

LAPORAN PENELITIAN

**ANALISIS NUMERIK
SUMUR RESAPAN
PADA
TANAH KOHESIF**



Oleh:
J. Tri Hatmoko, dkk

JURUSAN TEKNIK SIPIL
FAKULTAS TEKNIK
UNIVERSITAS ATMA JAYA YOGYAKARTA

YOGYAKARTA 1995



PERPUSTAKAAN
FAK. TEKNIK-SIPIL
UNIVERSITAS ATMA JAYA
YOGYAKARTA

LAPORAN PENELITIAN

LEMBAR IDENTITAS DAN PENGESAHAN

1. a. Judul Penelitian : Analisis Numerik Sumur Resapan Pada Tanah Kohesif
b. Macam Penelitian : Pengembangan

2. Kepala Proyek Penelitian

- a. Nama : Ir. J. Tri Hatmoko, M.Sc
b. Jenis Kelamin : L
c. Pangkat/Golongan : Penata Muda/IIIB
d. Jabatan Akademis : Asisten Ahli Madya
e. Fakultas/Jurusan : Teknik/Teknik Sipil
f. Universitas : Universitas Atma Jaya Yogyakarta
g. Pengalaman Penelitian : 1. Centrifuge Modelling of Geotextiles For Soil ReinforcementM(1989)
2. Experimental And Field Study Of Highway Spreadfooting(1990)

3. Jumlah Tim Peneliti : 5 Orang

4. Lokasi Penelitian : Fakultas Teknik Universitas Atmajaya Yogya

5. Jangka Waktu Penelitian : 3 bulan

6. Biaya Penelitian : Rp. 3.611.000,-(tiga juta enamratus sebelas-ribu rupiah)

Disetujui:
Pembimbing

(Prof. Ir. Hardjoso, Pr)

Ketua Lembaga Penelitian UAJY

(Drs. R. Maryatmo, MA)

Yogyakarta, 25-Maret-1995

Kepala Proyek Penelitian

(Ir. J. Tri Hatmoko, M.Sc.)

Mengetahui:

Dekan Fakultas Teknik UAJY

(Ir. J. Tri Hatmoko, M.Sc.)

KATA PENGANTAR

Sumberdaya air merupakan unsur utama bagi segala kehidupan di bumi, mengingat air memiliki nilai yang sangat penting bagi perkembangan ekosistem dan manfaat sosial ekonomi. Oleh sebab itu, penyediaan air dalam jumlah yang cukup dalam suatu wilayah merupakan salah satu syarat bagi kelanjutan pembangunan dan kesejahteraan masyarakat. Kebutuhan akan air akan selalu meningkat sesuai dengan laju pertumbuhan penduduk. Meningkatnya kebutuhan air akan mengakibatkan penggunaan air , termasuk penggunaan air tanah menjadi tidak terkontrol.

Penggunaan air tanah yang berlebihan akan menyebabkan terjadinya hal-hal yang yang merugikan seperti halnya : penurunan muka tanah, penurunan muka air tanah dsb. Hal yang perlu dipikirkan adalah bagaimana mengembalikan air tanah yang sudah digunakan tersebut agar tidak terjadi hal-hal yang merugikan tersebut diatas. Sampai saat ini sarana yang dipakai dan masih opuler adalah pengadaan sumur resapan. Namun demikian analisis sumur resapan tersebut perlu memperhatikan *jenis tanah* dimana sumur tersebut dibuat, dan juga *model analisisnya* harus diperhatikan supaya sumur resapan yang dibuat dapat berfungsi secara optimal.

DAFTAR ISI

SAMPUL	i	
LEMBAR IDENTITAS DAN PENGESAHAN	ii	
KATA PENGANTAR		iii
DAFTAR ISI	iv	
DAFTAR GAMBAR	v	
INTISARI	vi	
BAB I PENDAHULUAN		
A. Latar Belakang Masalah	1	
B. Rumusan Masalah	3	
BAB II TINJAUAN PUSTAKA		
A. Unsur Parametris	4	
B. Hukum Darcy	9	
C. Steady State Flow	10	
D. Steady State Seepage	14	
BAB III ANALISIS NUMERIK		
A. Pendekatan Fungsi dengan Garis Lurus	22	
B. Pendekatan dengan Deret Taylor	24	
C. Pendekatan Metode Beda Hingga Dua Dimensi	25	
BAB IV METODE, TUJUAN DAN MANFAAT PENELITIAN		
A. Metode Penelitian	28	
B. Tujuan dan Manfaat Penelitian	30	
BAB V HASIL DAN PEMBAHASAN		
A. Model Sumur Resapan	31	
B. Contoh Hitungan	33	
C. Pembahasan	34	
BAB VI KESIMPULAN DAN SARAN		
A. Kesimpulan	45	
B. Saran	46	
DAFTAR PUSTAKA	47	
PERSONALIA PENELITIAN	48	
RINGKASAN		

DAFTAR GAMBAR

No. Gambar	Judul Gambar	hal
2. 1	Arah Aliran Horisontal	6
2.2.	Arah Aliran Vertikal	7
2.3.	Aliran Pada Elemen Ruang	10
3.1.	Fungsi Kontinyu dan Pendekatan B.Hingga	23
3.2.	Grid Tiga Dimensi dan Koefisien dari Pendekatan Beda Hingga	27
4.1.	Model Sumur Resapan	29
5.1.	Tampak Samping Sumur Resapan	31
5.2.	Tampak Atas Sumur Resapan	32
5.3.	Komponen sumur Resapan	33
5.4.	Geometri Sumur Resapan	41
5.5.	Grid Output	42
5.6.	Equipotential dan Flow Line	43
5.7.	Arah Aliran Rembesan	44

DAFTAR TABEL

No. Tabel	Judul Tabel	halaman
2.1.	Nilai- nilai Permeabilitas	5
2.2.	Ringkasan Rumus-rumus Rembesan	20

INTISARI

Penggunaan air tanah yang berlebihan harus dipikirkan bagaimana mengembalikannya lagi kedalam tanah, agar supaya tidak menyebabkan terjadinya berbagai hal yang merugikan. Pembuatan sumur resapan dirasakan merupakan suatu alternatif pemecahan yang sampai saat ini dianggap paling tepat. Namun demikian ada suatu permasalahan, bagaimana jika sumur resapan tersebut dibuat pada tanah kohesif (permeabilitas rendah) terutama sekali pada daerah dengan curah hujan yang cukup tinggi. Untuk mengatasi hal tersebut, dibuat model sumur resapan pada tanah kohesif, dan di analisis secara numeris. Metode numeris yang di pakai untuk analisis rembesan adalah metode pendekatan beda hingga dengan bantuan soft ware "SEEP", sedangkan parameter-parameter tanah yang tidak dapat ditentukan secara numeris dicari dengan percobaan laboratorium atau studi literatur.

Studi parametris juga dilakukan pada penelitian ini, dan kesimpulan yang diperoleh adalah: permeabilitas tanah dan luas bidang kontak memegang peranan yang sangat penting dalam analisis kapasitas sumur resapan. Hasil analisis numeris dengan metode beda hingga sesuai dengan keadaan sesungguhnya. Sumur resapan akan berfungsi secara optimal, jika memperhatikan sifat-sifat tanah dan model analisis yang dipakai.

BAB I PENDAHULUAN

A. Latar Belakang Masalah

Penggunaan air tanah yang dilakukan secara berlebihan akan mengakibatkan berbagai hal yang tidak menguntungkan, seperti halnya: adanya intrusi air laut ke daerah pantai; penurunan tanah akibat penurunan muka air tanah, banjir akibat adanya penurunan tanah dan yang dapat menyebabkan kerusakan bangunan-bangunan sipil. Oleh sebab itu perlu diusahakan adanya sumur resapan agar air hujan maupun air limbah dapat diresapkan kembali ke dalam tanah untuk mengisi air tanah yang sudah digunakan. Fasilitas ini diadakan bukan hanya untuk bangunan-bangunan bertingkat, namun juga untuk bangunan-bangunan yang tidak bertingkat.

Pembuatan sumur resapan harus memperhatikan berbagai hal yang antara lain: *jenis tanah* dan lahan bangunan. Jenis tanah dengan permeabilitas tinggi; pasir misalnya, akan menyerap air dengan jumlah yang besar dibandingkan dengan tanah dengan *permeabilitas rendah* (tanah kohesif), sehingga pembuatan sumur resapan pada tanah kohesif terutama sekali untuk curah hujan yang cukup tinggi, perlu *analisis yang teliti dan komprehensif* agar pembuatan sumur resapan tersebut tidak sia-sia dan berfungsi sebagaimana yang diharapkan. Seperti telah disebutkandimuka bahwa berfungsi atau tidaknya sumur resapan sangat tergantung permeabilitas tanah disekitarnya. Semakin kecil angka permeabilitas tanah, semaiKin diperlukan analisis yang lebih teliti.

Analisis rembesan perlu mendapatkan perhatian yang sangat khusus mengingat fungsinya untuk mencegah atau paling tidak mengurangi jumlah aliran permukaan yang mungkin terjadi. Sebagai contoh: kehilangan tenaga akibat adanya rembesan pada bendung, aliran rembesan dibawah muka air tanah, dan masih banyak contoh lain; yang pada dasarnya analisis rembesan bertujuan untuk:

Menentukan seepage state, dengan mendeteksi dari mana arah rembesan tersebut datang dan kemana arah aliran rembesan tersebut. Namun demikian, dalam berbagai situasi dapat dilihat lapangan secara jelas yang sering terjadi ketidakjelasan arah rembesan, sehingga perlu penyelidikan dan analisis lebih lanjut untuk menemukan pemecahannya. Untuk menentukan besaran seepage, dalam usaha untuk menentukan besaran kehilangan tenaga dari reservoir, aliran kedalam galian, kecepatan kontaminasi atau penurunan sumur, serta untuk mengetahui akibat adanya pengaruh rembesan terhadap stabilitas tanah disekitarnya, seperti halnya stabilitas lereng, piping pada suatu galian dan sebagainya. Dalam hal ini, para ahli mekanika tanah mempunyai kompetensi yang cukup tinggi.

“Ground water flow” dapat dihitung secara kuantitatif apabila: kecepatan, tekanan, kerapatan, suhu dan viskositas air dapat diketahui. karakteristik air ini adalah variabel bebas yang tidak diketahui dan berlainan dari satu tempat dengan tempat yang lain dan juga sangat dipengaruhi oleh waktu. Apabila variabel-variabel tersebut diasumsikan sebagai fungsi ruang (x, y, z) saja maka aliran disebut “steady state flow”,

dan apabila aliran tersebut juga dipengaruhi oleh waktu (x,y,z,t) aliran tersebut adalah “unsteady state flow”, atau “time dependent flow”. Ground water flow disebut confined apabila semua batas atau pembatas pada ruang dimana air mengalir melalui lapisan permeable adalah tetap dalam ruang untuk setiap macam aliran yang berbeda. sebaliknya ground water flow disebut unconfined apabila memiliki aliran dengan permukaan bebas, posisi yang bervariasi sesuai dengan bentuk aliran.

B. Rumusan Masalah

Perencanaan dan pelaksanaan pembuatan sumur resapan yang dilakukan selama ini belum memperhatikan jenis tanah disekitarnya, sehingga sering kali sumur resapan tersebut kurang berfungsi sebagaimana yang diharapkan. Pembuatan sumur resapan pada tanah berbutir (permeabilitas tinggi) perencanaannya harus berbeda dengan jika sumur resapan tersebut dibuat pada tanah dengan permeabilitas rendah (tanah kohesif). Analisis rembesan pada tanah kohesif dirasakan kurang dapat dipertanggung jawabkan jika hanya dilakukan secara konvensional; sehingga perlu adanya analisis yang lebih teliti, yaitu dengan menggunakan analisis numerik.

BAB II TINJAUAN PUSTAKA

A. Unsur Parametris

Dapat diketahui bahwa dasar mekanika tanah tentang aliran adalah permeabilitas yang dapat didefinisikan sebagai kecepatan aliran didalam tanah melalui suatu penampang dengan gradien hidrolik tertentu. Dimensi permeabilitas ini adalah kecepatan (lintasan dibagi waktu), dan satuan yang umum dipakai adalah (cm/detik). Permeabilitas ini biasanya diambil sebagai suatu konstanta, namun demikian dapat juga bervariasi untuk suatu material tertentu, tergantung pada berbagai faktor. Faktor yang sangat berpengaruh adalah: nilai viskositas, dan ukuran ruang pori terbesar yang dapat dilewati oleh air, serta bentuk kontinuitas lapisan tanah. Nilai permeabilitas ini dapat diketahui dengan percobaan laboratorium maupun percobaan lapangan.

Pada Gambar 1. 1 terlihat lapisan-lapisan tanah dengan nilai permeabilitas yang berbeda untuk setiap lapisan, tergantung pada arah alirannya. Asumsi yang dipakai k_{h1} , k_{h2} , k_{h3} , k_{hn} adalah permeabilitas untuk tanah lapisan 1,2,3,.....n dalam arah horisontal. Hal yang sama k_{v1} , k_{v2} , k_{v3} ,..... k_{vn} adalah permeabilitas untuk arah vertikal.

Tabel 1.

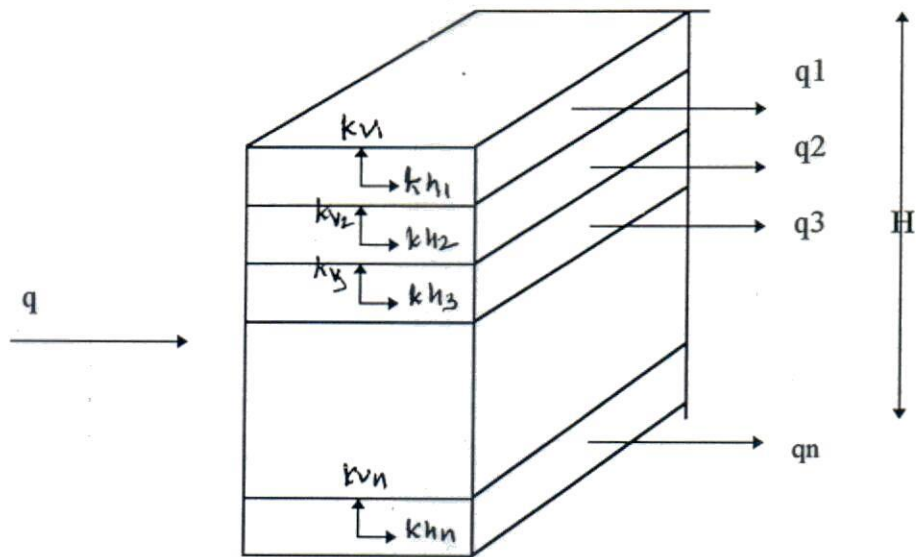
Nilai-nilai Permeabilitas (Braja M Das, 1983)

Bahan	Koefisien(cm/dt2)
Coarse Gravel(GW)	10 to 10 ³
Fine Gravel, Coarse and Medium Sand(GP-SW)	1/100 to 10
Fine Sand,Loose Sand	1/10.000 to 1/100
Dense Sand,Clayey Silt	1/100.000 to 1/10.000
Silty Clay, Clay	1/1000.000 to 1/100.000

Dengan satuan lebar masing-masing lapisan tanah pada gambar 1. maka seepage rate dalam arah horisontal adalah :

$$q = q_1 + q_2 + q_3 + \dots q_n \quad (1)$$

dimana q adalah aliran yang mengalir melalui lapisan tanah secara keseluruhan, sedangkan $q_1, q_2, q_3, \dots, q_n$ adalah aliran untuk masing-masing lapisan 1,2,3,.....n. Dengan catatan bahwa nilai gradien hidrolik setiap lapisan sama maka:



Gambar 2.1

Aliran arah horisontal

$$q_3 = k_{h3} \cdot i \cdot H_3$$

$$q_1 = k_{h1} \cdot i \cdot H_1 \quad (2)$$

$$q_2 = k_{h2} \cdot i \cdot H_2$$

dan

$$q = k_{e(h)} \cdot i \cdot H \quad (3)$$

I : gradien hidrolik

 $k_{e(h)}$: koefisien permeabilitas efektif arah horisontal.

$$H = H_1 + H_2 + H_3 \dots + H_n$$

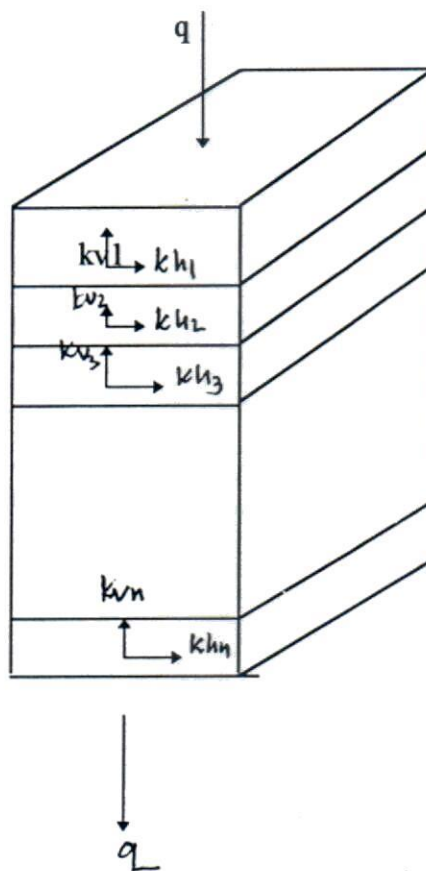
(4)

dengan menggantikan persamaan (2) dan (3) ke persamaan (1) menjadi:

$$k_{e(h)} = k_{h1} \cdot H_1 + k_{h2} \cdot H_2 + \dots + k_{hn} \cdot H_n$$

sehingga:

$$k_{e(h)} = (k_{h1} \cdot H_1 + k_{h2} \cdot H_2 + \dots + k_{hn} \cdot H_n) / H \quad (5)$$



Gambar 2.2.

Aliran Arah vertikal

Arah aliran vertikal untuk masing-masing lapisan akan terdapat pada gambar 2

$$v = v_1 + v_2 + v_3 + \dots v_n \quad (6)$$

dimana $v_1, v_2, v_3, \dots, v_n$ adalah discharge velocity pada masing-masing lapisan, atau dapat ditulis dalam:

$$v = k_{e(v)} \cdot I = k_{v1} \cdot I_1 = k_{v2} \cdot i_2 = \dots k_{vn} \cdot i_n \quad (7)$$

dimana $k_{e(v)}$ adalah koefisien permeabilitas efektif pada arah vertikal.

$k_{v1}, k_{v2}, k_{v3}, \dots, k_{vn}$ adalah koefisien permeabilitas pada masing-masing lapisan pada arah vertikal. $i_1, i_2, i_3, \dots, i_n$ adalah gradient hidrolik pada masing-masing lapisan. Maka untuk arah aliran vertikal: Total energi yang hilang = kehilangan energi pada lapisan 1 + kehilangan energi pada lapisan 2 + dst.

atau:

$$iH = i_1 H_1 + i_2 H_2 + i_3 H_3 + \dots \quad (8)$$

dari persamaan (7) dan (8), diperoleh:

$$\begin{aligned} \{V/k_{e(v)}\} &= (V/k_{v1}) \cdot H_1 + (V/k_{v2}) \cdot H_2 + \dots (V/k_{vn}) \cdot H_n \\ &\text{atau} \\ k_{e(v)} &= H / \{(H_1/k_{v1}) + (H_2/k_{v2}) + \dots (H_n/k_{vn})\} \end{aligned} \quad (9)$$

B. Hukum Darcy

Aliran yang melalui media berpori telah dikenal dengan Hukum Darcy, yang dapat ditulis dengan persamaan:

$$v = k \cdot i \quad (10)$$

dimana v : adalah kecepatan rembesan (seepage velocity)

k : adalah faktor permeabilitas media

i : adalah gradien hidrolik

Arah dimana perhitungan gradien hidrolik dilakukan haruslah merupakan salah satu dari arah utama permeabilitas. Gradien hidrolik didapat dari perbedaan ground water potensial suatu elemen media. Jika Δh mewakili total kehilangan potensial dengan jarak Δs , maka dalam penulisan limit :

$$I = - dh/ds \quad (11)$$

perjanjian tanda menunjukkan gradien negatif. Sedangkan h adalah groundwater potensial yang merupakan jumlah dari energi kinetik, pressure head dan energi potensial yaitu:

$$h = v^2/2g + p/\rho g + z \quad (12)$$

dimana ρg adalah specific weight dari cairan; h adalah groundwater head atau piezometric head. Dapat dilihat bahwa pada term pertama yang mewakili energi

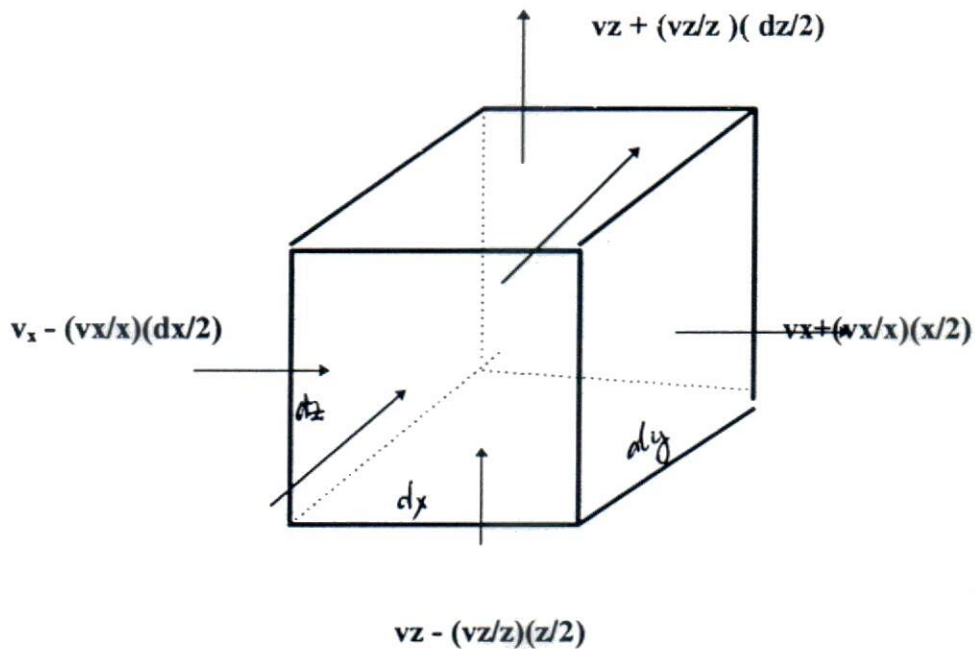
kinetik, pada umumnya diabaikan pada studi rembesan (Cedergren, 1977) karena itu persamaan (12) dapat diyulis menjadi:

$$h = p/\rho g + z \quad (13)$$

komponen-komponen kecepatan rembesan v adalah:

$$\begin{aligned} v_x &= -k_x \partial h / \partial x \\ v_y &= -k_y \partial h / \partial y \\ v_z &= -k_z \partial h / \partial z \end{aligned} \quad (14)$$

C. Steady State Flow



Gambar 2. 3. Aliran pada Elemen Ruang

Untuk mempermudah, dapat diperhatikan steady state flow mengalir melalui sebuah elemen ruang. Dengan menganggap bahwa lapisan tanah adalah incompressible, pernyataan hukum massa yang berbunyi bahwa jumlah massa yang mengalir masuk melalui ketiga permukaan adalah sama dengan jumlah massa yang mengalir keluar dari permukaan yang berlawanan. Oleh sebab air mempunyai kerapatan yang tetap, maka dapat diyakini bahwa total aliran yang masuk melalui ketiga permukaan adalah sama dengan total aliran yang keluar melalui permukaan yang berlawanan.

Pada pusat massa P ($x = y = z = 0$) dari sebuah elemen, kecepatannya adalah v_x, v_y, v_z ; pada bidang $x = -0,5 \, dx$, maka kecepatan dalam arah x adalah:

$$\boxed{v_x - \frac{\partial v_x}{\partial x} \frac{\partial x}{2}} \quad (15)$$

total aliran yang masuk kedalam bidang adalah:

$$\boxed{\left(v_x - \frac{\partial v_x}{\partial x} \frac{\partial x}{2} \right) dy dz} \quad (16)$$

Jumlah aliran yang melalui bidang $x = +0,5 \, dx$ adalah :

$$\boxed{\left(v_x + \frac{\partial v_x}{\partial x} \frac{\partial x}{2} \right) dy dz} \quad (17)$$

maka total aliran arah x adalah:

$$\frac{\partial v_x}{\partial x} dx dy dz \quad (18)$$

Analog untuk arah y, dan arah z; maka total aliran yang melalui elemen adalah:

$$\left(\frac{\partial v_x}{\partial x} + \frac{\partial v_y}{\partial y} + \frac{\partial v_z}{\partial z} \right) dx dy dz = 0 \quad (19)$$

maka:

$$\frac{\partial v_x}{\partial x} + \frac{\partial v_y}{\partial y} + \frac{\partial v_z}{\partial z} = 0$$

(20)

Persamaan ini adalah persamaan kontinuitas steady state. Dengan memakai persamaan (14) untuk arah x, y, dan z kedalam persamaan (20), maka:

$$\frac{\partial}{\partial x} \left(k_x \frac{\partial h}{\partial x} \right) + \frac{\partial}{\partial y} \left(k_y \frac{\partial h}{\partial y} \right) + \frac{\partial}{\partial z} \left(k_z \frac{\partial h}{\partial z} \right) = 0$$

Pada suatu saat dimana saat penyelesaian aliran radial akan lebih mudah dengan koordinat silindris dibandingkan dengan koordinat kartesian. Dengan anggapan bahwa aliran radial yang simetris maka persamaan (21) menjadi:

$$\frac{\partial}{\partial r} \left(k_r \frac{\partial h}{\partial r} \right) + \frac{1}{r} k_r \frac{\partial h}{\partial r} + \frac{\partial}{\partial z} \left(k_z \frac{\partial h}{\partial z} \right) = 0 \quad (22)$$

dimana k_r dan k_z adalah koefisien permeabilitas arah radial dan vertikal, sedangkan $r = (x^2 + y^2)^{0.5}$, sedangkan syarat-syarat batas yang dapat diterapkan adalah pada steady state flow adalah:

1. Groundwater potensial diketahui pada daerah batas
2. Untuk batas impermeable, tidak ada air yang mengalir melalui batas karena aliran berbanding dengan gradien potensial, kondisi ini dapat dicapai dengan membuat $dh/dn = 0$, dimana dn adalah arah tegak lurus batas.
3. Kondisi yang sama dipakai jika aliran yang melalui batas yang diketahui. Ini diwakili oleh normal gradien dh/dn dengan suatu angka yang besarnya adalah negatif dari kecepatan tegak lurus batas dibagi dengan permeabilitas yang tegak lurus batas.
4. Untuk permukaan yang steady free, posisi batas tidak diketahui akan tetapi ada dua kondisi yang harus dipenuhi secara simultan pada nilai-nilai batasnya. Kondisi yang pertama adalah tidak ada aliran yang boleh mengalir melalui batas $dh/dn = 0$, dan yang kedua adalah tekanannya sama dengan tekanan atmosfer.

D. Steady State Seepage

Pada setiap permasalahan rembesan akan selalu melibatkan tiga faktor utama yaitu:

tanah sebagai media; macam aliran, dan syarat batas. Jika koefisien permeabilitas tergantung pada arah aliran dan besarnya sama pada setiap titik dalam batas aliran, tanah tersebut disebut homogen dan anisotrophik. Dan apabila koefisien permeabilitas tergantung pada arah aliran, akan tetapi tidak tergantung pada koordinat ruang, tanah disebut homogen dan isotropis. Dan jika tanah terdiri dari beberapa lapis elemen yang berbeda, dikenal sebagai tanah heterogen.

1. Tanah Isotropic

Seperti telah diuraikan diatas bahwa persamaan umum untuk aliran steady state adalah:

$$\frac{\partial}{\partial x} \left(k_x \frac{\partial h}{\partial x} \right) + \frac{\partial}{\partial y} \left(k_y \frac{\partial h}{\partial y} \right) + \frac{\partial}{\partial z} \left(k_z \frac{\partial h}{\partial z} \right) = 0$$

persamaan (21), yaitu: untuk tanah homogen isotropic dimana permeabilitasnya tidak tergantung pada arah aliran, maka

$$k_x = k_y = k_z = k \quad (23)$$

Sehingga persamaan umumnya menjadi :

$$\frac{\partial^2 h}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 h}{\partial y^2} + \frac{\partial^2 h}{\partial z^2} = 0 \quad (24)$$

persamaan diatas sering ditulis dengan bentuk $\nabla^2 h = 0$, dimana ∇^2 , adalah:

$$\frac{\partial^2}{\partial x^2} + \frac{\partial^2}{\partial y^2} + \frac{\partial^2}{\partial z^2}$$

persamaan ini dikenal dengan persamaan Laplace yang sering dipakai di dalam persamaan matematika.

Pada umumnya untuk menyelesaikan aliran radial maka dipakai koordinat silindris, sehingga persamaan (24) menjadi:

$$\nabla^2 h = \frac{\partial^2 h}{\partial r^2} + \frac{1}{r} \frac{\partial h}{\partial r} + \frac{1}{r^2} \frac{\partial^2 h}{\partial \theta^2} + \frac{\partial^2 h}{\partial z^2} = 0 \quad (25)$$

dimana:

$$r = (x^2 + y^2)^{1/2}, \theta = \tan^{-1} \left(\frac{y}{x} \right)$$

Untuk aliran yang axi-symetrical dalam bidang horisontal, tanpa variabel θ , maka persamaan (17) direduksi menjadi:

Sehingga persamaan umumnya menjadi :

$$\frac{\partial^2 h}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 h}{\partial y^2} + \frac{\partial^2 h}{\partial z^2} = 0 \quad (24)$$

persamaan diatas sering ditulis dengan bentuk $\nabla^2 h = 0$, dimana ∇^2 , adalah:

$$\frac{\partial^2}{\partial x^2} + \frac{\partial^2}{\partial y^2} + \frac{\partial^2}{\partial z^2}$$

persamaan ini dikenal dengan persamaan Laplace yang sering dipakai di dalam persamaan matematika.

Pada umumnya untuk menyelesaikan aliran radial maka dipakai koordinat silindris, sehingga persamaan (24) menjadi:

$$\nabla^2 h = \frac{\partial^2 h}{\partial r^2} + \frac{1}{r} \frac{\partial h}{\partial r} + \frac{1}{r^2} \frac{\partial^2 h}{\partial \theta^2} + \frac{\partial^2 h}{\partial z^2} = 0 \quad (25)$$

dimana:

$$r = (x^2 + y^2)^{1/2}, \theta = \tan^{-1} \left(\frac{y}{x} \right)$$

Untuk aliran yang axi-symetrical dalam bidang horisontal, tanpa variabel θ , maka persamaan (17) direduksi menjadi:

persamaan diatas dapat direduksi menjadi persamaan Laplace dengan transformasi yang sederhana. Diasumsikan bahwa k_z lebih kecil dari k_x dan k_y , dan adanya perubahan dalam koordinat.

$$\bar{x} = x \sqrt{\frac{k_z}{k_x}}$$

(30)

$$\bar{y} = y \sqrt{\frac{k_z}{k_y}}$$

Persamaan diatas mempunyai implikasi bahwa jarak dalam arah konduktivitas hidrolik yang lebih besar telah direduksi sehingga:

$$\frac{\partial h}{\partial x} = \frac{\partial h}{\partial \bar{x}} \frac{\partial \bar{x}}{\partial x}$$

(31)

$$= \sqrt{\frac{k_z}{k_x}} \frac{\partial h}{\partial \bar{x}}$$

dan

$$\frac{\partial^2 h}{\partial x^2} = \sqrt{\frac{k_z}{k_x}} \frac{\partial}{\partial \bar{x}} \left(\frac{\partial h}{\partial \bar{x}} \right)$$

$$= \sqrt{\frac{k_z}{k_x}} \frac{\partial}{\partial \bar{x}} \left(\frac{\partial h}{\partial \bar{x}} \right) \frac{\partial \bar{x}}{\partial x}$$

(32)

$$= \frac{k_z}{k_x} \frac{\partial^2 h}{\partial \bar{x}^2}$$

Akan sama pula untuk:

$$\frac{\partial^2 h}{\partial y^2} = \frac{k_z}{k_y} \frac{\partial^2 h}{\partial y^2} \quad (33)$$

dengan hasil tersebut diatas maka persamaan aliran steady state untuk tanah homogen anisotropic menjadi:

$$\frac{\partial^2 h}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 h}{\partial y^2} + \frac{\partial^2 h}{\partial z^2} = 0 \quad (34)$$

dimana persamaan Laplace dalam variabel x,y, dan z. Sedangkan untuk kasus aliran anisotropic dua arah, maka persamaan (34) dapat direduksi menjadi:

$$\frac{\partial^2 h}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 h}{\partial z^2} = 0 \quad (35)$$

3. Tanah Heterogen

Untuk beberapa deposit tanah dimana derajat heterogenitas yang terlalu besar sehingga tidak ideal untuk mengasumsikan lagi sebagai tanah homogen. Tidak hanya karena tanah tersebut yang secara alami yang telah terbentuk dari komposisi yang

berbeda pada setiap lapisan, namun juga karena lapisan itu sendiri terdiri dari komposisi yang berbeda.

Untuk memperjelas persoalannya maka dapat diperhatikan kembali persamaan umum untuk steady state flow untuk tiga dimensi yang telah ditulis sebelumnya pada persamaan (21).

$$\frac{\partial}{\partial x} \left(k_x \frac{\partial h}{\partial x} \right) + \frac{\partial}{\partial y} \left(k_y \frac{\partial h}{\partial y} \right) + \frac{\partial}{\partial z} \left(k_z \frac{\partial h}{\partial z} \right) = 0$$

Disini karena permeabilitas k_x , k_y dan k_z adalah fungsi dari variabel yang terpisah x , y dan z , maka akan diperlukan analisa yang lebih mendetail untuk menemukan pemecahannya, dan tidak akan dibahas dalam penulisan ini.

Tabel 2.2 Ringkasan Rumus-Rumus Rembesan (Rushton, K.R. dan Redshaw, S.C., 1979)

Uraian	Permeabilitas	Fungsi Waktu	Persamaan
Aliran arah vertikal	Variabel	Tidak	$\frac{\partial}{\partial x} (k_x \frac{\partial h}{\partial x}) + \frac{\partial}{\partial z} (k_z \frac{\partial h}{\partial z}) = 0$
Aliran arah horisontal	Konstan	Tidak	$\frac{\partial^2 h}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 h}{\partial z^2} = 0$
Rembesan tiga dimensi	Variabel	Tidak	$\frac{\partial}{\partial x} (k_x \frac{\partial h}{\partial x}) + \frac{\partial}{\partial y} (k_y \frac{\partial h}{\partial y}) + \frac{\partial}{\partial z} (k_z \frac{\partial h}{\partial z}) = 0$
Rembesan tiga dimensi	Variabel	Ya	$\frac{\partial}{\partial x} (k_x \frac{\partial h}{\partial x}) + \frac{\partial}{\partial y} (k_y \frac{\partial h}{\partial y}) + \frac{\partial}{\partial z} (k_z \frac{\partial h}{\partial z}) = 0$
Rembesan radial	Variabel	Ya	$\frac{\partial}{\partial r} (k_r \frac{\partial h}{\partial r}) + \frac{1}{r} k_r \frac{\partial h}{\partial r} + \frac{\partial}{\partial z} (k_z \frac{\partial h}{\partial z}) = 0$

BAB III. ANALISIS NUMERIK

Persamaan - persamaan yang menggambarkan permasalahan rembesan dan groundwater flow belum dapat dipecahkan dengan metode analitis tanpa membuat beberapa asumsi penyederhanaan. Dengan metode numerik (analisis numerik), persamaan-persamaan mengenai ground water flow hampir selalu dapat diselesaikan. Salah satu metode pendekatan numerik adalah dengan pendekatan beda hingga (finite difference), pendekatan lain yang sering juga digunakan adalah metode elemen hingga dan elemen batas (boundary element).

Dengan menerapkan metode pendekatan beda hingga, analisis numerik yang dilakukan menjadi sederhana dan fleksibel. Dalam hal ini, metode beda hingga dapat dipakai dengan penuh keyakinan oleh mereka yang tidak spesialisasi dalam analisis numerik. Pada bab ini, pembahasan metode beda hingga ditujukan untuk persamaan elliptic dan parabolic. Persamaan elliptic mencakup semua persamaan "steady state seepage", yang menjabarkan rembesan dan ground water flow, sedangkan persamaan parabolic dengan variabel waktu orde pertama dengan bentuk dh/dt . Persamaan - persamaan tersebut yang terbentuk dengan memperhatikan kondisi batasnya, akan menghasilkan persamaan simultan yang dengan mudah dapat dipecahkan dengan bantuan komputer.

Metode beda hingga yang dikenalkan pertama kali adalah koordinat kartesian satu dimensi. Aliran dalam akuifer dengan transmissivity konstant keluar dari satu sumbu dipergunakan sebagai contoh, sehingga didapatkan persamaan sebagai berikut:

$$T \frac{\partial^2 h}{\partial x^2} = -q \quad (a.1)$$

h adalah ground water potensial, T adalah uniform transmissivity dan q adalah inflow per luasan daerah. Dua cara dengan metode pendekatan beda hingga yang akan dipakai adalah dengan Straight Line atau deret Taylor.

A. Pendekatan Fungsi Dengan Garis Lurus

Suatu fungsi yang menggambarkan variasi dari ground water head pada sebuah bagian dari suatu akuifer, digambarkan pada gambar 3.1.(a). Penjabaran variasi head secara kontinyu dapat pula dijabarkan dalam bentuk beberapa buah titik yang dihubungkan dengan jarak mendatar sebesar Δx (gambar 3.1.(b)). Tinggi potensial yang tidak diketahui besarnya ditulis sebagai $h-1$, h_0 , h_1 dan seterusnya. Nilai pendekatan dari suatu gradien dari titik yang ditengah dapat dihitung sebagai berikut:

$$\left(\frac{\partial h}{\partial x} \right)_{+\frac{1}{2}} = \frac{h_1 - h_0}{\Delta x}, \quad \left(\frac{\partial h}{\partial x} \right)_{-\frac{1}{2}} = \frac{h_0 - h_{-1}}{\Delta x} \quad (a.2)$$

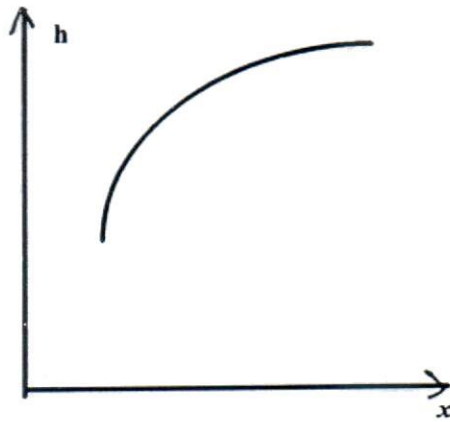
suffixs $+1/2$, dan $-1/2$, menunjukkan jarak sebesar $(1/2)\Delta x$ dikedua sisi dari titik O.

Turunan orde kedua dapat ditulis sebagai berikut:

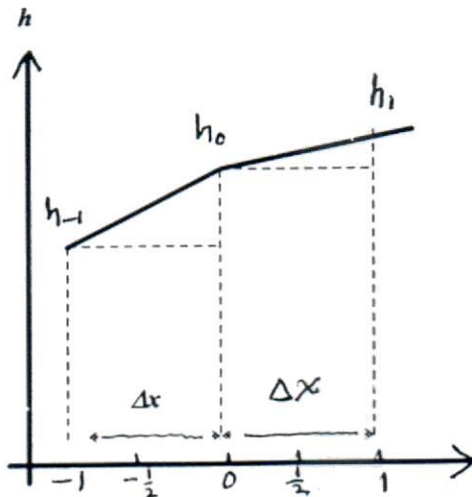
$$\left(\frac{\partial^2 h}{\partial x^2}\right)_0 = \frac{d}{dx} \left(\frac{dh}{dx}\right) = \left[\left(\frac{dh}{dx}\right)_{+\frac{1}{2}} - \left(\frac{dh}{dx}\right)_{-\frac{1}{2}} \right] / \Delta x = \frac{(h_{-1} - 2h_0 + h_1)}{\Delta x^2} \quad (\text{a.3})$$

Oleh sebab itu, persamaan differensial (a.1), dapat ditulis dalam persamaan aljabar sebagai berikut:

$$h_{-1} - 2h_0 + h_1 = -\frac{\Delta x^2 q_0}{T} \quad (\text{a.4})$$



(a)



Gambar 3.1. Fungsi kontinyu dan Pendekatan beda hingga

B. Pendekatan Dengan Deret Taylor

Pendekatan metode beda hingga dapat dijabarkan dengan deret Taylor sebagai

berikut:

$$h_1 = h_0 + \frac{\Delta x}{1!} \left(\frac{dh}{dx} \right)_0 + \frac{\Delta x^2}{2!} \left(\frac{d^2h}{dx^2} \right)_0 + \frac{\Delta x^3}{3!} \left(\frac{d^3h}{dx^3} \right)_0 + \frac{\Delta x^4}{4!} \left(\frac{d^4h}{dx^4} \right)_0 + \dots \quad (a.5)$$

$$h_{-1} = h_0 - \frac{\Delta x}{1!} \left(\frac{dh}{dx} \right)_0 + \frac{\Delta x^2}{2!} \left(\frac{d^2h}{dx^2} \right)_0 - \frac{\Delta x^3}{3!} \left(\frac{d^3h}{dx^3} \right)_0 + \frac{\Delta x^4}{4!} \left(\frac{d^4h}{dx^4} \right)_0 - \dots \quad (a.6)$$

Persamaan a.5 dan a.6., dijumlahkan menjadi:

$$h_{-1} - 2h_0 + h_1 = \Delta x^2 \left(\frac{d^2h}{dx^2} \right)_0 + \frac{\Delta x^4}{12} \left(\frac{d^4h}{dx^4} \right)_0 + \dots \quad (a.7)$$

karena itu

$$\left(\frac{d^2h}{dx^2} \right)_0 = \frac{1}{\Delta x^2} (h_{-1} - 2h_0 + h_1) - \frac{\Delta x^2}{12} \left(\frac{d^4h}{dx^4} \right)_0 + \dots \quad (a.8)$$

dimana bentuk;

$$- \frac{\Delta x^2}{12} \left(\frac{d^4h}{dx^4} \right)_0 + \dots$$

disebut truncation error. Jika diperoleh dua penyelesaian, dimana penyelesaian kedua mempunyai mesh interval setengah dari mesh interval penyelesaian pertama, maka

truncation error untuk penyelesaian kedua menjadi seperempat dari penyelesaian pertama. Sebagai hasilnya penyelesaian kedua menjadi lebih akurat. Untuk persoalan-persoalan tertentu dimana apabila truncation error sama dengan nol, maka penyelesaian penyelesaian dengan metode beda hingga identik dengan penyelesaian teoritis.

C. Pendekatan Metode Beda Hingga Untuk Dua Dimensi Atau Lebih

Pendekatan metode beda hingga untuk dua dimensi atau lebih, dapat dilakukan dengan menggunakan deret Taylor. Sebagai kasus umum dipakai koordinat kartesian untuk tiga dimensi yang dapat dilihat pada gambar 3.2.(a)

$$\left(\frac{\partial^2 h}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 h}{\partial y^2} + \frac{\partial^2 h}{\partial z^2} \right)_0 = \frac{1}{\Delta x^2} (h_1 - 2h_0 + h_3) + \frac{1}{\Delta y^2} (h_2 - 2h_0 + h_4) \quad (a.9)$$

Jarak perbedaan titik nodal tidak selalu sama, akan tetapi bila jarak perbedaan titik nodal tidaklah sama maka pendekatan beda hingga memerlukan penyelesaian yang lebih spesifik. Pada penulisan ini hanya dibatasi dalam dua dimensi saja, akan tetapi dapat juga dipergunakan untuk tiga dimensi. Persamaan beda hingga untuk dua dimensi adalah:

$$\frac{\partial^2 h}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 h}{\partial y^2} = -\frac{q}{T} \quad (a.10)$$

dengan mempergunakan titik-titik pada gambar 3.2.b Kemiringan antara titik 3 ke 0 dan titik 0 ke 1 masing-masing diwakili oleh $(h_0-h_3)/\Delta x_b$ dan $(h_1-h_0)/\Delta x_b$, maka dari itu

$$\left(\frac{\partial^2 h}{\partial x^2}\right)_0 = \frac{2}{\Delta x_a + \Delta x_b} \left[\frac{h_1 - h_0}{\Delta x_a} - \frac{h_0 - h_3}{\Delta x_b} \right], \quad (\text{a.11})$$

dan

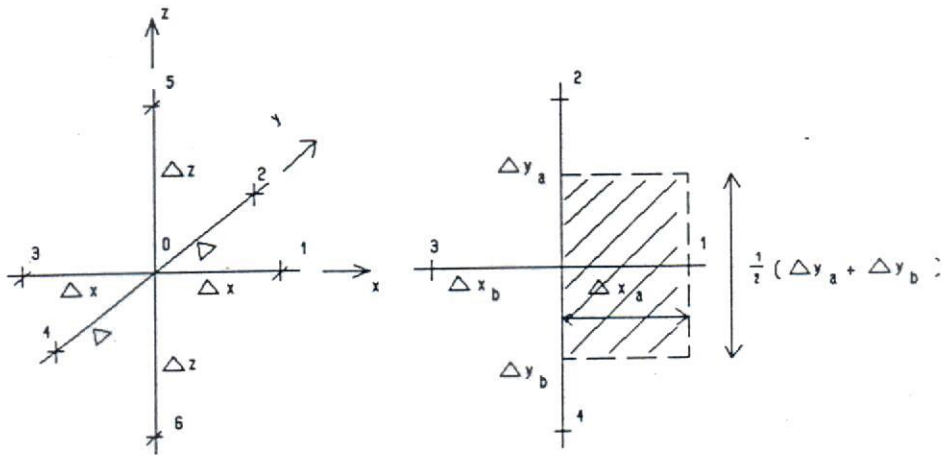
$$\left(\frac{\partial^2 h}{\partial y^2}\right)_0 = \frac{2}{\Delta y_a + \Delta y_b} \left[\frac{h_2 - h_0}{\Delta y_a} - \frac{h_0 - h_4}{\Delta y_b} \right] \quad (\text{a.12})$$

dikalikan dengan $0,25(\Delta x_a + \Delta x_b)(\Delta y_a + \Delta y_b)$, dan disubstitusikan ke persamaan (a.10), maka:

$$\begin{aligned} & \frac{\Delta y_a + \Delta y_b}{2} \left[\frac{h_1 - h_0}{\Delta x_a} + \frac{h_3 - h_0}{\Delta x_b} \right] + \frac{\Delta x_a + \Delta x_b}{2} \left[\frac{h_2 - h_0}{\Delta y_a} + \frac{h_4 - h_0}{\Delta y_b} \right] \quad (\text{a.13}) \\ & = \frac{-0.25q(\Delta x_a + \Delta x_b)(\Delta y_a + \Delta y_b)}{T} \end{aligned}$$

Ekspresi diatas mempunyai arti fisik, dengan memperhatikan daerah yang diarsis pada gambar 3.2.b, antara titik 0 dan 1 dengan hasil: (h_1-h_0) dikalikan dengan luas daerah

dibagi jarak antar titik dimana luas daerah adalah : $0,50(\Delta y_a + \Delta y_b)$ dan jarak antar titik adalah Δx_a , sama dengan term pertama pendekatan metode beda hingga pada persamaan a.13. Oleh sebab itu koefisien dari pembagian titik dalam satu, dua atau tiga dimensi dapat dideduksi dari luas daerah dan jarak antar titik.



Gambar 3.2. Grid Tiga Dimensi dan Koefisien dari
pendekatan Beda Hingga

BAB IV. METODE , TUJUAN DAN MANFAAT PENELITIAN

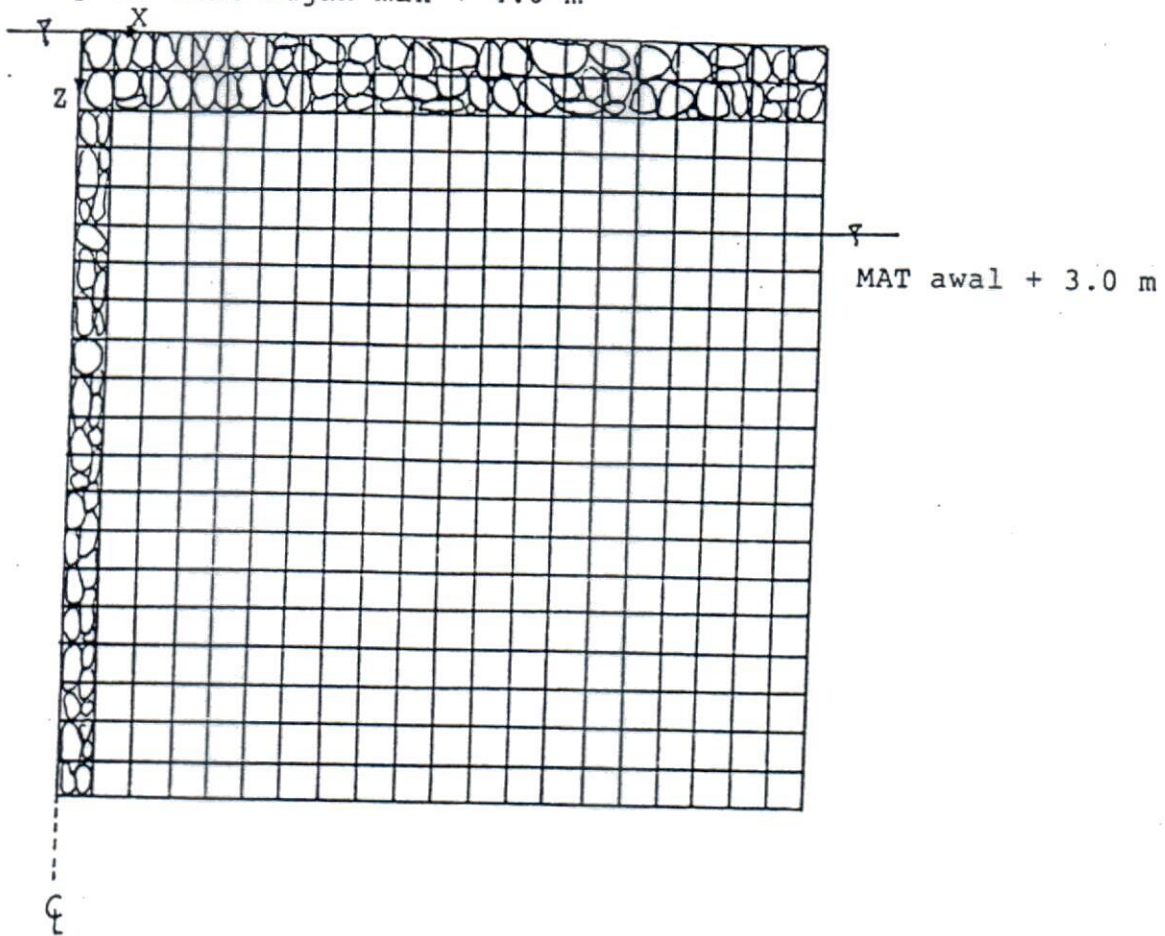
A. Metode Penelitian

Metode yang dipakai dalam penelitian ini menggabungkan antara metode numerik dengan metode laboratorium , dalam arti percobaan-percobaan laboratorium digunakan untuk menentukan parameter-parameter tanah yang tidak dapat ditentukan secara numeris, seperti halnya : koefisien rembesan, gradien hidrolik, dll. Sedangkan analisis rembesan menggunakan software "SEEP" yang dibuat berdasarkan unconfined seepage dengan metode pendekatan beda hingga. Metode beda hingga ini relatif sederhana sehingga terdapat keterbatasan dalam penggunaannya. Pada gambar III terlihat pemodelan sumur yang dianalisis dengan pendekatan beda hingga.

Pada penggunaan metode beda hingga, sebaiknya dibuat model sedemikian sehingga hasil yang didapat mendekati keadaan yang sesungguhnya. Selain hal tersebut, perlu diperhatikan kondisi-kondisi batas penyelesaian dapat tercapai, yang pada dasarnya berprinsip bahwa air dapat mengalir pada dasar sumur dan tidak dapat keluar dari permukaan tanah. Pada model terlihat bahwa daerah yang berbatu adalah daerah sumur resapan vertikal dan horisontal dengan permeabilitas yang cukup besar ($k_x = k_z = 1 \text{ cm/detik}$), sedangkan tanah asli adalah tanah lempung dengan

permeabilitas yang jauh lebih kecil ($k_x = 0,00001$ cm/ detik; $k_z = 0,000001$ cm/detik).

MAT pada saat hujan max + 4.0 m



Gambar 4.1. Model Sumur Resapan

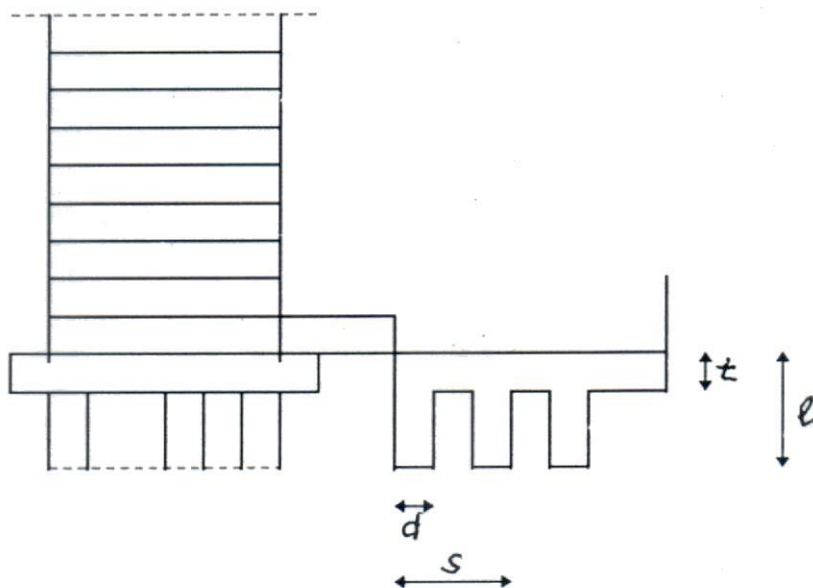
B. Tujuan Dan Manfaat Penelitian

Mengingat pembuatan sumur resapan harus memperhatikan kondisi dan jenis tanah, dengan pengertian bahwa tanah dengan permeabilitas tinggi akan menyerap air dalam jumlah yang cukup besar dibanding dengan tanah kohesif (permeabilitas rendah); sehingga perlu analisis yang lebih teliti untuk sumur resapan pada kondisi yang kedua. Jelasnya bahwa tujuan dari penelitian ini adalah : *menganalisis sumur resapan secara umum sehingga berfungsi seoptimal mungkin, dan menganalisis secara numeris sumur resapan pada tanah kohesif* yang diharapkan suatu hasil yang teliti dan mendekati kenyataan di lapangan. Sedangkan manfaat yang diharapkan dari penelitian ini adalah: pertama dan yang bersifat umum, *untuk pengembangan ilmu pengetahuan dan teknologi*. Kedua dan yang lebih khusus adalah dengan *mengetahui kapasitas sumur resapan, maka dapat direncanakan luas bidang resapan* yang diharapkan dapat menanggulangi masalah-masalah yang terjadi akibat kurangnya daerah resapan.

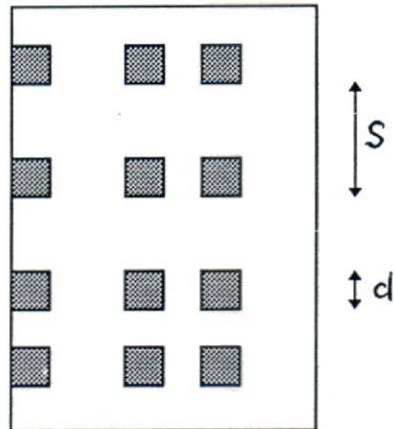
BAB V. HASIL DAN PEMBAHASAN

A. Model Sumur Resapan

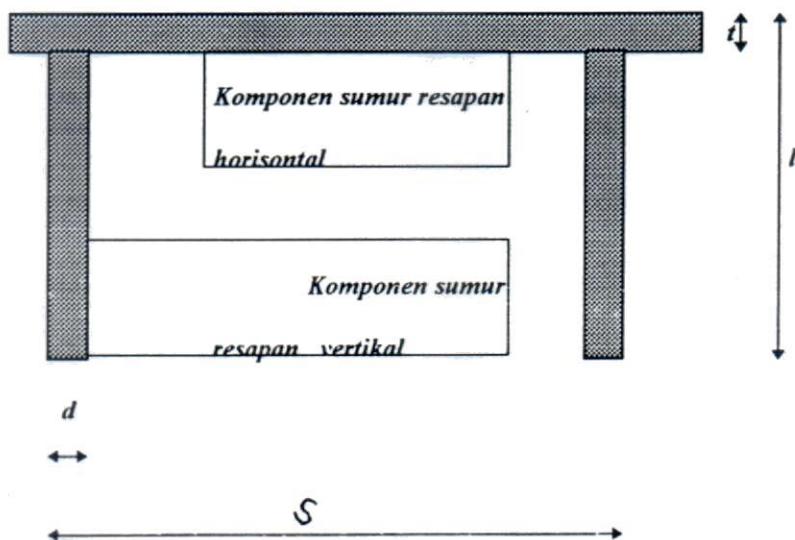
Pada bab ini akan dipresentasikan model sumur resapan pada tanah kohesif yang akan dianalisis dan dimasukkan kembali ke dalam air tanah.



Gambar 5.1. Tampak Samping Sumur Resapan



Gambar 5.2 Tampak Atas Sumur Resapan



Gambar 5.3. Komponen Sumur Resapan

Catatan t : ketebalan bahan porous

d : diameter sumur resapan

l : kedalaman sumur resapan

s : jarak antara sumur resapan

B. Contoh Hitungan

Diketahui: $d = 0,40 \text{ m}$

$s = 8,0 \text{ m}$

$t = 0,40 \text{ m}$

$l = 4,0 \text{ m}$

tinggi curah hujan = 100 mm/jam

luas daerah = 5400 m^2

debit sumur = $1.106 \text{ m}^3/\text{jam}/\text{m}^2$

$Q_{in} = \text{koefisien aliran} \times \text{luas daerah} \times \text{curah hujan}$

$= 0,60 \cdot 5400 \cdot 0,10$

$= 324 \text{ m}^3/\text{jam}$

luas efektif = 20% dari luas daerah

$$= 0,20 \cdot 5400$$

$$= 1080 \text{ m}^2$$

$$\text{luas 1 sumur} = 0,25 \cdot \pi \cdot d^2$$

$$= 0,25 \cdot 3,14 \cdot 64 = 50,265 \text{ m}^2$$

$$\text{flow efektif 1 sumur} = 8/1 \cdot 2.212 \text{ m}^3/\text{jam}/\text{m}^2$$

$$= 17,70 \text{ m}^3/\text{jam}$$

$$Q_{\text{out}} = (1080/50,265) \cdot 17,70 \text{ m}^3/\text{jam}$$

$$= 380 \text{ m}^3/\text{jam}$$

Karena $Q_{\text{out}} > Q_{\text{in}}$ maka air hujan dapat dimasukkan kedalam tanah kembali tanpa terjadi limpasan keluar.

C. Pembahasan

Apabila keadaan tidak memungkinkan maka akan diperlukan beberapa perubahan parameter dari sumur resapan. Analisis perubahan parameter dapat dilihat pada grafik 5.1, 5.2 5.3 dan 5.4. Grafik-grafik yang dibuat adalah untuk tanah kohesif dengan ketebalan pasir 40 cm, yang dibuat untuk melengkapi penulisan laporan ini.

Grafik 5.1 menggambarkan pengaruh besarnya debit air, Q , dengan ketebalan pasir sumur resapan, t . Terlihat bahwa dengan mempertebal komponen horisontal akan didapat hasil yang lebih besar dengan kenaikan hampir mencapai dua kali lipat, sehingga komponen horisontal ini mempunyai pengaruh yang begitu besar. Maka

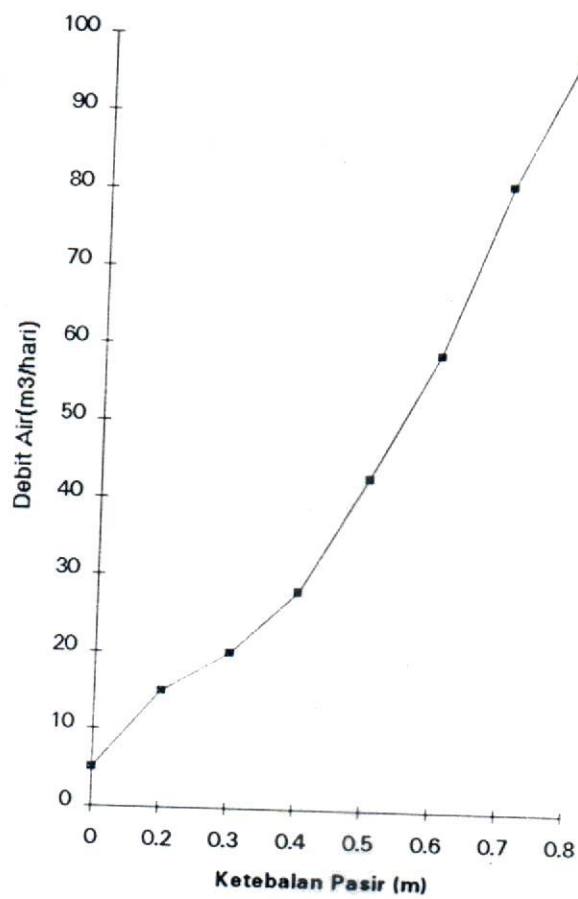
dalam perhitungan dapat dipakai untuk daerah dan curah hujan yang sesuai dengan kebutuhan.

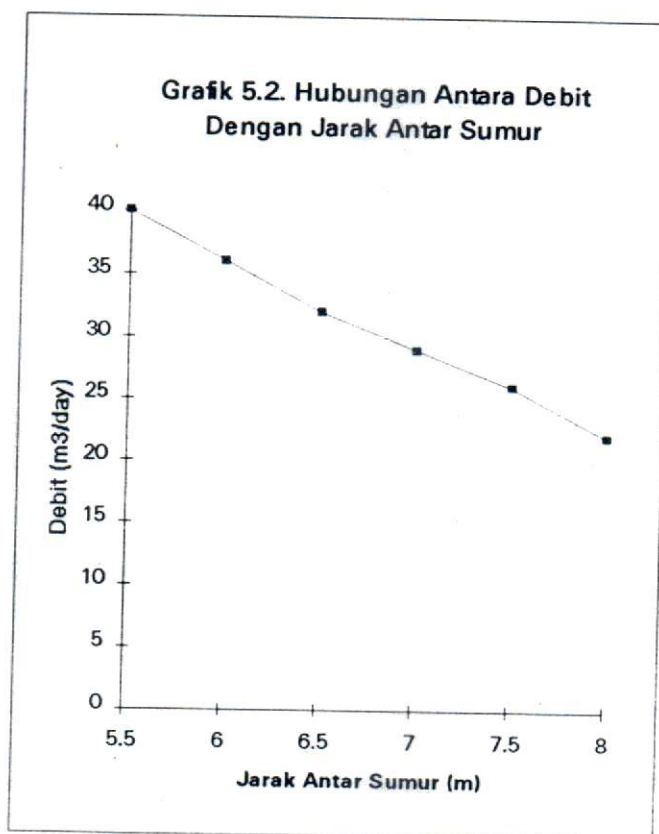
Grafik 5.2 menggambarkan pengaruh besarnya debit air, Q , dengan jarak antar sumur, s . Terlihat bahwa dengan memperpendek jarak antar sumur, dan memperbesar debitnya, akan menyebabkan bertambahnya sumur resapan. Grafik 5.3 menggambarkan pengaruh besarnya debit air, Q , dengan komponen vertikal sumur resapan, h . Terlihat bahwa debit air bertambah kecil sejalan dengan bertambah dangkalnya sumur resapan yang disebabkan luas bidang kontak semakin kecil, sehingga jumlah debit yang dihasilkan juga akan mengecil.

Grafik 5.4, menggambarkan pengaruh besarnya debit air, Q , dengan diameter sumur, d . Terlihat bahwa dengan memperbesar diameter sumur resapan akan memperbesar debit air yang tidak cukup besar jika dibandingkan dengan penebalan pasir atau bahan porous lainnya.

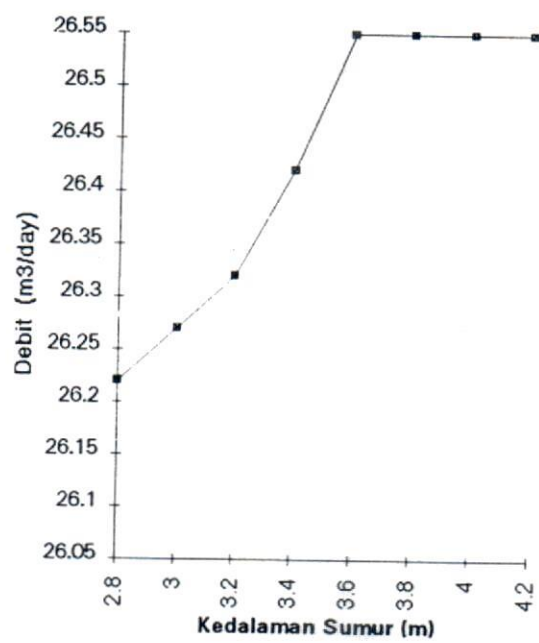
Berdasarkan analisis parametris, dengan ketinggian curah hujan yang telah disebutkan diatas maka didapat sumur resapan yang paling optimal yaitu, dengan ketebalan pasir 40 cm kedalamannya 4m, serta dapat merembeskan air hujan yang tertampung didalam tanah sehingga tidak terjadi limpasan keluar. Adapun gambar sumur resapan dapat dilihat pada gambar 5.4. Hasil program "unconfined seepage" yang berisikan groundwater potensial yang menggunakan software "SEEP", dapat digambarkan pada gambar 5.5. Sedangkan equipotential line serta flow line dapat dilihat pada gambar 5.6, dan 5.7.

**Grafik 5.1. Hubungan Antara Debit
Dengan Ketebalan Pasir**

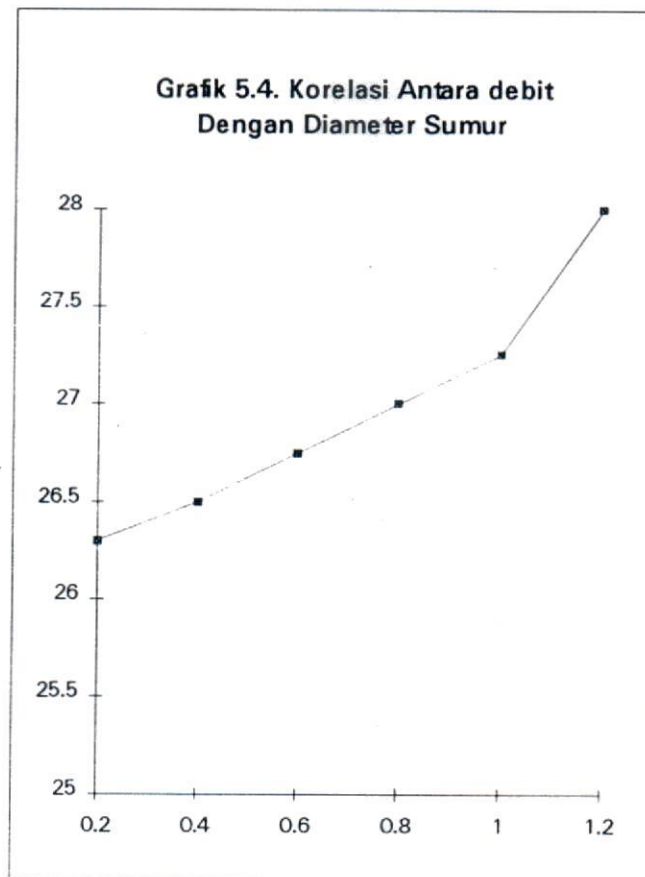




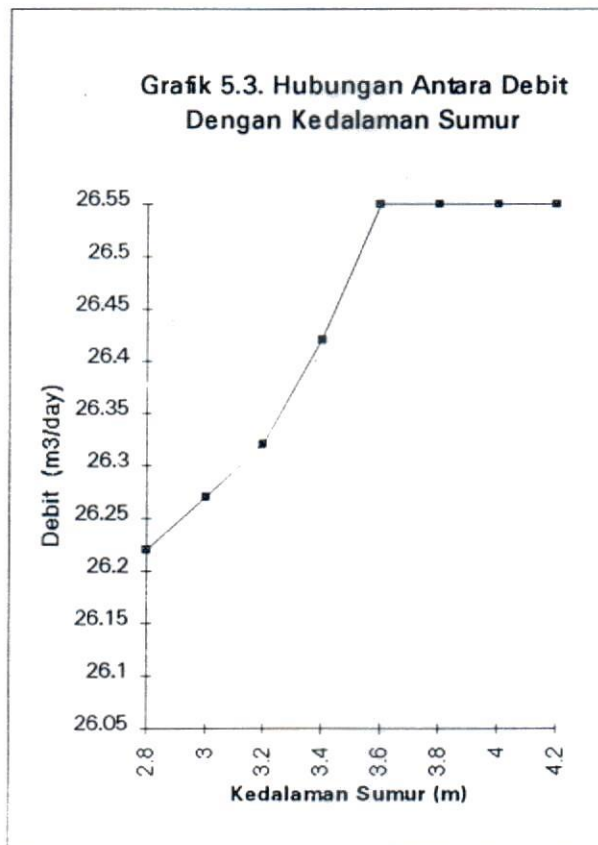
Grafik 5.3. Hubungan Antara Debit Dengan Kedalaman Sumur

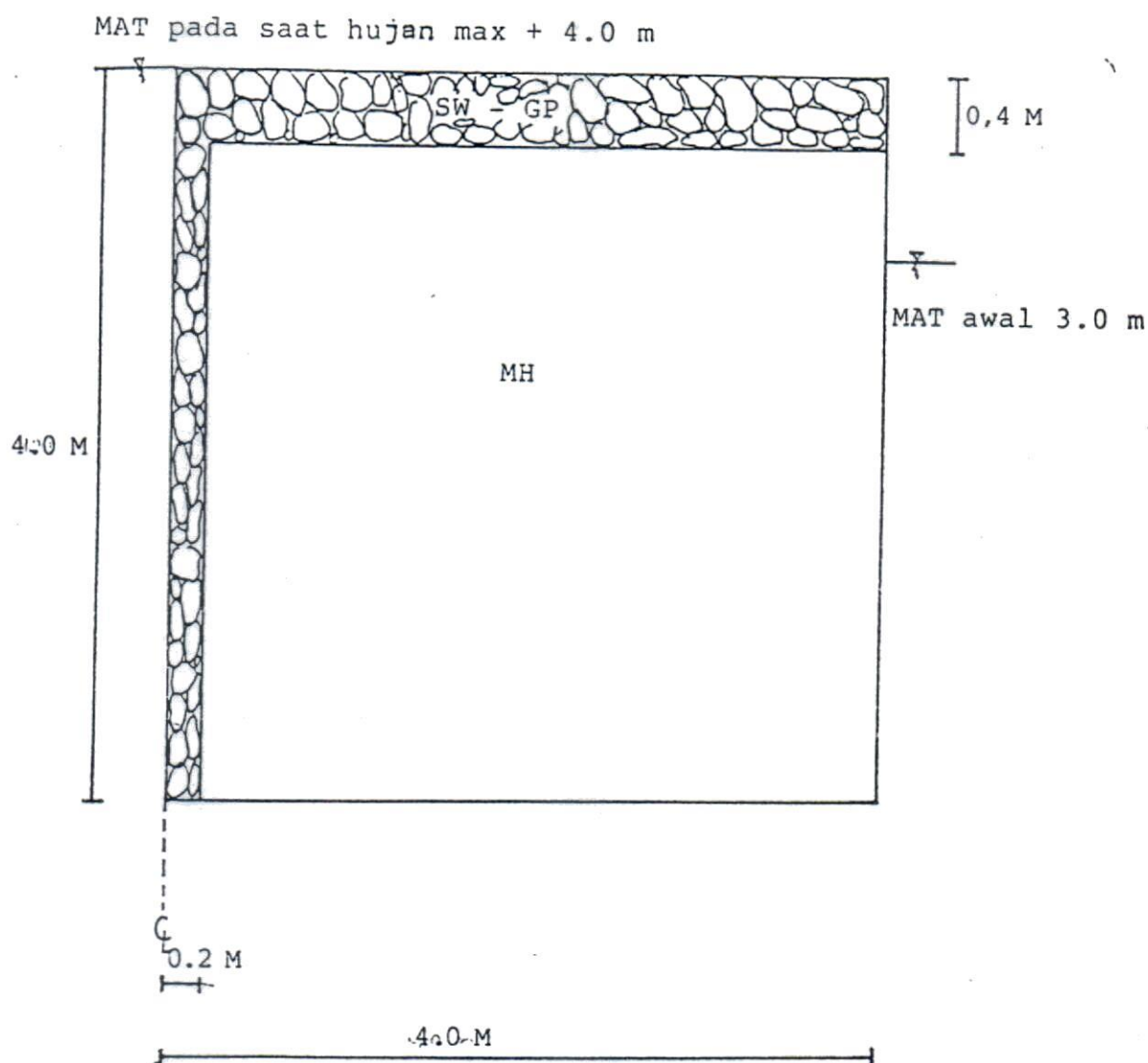


**Grafik 5.4. Korelasi Antara debit
Dengan Diameter Sumur**



Grafik 5.3. Hubungan Antara Debit Dengan Kedalaman Sumur

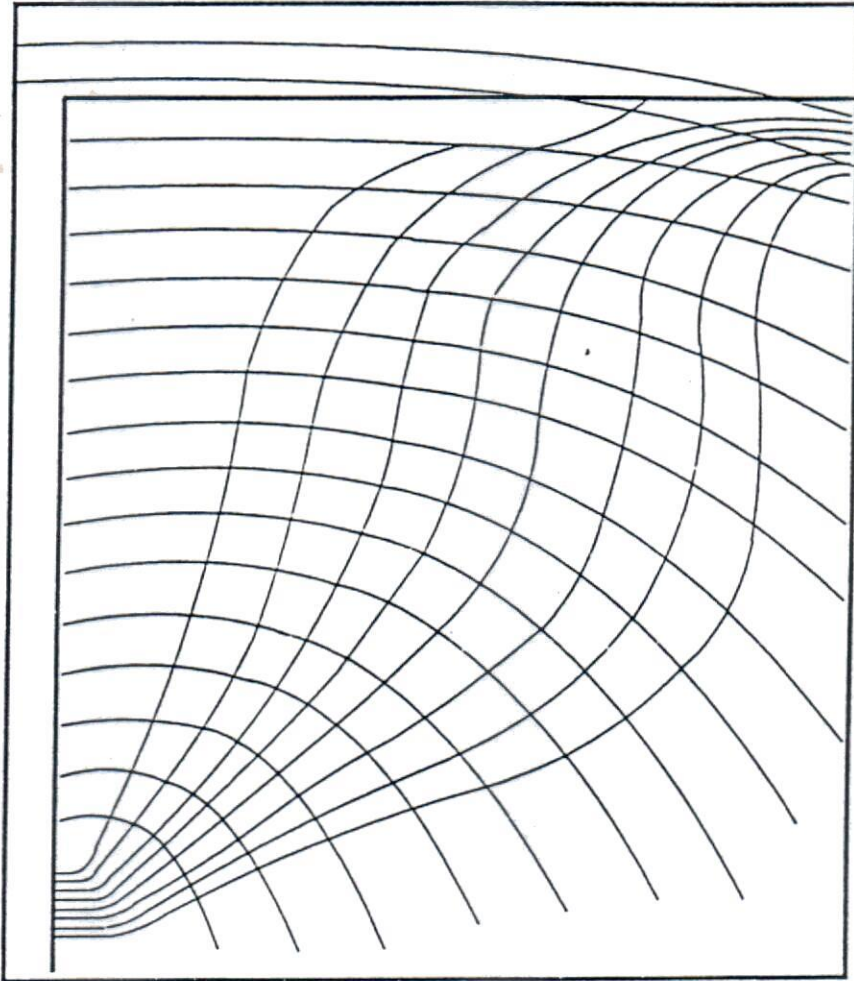




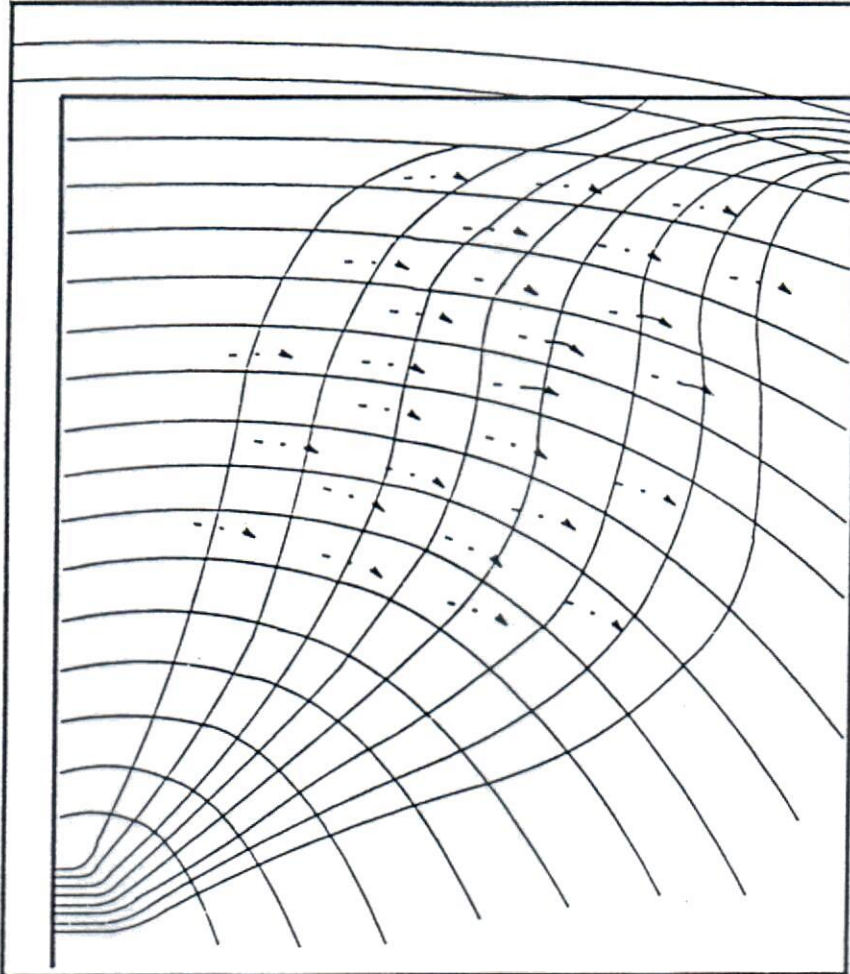
Gambar 5.4 Geometri Sumur Resapan

	3.99	3.98	3.98	3.96	3.94	3.93	3.92	3.91	3.90	3.88	3.87	3.86	3.85	3.83	3.82	3.81	3.80	3.81	3.85
3.66	3.98	3.97	3.96	3.94	3.93	3.92	3.91	3.90	3.88	3.87	3.86	3.85	3.83	3.82	3.81	3.80	3.79	3.79	
3.99	3.98	3.97	3.96	3.94	3.93	3.92	3.91	3.90	3.88	3.87	3.86	3.85	3.83	3.82	3.81	3.79	3.77	3.72	
3.99	3.98	3.97	3.96	3.94	3.93	3.92	3.91	3.90	3.88	3.87	3.86	3.85	3.83	3.82	3.81	3.79	3.77	3.72	
4.00	4.00	3.97	3.95	3.92	3.89	3.87	3.84	3.81	3.78	3.75	3.72	3.68	3.64	3.60	3.54	3.48	3.41	3.31	
4.00	4.00	3.96	3.93	3.89	3.86	3.82	3.78	3.74	3.70	3.66	3.61	3.56	3.51	3.45	3.40	3.30	3.22	3.12	
4.00	4.00	3.96	3.92	3.87	3.83	3.78	3.74	3.69	3.64	3.59	3.54	3.49	3.43	3.37	3.30	3.23	3.16	3.08	
4.00	4.00	3.95	3.91	3.86	3.81	3.76	3.71	3.66	3.61	3.55	3.50	3.44	3.38	3.32	3.26	3.20	3.14	3.07	
4.00	4.00	3.95	3.90	3.85	3.79	3.74	3.69	3.64	3.58	3.53	3.47	3.42	3.36	3.30	3.24	3.18	3.12	3.06	
4.00	4.00	3.95	3.89	3.84	3.78	3.73	3.68	3.62	3.57	3.51	3.45	3.40	3.34	3.29	3.23	3.17	3.12	3.06	
4.00	4.00	3.94	3.89	3.83	3.77	3.72	3.66	3.61	3.55	3.50	3.44	3.39	3.33	3.28	3.22	3.16	3.11	3.06	
4.00	4.00	3.94	3.88	3.82	3.76	3.71	3.65	3.59	3.54	3.48	3.43	3.37	3.32	3.26	3.21	3.15	3.10	3.05	
4.00	4.00	3.94	3.87	3.81	3.75	3.69	3.63	3.57	3.52	3.46	3.40	3.35	3.30	3.25	3.20	3.14	3.10	3.05	
2.99	3.99	3.93	3.86	3.79	3.73	3.66	3.60	3.54	3.48	3.43	3.37	3.32	3.27	3.22	3.18	3.13	3.09	3.04	
2.99	3.99	3.91	3.84	3.76	3.69	3.62	3.55	3.49	3.43	3.37	3.32	3.27	3.22	3.18	3.14	3.10	3.07	3.03	
2.98	3.98	3.89	3.79	3.70	3.62	3.54	3.46	3.39	3.33	3.28	3.23	3.18	3.15	3.11	3.08	3.06	3.04	3.02	
2.96	3.96	3.83	3.71	3.60	3.50	3.40	3.31	3.24	3.18	3.12	3.08	3.04	3.02	3.00	2.99	2.99	2.99	2.99	
2.89	3.89	3.72	3.56	3.41	3.28	3.16	3.06	2.98	3.92	3.87	2.83	2.81	2.81	2.81	2.83	2.86	2.90	2.95	
2.72	3.72	3.47	3.25	3.06	2.89	2.76	2.65	2.56	2.50	2.46	2.44	2.44	2.46	2.50	2.57	2.65	2.76	2.87	
2.28	3.28	3.93	2.65	2.43	2.24	2.10	1.99	1.91	1.86	1.83	1.83	1.84	1.90	1.98	2.10	2.26	2.46	2.71	
2.11	2.11	1.75	1.51	1.33	1.21	1.11	1.05	1.00	0.97	0.96	0.96	0.98	1.03	1.10	1.22	1.40	1.70	2.18	

Gambar 5.5. Grid Output



Gambar 5.6. Equipotential dan Flow Line



Gambar 5.7. Arah Aliran Rembesan

BAB VI. KESIMPULAN DAN SARAN

A. Kesimpulan

1. Berlakunya hukum Darcy pada analisis penulisan ini sesuai dengan hasil yang didapat dengan metode pendekatan beda hingga memakai program *unconfined seepage*.
2. Permeabilitas tanah terlihat memegang peranan yang sangat penting dalam perhitungan kapasitas sumur resapan, maupun analisis rembesan pada umumnya. Semakin besar permeabilitas tanah, akan semakin besar pula rembesan yang terjadi.
3. Luas bidang kontak memegang peranan penting, pada analisis rembesan jika dikaitkan dengan besarnya permeabilitas pada luas bidang kontak tersebut. Apabila luas bidang kontak serta permeabilitasnya besar maka akan didapat rembesan yang besar, dan sebaliknya.
4. Analisis yang selama ini dilakukan tidak memperhitungkan kemampuan tanah dalam melalukan air yang mengakibatkan sumur tidak berfungsi optimal, sedangkan dari analisis yang memperhatikan sifat tanah tertentu, dalam hal ini tanah kohesif, memperlihatkan bahwa sumur resapan dapat berfungsi secara optimal pada curah hujan yang tinggi.

B. S a r a n

1. Pada daerah yang pemakaian airnya cukup tinggi, hendaklah dibuat sumur resapan jenis ini, agar air tanah dapat dimasukkan kembali sehingga tidak menimbulkan masalah-masalah lain yang ditimbulkan akibat penyedotan air tanah tanpa memasukkannya kembali.
2. Perlu dikeluarkan suatu peraturan yang memungkinkan untuk dibuatnya sumur resapan sesuai dengan fungsi dan lokasi yang akan dibangun seperti halnya: untuk perkantoran, industri, dll. sehingga apabila air tanah dipergunakan dapat dimasukkan kembali kedalam tanah.
3. Sumur resapan jenis ini, selain untuk memasukkan air hujan kedalam tanah juga dapat dipakai untuk memasukkan sisa air buangan yang telah melalui suatu proses penyaringan serta tidak mengotori air tanah akibat sisa air buangan tersebut.
4. Disarankan penelitian ini untuk ditindak lanjuti dengan eksperimen di lapangan untuk verifikasi.

== J. T.H. ==

DAFTAR PUSTAKA

- David Keith Todd (1972), *Fround Water Hydrology*, Topan Company, Ltd.
Tokyo, Japan
- Georde Fleming (1972); *Computer Simulation Teqniques in Hydrology*,
Elsevier , New York
- Hun Guan,L. (1980); *Ground Water Resources Enginering*, Delf,
Netherland
- Verruijt ,A. (1970), *Theory Of Groundwater Flow*, Mac. Millan, Publishing
Company, Inc, London
- Dessai Chandrakant, S. (1977), *Numerical Methods in Geotechnical Engineering*,
Mc. Graw Hill Book Company, New York
- Das Braja, M. (1983), *Advanced Soil Mechanics*, Mc. Graw Hill, Book Company
New York
- Grenica, JN, (1982), *Geotechnical Engineering*, Mc. Graw Hill, Book Company
New York
- Kok, Che Min (1989), *Seepage Analysis Using Finite Element Computer
Program: a Case Study of Johore Bahry Sg. Layang Dam*, M E Report
Project, Department Of Civil Engineering, University Of Auckland
- Yunus Ampualam, K, (1990), *Seepage Analysis of 2-D and Axisymetric Flow into a
Sheet Pile Excavation Using a Computer Program*, M E Project Report,
Department Of Civil Engineering, University Of Auckland, 1992
- Griffith, DV. (1984), *Rationalised Charts For The Methods Of Fragments
Applied To Confined Seepage*, *Geotechnique*, Vol. 34, No. 2
pp. 229 - 238
- Nguyen ,VU, and Raudkivi,AJ, (1983) *Analytical Solution For Trancient Two
Dimensional Unconfined Ground Water Flow*, *Hydrological Science
Journal*, 28,2,6, 1983

PERSONALIA PENELITIAN

PERSONALIA PENELITIAN

1. Pembimbing

Nama : Prof. Ir. Hardjoso Prodjo Pangarso
 Pangkat dan Jabatan : IVE/ Guru Besar
 Instansi : Universitas Atma Jaya Yogyakarta

2. Kepala Proyek Penelitian

Nama : Ir. J. Tri Hatmoko, M.Sc
 Pangkat dan Jabatan : IIIB/ Asisten Ahli Madya
 Tempat Penelitian : Fakultas Teknik Univ. Atma Jaya Yogyakarta
 Waktu yang disediakan : 12 minggu (3 bulan)

3. Anggota Tim Peneliti

Nama : Ir. Y. Hendra Suryadharma
 Pangkat dan Jabatan : IIIA/ Asisten Ahli Madya
 Tempat Penelitian : Fakultas Teknik Univ. Atma Jaya Yogyakarta
 Waktu yang disediakan : 12 minggu (3 bulan)

Nama : Ir. Justin Ali, SE
 Pangkat dan Jabatan : IIIA/Asisten Ahli Madya
 Tempat Penelitian : Fakultas Teknik Univ. Atma Jaya Yogyakarta
 Waktu yang disediakan : 12 minggu (3 bulan)

Nama : Ir. HY. Supriyadi, MS
 Pangkat dan Jabatan : IIID/Lektor Madya
 Tempat Penelitian : Fakultas Teknik Univ. Atma Jaya Yogyakarta
 Waktu yang disediakan : 12 minggu (3 bulan)

Nama : Ir. Imam Basuki
 Pangkat dan Jabatan : IIIA/Asisten Ahli Madya
 Tempat Penelitian : Fakultas Teknik Univ. Atma Jaya Yogyakarta
 Waktu yang disediakan : 12 minggu (3 bulan)

RINGKASAN

ANALISIS NUMERIK SUMUR RESAPAN PADA TANAH KOHESIF

Oleh:

J. Tri Hatmoko

Y. Hendra Suryadharma

Justin Ali

H.Y. Supriyadi, DS

Imam Basuki

Jurusan Teknik Sipil Fakultas Teknik

Universitas Atma Jaya Yogyakarta

INTISARI

Penggunaan air tanah yang berlebihan harus dipikirkan bagaimana mengembalikannya lagi kedalam tanah, agar supaya tidak menyebabkan terjadinya berbagai hal yang merugikan. Pembuatan sumur resapan dirasakan merupakan suatu alternatif pemecahan yang sampai saat ini dianggap paling tepat. Namun demikian ada suatu permasalahan, bagaimana jika sumur resapan tersebut dibuat pada tanah kohesif (permeabilitas rendah) terutama sekali pada daerah dengan curah hujan yang cukup tinggi. Untuk mengatasi hal tersebut, dibuat model sumur resapan pada tanah kohesif, dan di analisis secara numeris. Metode numeris yang di pakai untuk analisis rembesan adalah metode pendekatan beda hingga dengan bantuan soft ware "SEEP", sedangkan parameter-parameter tanah yang tidak dapat ditentukan secara numeris dicari dengan percobaan laboratorium atau studi literatur.

Studi parametris juga dilakukan pada penelitian ini, dan kesimpulan yang diperoleh adalah: permeabilitas tanah dan luas bidang kontak memegang peranan yang sangat penting dalam analisis kapasitas sumur resapan. Hasil analisis numeris dengan metode beda hingga sesuai dengan keadaan sesungguhnya. Sumur resapan akan berfungsi secara optimal, jika memperhatikan sifat-sifat tanah dan model analisis yang dipakai.

PENGANTAR

Permasalahan yang timbul akibat penggunaan air tanah yang berlebihan akan mengakibatkan banyak hal yang merugikan antara lain: penurunan muka tanah, intrusi air laut didaerah pantai, settlement yang cukup besar akibat penurunan muka air tanah. Hal ini disebabkan air tanah yang tidak terpakai tidak dikembalikan lagi ke dalam tanah. Sampai saat ini sarana yang dipakai untuk mengembalikan air yang sudah terpakai ke dalam tanah adalah *sumur resapan*, namun demikian analisis sumur resapan yang sampai saat ini dilakukan belum banyak memperhatikan jenis dan kondisi tanah disekitarnya. Analisis sumur resapan pada tanah dengan permeabilitas tinggi, tentunya akan jauh berbeda dengan tanah dengan permeabilitas rendah (tanah kohesif), apalagi pada daerah dengan curah hujan tinggi. Disamping itu model analisis yang dipakai

belum menjanjikan hasil yang akurat. Untuk itu perlu dipikirkan penyelesaian masalah tersebut dengan *membuat model sumur resapan pada tanah kohesif*, dan juga model analisis yang diperkirakan akan memberikan hasil yang tepat, *yaitu dengan metode pendekatan beda hingga*.

Metode pendekatan beda hingga ditujukan untuk persamaan elliptic dan parabolic. Persamaan elliptic mencakup semua persamaan "steady state seepage", yang menjabarkan rembesan dan "ground water flow", sedangkan persamaan parabolic dengan variabel waktu orde pertama $\partial h / \partial t$. Persamaan-persamaan diatas yang terbentuk dengan memperhatikan kondisi batasnya akan menghasilkan persamaan simultasi yang dengan mudah dipecahkan dengan bantuan alat komputer. Sedangkan cara pendekatan metode beda hingga adalah dengan *garis lurus dan Deret Taylor*.

Namun demikian formulasi dengan metode beda hingga harus tetap berdasarkan pada teori tentang rembesan .

Pada teori rembesan atau aliran melalui media berpori telah dikenal dengan hukum Darcy (Darcy 1856; Wiest 1956), yang dapat ditulis dengan persamaan $v = k \cdot i$, dengan v = "seepage velocity", k = "permability factor", dan I = "gradient hydrolic". Arah perhitungan gradien hidrolik dilakukan haruslah merupakan salah satu dari arah utama permeabilitas.

CARA PENELITIAN

Pada penelitian ini, yang dilakukan pertama kali adalah membuat model sumur resapan pada tanah kohesif, dengan daerah sumur resapan vertikal dan horisontal nilai koefisien permeabilitas cukup besar ($k_x = k_z = 1$ cm/detik), sedangkan tanah asli adalah lempung dengan koefisien permeabilitas cukup kecil ($k_x = 0,00001$ cm/detik; $k_z = 0,000001$ cm /detik). Parametrik studi juga dilakukan dengan mengambil contoh daerah dengan curah hujan cukup tinggi (100 mm/jam), dan luas daerah 5400 m².

Soft ware yang dipakai untuk analisis rembesan adalah "SEEP" yang dibuat dengan metode pendekatan beda hingga, yang relatif sederhana sehingga terdapat keterbatasan dalam penggunaannya. Oleh sebab itu, model sumur resapan dibuat sedemikian rupa sehingga hasil yang diperoleh mendekati keadaan yang sesungguhnya. Disamping itu, perlu diperhatikan kondisi-kondisi batas penyelesaian yang dapat tercapai.

HASIL DAN PEMBAHASAN

Dengan data model sumur resapan : diameter 40 cm, kedalaman = 4 meter, ketebalan pasir 40 cm, dan jarak antara sumur resapan 8 meter, curah hujan 100 mm/jam, luas daerah 5400 m², dan flow 1.106 m³/jam. Kemampuan sumur resapan

untuk melewati air (Q_{out}), lebih besar dari air hujan yang masuk di daerah tersebut (Q_{in}), maka air hujan dapat dikembalikan ke dalam tanah tanpa terjadi limpasan. Namun demikian jika keadaan tidak memungkinkan, maka diperlukan "parametrik studi" (analisis perubahan parameter).

- Hubungan antara debit air (Q), dengan ketebalan komponen horisontal sumur resapan (t), menunjukkan bahwa dengan mempertebal komponen horisontal (ketebalan pasir), akan diperoleh hasil dengan kenaikan mencapai dua kali lipat, sehingga komponen horisontal mempunyai pengaruh yang relatif besar.
- Hubungan antara debit air (Q), dengan jarak antara sumur resapan (s), menunjukkan bahwa dengan memperpendek jarak antara sumur resapan, akan memperbesar daya tampung sumur resapan (Q_{out}), namun demikian jumlah sumur resapan akan bertambah.
- Hubungan antara debit air (Q), dengan komponen vertikal sumur resapan (h), memperlihatkan bahwa debit air mengecil sesuai dengan bertambah dangkalnya sumur resapan yang disebabkan luas bidang kontak menjadi lebih kecil.
- Hubungan antara debit (Q), dengan diameter sumur (d), terlihat bahwa dengan memperbesar diameter sumur resapan akan memperbesar debit air.

Berdasarkan studi parametrik tersebut didapat sumur resapan yang paling optimal yaitu dengan ketebalan 40 cm, kedalaman 4 meter, serta dapat meneruskan air ke dalam tanah tanpa terjadinya limpasan. Hasil program komputer menunjukkan hasil yang sesuai dengan keadaan yang sesungguhnya.

KESIMPULAN

- Berlakunya hukum Darcy pada penelitian ini sesuai dengan hasil yang didapat dengan metode pendekatan beda hingga memakai program unconfined seepage.

- Permeabilitas tanah terlihat memegang peranan yang sangat penting dalam perhitungan kapasitas sumur resapan, maupun analisis rembesan pada umumnya.
- Luas bidang kontak memegang peranan penting dalam analisis rembesan jika dikaitkan dengan besarnya permeabilitas pada luas bidang kontak tersebut.
- Analisis yang selama ini tidak begitu memperhatikan kemampuan tanah dalam melewatkan air yang mengakibatkan sumur resapan tidak berfungsi optimal, sedangkan dari analisis yang memperhatikan sifat tanah, akan menghasilkan sumur resapan yang berfungsi secara optimal.

UCAPAN TERIMA KASIH

Ucapan terima kasih disampaikan kepada:

1. Bapak Prof. Ir. Hardjoso Prodjopangarso, yang telah meluangkan waktu untuk memberikan bimbingan dan saran-saran yang sifatnya membangun.
2. Pengurus Yayasan Slamet Rijadi, dan Fakultas Teknik atas pembeayaan penelitian ini.
3. Rekan-rekan anggota Tim peneliti.



