalir akibat gavitasi atau aliran tanpa tekanan, aliran pada pipa dianggap tidak penuh (0,9 d) Gambar 6. Menggunakan persamaan Manning dengan nilai n – 0,0 14 untuk jenis bahan pipa besi, maka



Gambar 6. Aliran dalam pipa tidak penuh

$Ø = 180 - \cos^{-1}(OB/OC) = 180 - (\cos^{-1}(9{,}2/11{,}5));$ $Ø = 143{,}1301324^o$

$R = \frac{1}{4}\left(1 - \frac{\sin(2\phi)}{(2\phi)}\right)d$ (Doughert!.. 1985): R = 0.058 m

$V = 1/n\ R^{2/3}\ I^{1/2}$

V = 1,066 m/dtk

debit maksimum bagi pipa diameter 23 cm

$Q = V\ A$ $Q = 1{,}066 \times (0{,}232 \times \pi/4) = 0{,}0443098\ m^3/dtk$

KESIMPULAN

Debit rembesan yang mengalir melalui pipa dipengaruhi oleh *property* pipa berupa panjang pipa, diameter pipa, porositas pipa dan dipengaruhi oleh aliran rembesan berdasarkan hukum Darcy dipengaruhi oleh tinggi head. kedalaman pipa dan koefisien permeabilitas. Tekanan vang timbul pada pori dipengaruhi pula oleh hal-ha1yang mempengaruhi debit. Rumus Darcy dapat dimodifikasi untuk perencanan sistim pipa berpori bawah tanah (persamaan (3)). Karena pembatasan yang dilakukan pada penelitian ini, disadari bahwa persamaan 3 dapat lebih baik apabila dilakukan variasi pada nilai permeabilitas tanah dan permukaan dasar dibentuk sedemikian hingga tidak rata.

PENUTUP

Makalah ini dapat terlaksana atas bantuan banyak pihak. Ucapan terima kasih khusus ditujukan kepada Dr. Ir. H. Nizam MSc, yang telah mengkoreksi hasil penelitian dan kepada Pimpinan Departemen Pendidikan Nasional, Ditjen Dikti melalui program DUE-QUE atas kesempatan dan dana yang telah diberikan.

DAFTAR PUSTAKA

Bowen, R., 1986. *Groundwater,* 2nd edition. Elsevier Applled Science Publishers, New York.

Detay, M., 1997. *Water Wells, Implementation, Maintenance and Restoration,* John Wiley & Sons, Chichester

Dougherty, R. L., Franzini, J. B., 1985, */Fluid Mechanics With Engineering Aplication,* 8th edition, Mc Graw Hill, Tokyo.

Nasjono. J K.. 2002. .*Studi Aliran Rembesan Melalui Pipa Berpori,* Thesis. Program Pascasarjana Universitas Gadjah Mada, Jogyakarta

Reilly, T. E., Goodman. A. S., 1985, <*Quantitative Analysis of Salt Water-Freshwater Relation ships in Groundwater system – A Historical Perspective,* Journal of Hydrology, 80, Elsevier Scie. Publ. B V., Amsterdam, 125- 160.

Vesterby, H., Taha, R., 1999, *Beach Drainage: A Proven Structuraless and Cost effectif approach to Coastal Erosion Control,* Journal Institution of engineers. Malaysia, Vol. 60

Weisman. R. N., Seidel, G. S., Ogden. M. R, 1995. *Effect of water table manipulation on beach profile,* Journal of Waterway. Port, Coastal. andOcean Engrg., ASCE, New York, 134- 142

Todd, D. K., 1980. *Groundwater hydrology,* John Wiley & Sons, Inc., 2nd edition, New York

Triatmodjo. B., 1996, *Hidraulika* I. Beta offset. Yogyakarta.