BAB III

LANDASAN TEORI

3.1 Infiltrasi

Perpindahan air dari atas (surface) kedalam permukaan tanah disebut infiltrasi. Sedangkan daya infiltrasi f_p adalah laju infiltrasi maksimum yang ditentukan oleh kondisi permukaan termasuk lapisan atas dari tanah. Besarnya daya infiltrasi dinyatakan dalam cm/jam.

3.2 Konsep Umum Infiltrasi

Ketika air hujan jatuh ke permukaan jalan sebagian air tertahan di cekungan-cekungan sebagian air mengalir sebagai *run off* dan sebagian lainnya meresap ke dalam tanah. Saat hujan mencapai permukaan lahan maka akan terdapat bagian hujan yang mengisi ruang kosong *(void)* dalam tanah yang terisi udara sampai mencapai kapasitas lapang *(field capacity)* dan berikutnya bergerak kebawah secara gravitasi akibat berat sendiri. Proses masuknya air dari permukaan tanah menuju kedalam tanah tersebut dikenal dengan infiltrasi.

Untuk memperkirakan kapasitas infiltrasi dengan pendekatan teoritik dapat digunakan beberapa metode, antara lain :

3.2.1 Metode Horton

Rumus Horton memberikan hasil hitungan Daya Infiltrasi dalam hubungannya dengan waktu.

$$f(t) = f_c + (f_o - f_c)e^{-kt} \quad \text{.....} \quad (3.1)$$

Dengan :

$f(t)$ = Kapasitas Infiltrasi pada waktu t (cm / jam)

f_o = Kapasitas Infiltrasi awal (cm jam)

f_c = Kapasitas Infiltrasi maksimum (cm /jam)

k = Konstanta geofisik

t = Waktu

Humus Horton diatas ditrasposisikan sebagai berikut :

$$f(t) - f_c = (f_o - f_c)e^{-kt} \quad \text{.....} \quad (3.2)$$

Kemudian kedua persaman tersebut di *log* kan menjadi :

$$\log_{10}[f(t) - f_c] = \log_{10}(f_o - f_c) - kt\log_{10^e} \quad \text{.....} \quad (3.3)$$

Atau

$$\log_{10}[f(t) - f_c] - \log_{10}(f_o - f_c) = -kt\log_{10^e} \quad \text{.....} \quad (3.4)$$

$$t = -\frac{1}{k\log_{10^e}}[\log_{10}(f(t) - f_c) - \log_{10}(f_o - f_c)] \quad \text{.....} \quad (3.5)$$

Atau

$$t = \frac{-1}{k\log_{10^e}} - \log_{10}(f(t) - f_c) + \frac{1}{k\log_{10^e}}\log_{10}(f_o - f_c) \quad \text{.....} \quad (3.6)$$

Persamaan diatas sama dengan persamaan : Y = mX + C..... (3.7)

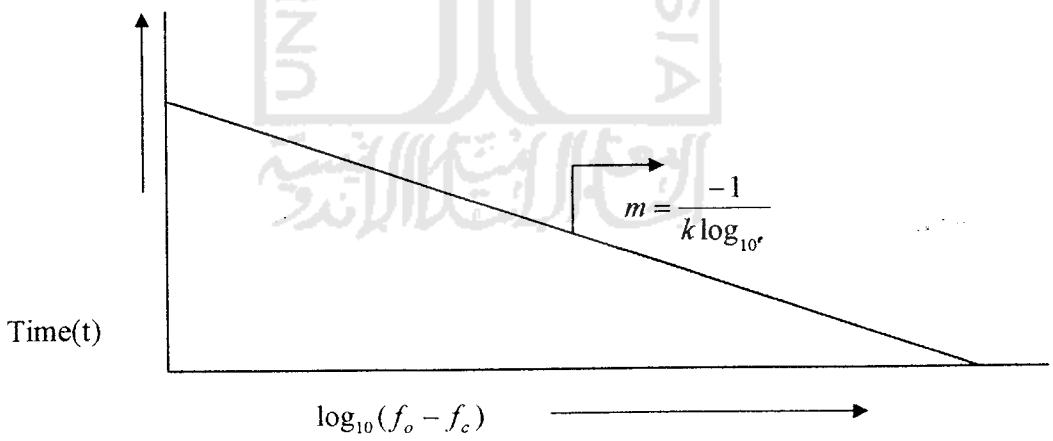
Dimana : Y = t

$$m = \frac{-1}{k \log_{10}} \quad \text{.....} \quad (3.8)$$

$$X = \log_{10e}\left(f(t) - f_c\right) \quad \text{.....} \quad (3.9)$$

$$C = \frac{1}{k \log_{10e}} \log_{10}\left(f_o - f_c\right) \quad \text{.....} \quad (3.10)$$

Dengan demikian, persamaan ini dapat diwakilkan dalam sebuah garis lurus yang mempunyai nilai, $m = \frac{-1}{k \log_{10}}$ Bentuk dari garis lurus persamaan tersebut diperlihatkan dalam gambar 6 :



Gambar 3.1 Grafik hubungan t terhadap $\log(f_o - f_c)$

Untuk laju infiltrasi lapangan $f(t)$ *lapangan* didapatkan dari hasil penurunan air yang diteliti pada alat infiltrometer kemudian dikalikan 60 menit dan dibagi dengan (Interval) penurunan yang terjadi selama t menit

3.3 Pengukuran Laju Infiltrasi

Untuk menghitung Laju Infiltrasi bisa didapatkan dengan berbagai cara, seperti berikut ini :

3.3.1 Dengan Infiltrometer

Percobaan ini pada dasarnya menentukan besarnya laju infiltrasi pada lokasi tertentu dengan menghitung jumlah air yang ditambahkan pada infiltrometer agar muka air konstan. Ring infiltometer ini merupakan suatu pipa besi bergaris tengah 30 cm dan panjang 60 cm yang ditekan masuk kedalam tanah sedalam kira-kira 50cm, air dituang dalam pipa sampai sedalam kira-kira 10cm kemudian setiap kali ditambah sehingga muka air tetap. Jumlah air yang ditambahkan merupakan petunjuk tentang besarnya daya infiltrasi, yang pada suatu saat akan mempunyai harga yang tetap (f_c).

Pembacaan pada jam-jam pertama hendaknya dilakukan dengan interval yang lebih pendek dari pada pembacaannya kemudian, mengingat debit resapan akan menurun dengan cepat pada periode tersebut.

Kerugian menggunakan cara ini adalah :

1) Struktur tanah akan berubah pada saat memasukkan pipa kedalam tanah, demikian pula struktur tanah permukaan, apabila tidak ditutup dengan tananam.

2) Terjadinya aliran mendatar sesudah air melewati ujung pipa sebelah bawah. Pengaruh ini dikurangi dengan memasang pipa lain yang

bergaris tengah, lebih besar serta mengisi ruang diantaranya dengan air "double ring".

Untuk mengatasi kerugian-kerugian yang disebutkan diatas, maka orang mencoba membuat "rain Simulator".

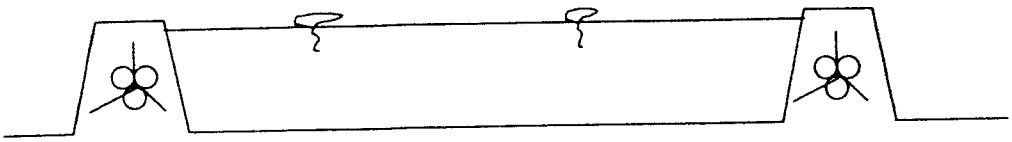
3.3.2 Rain Simulator

US Soil Concervation Service membut dua tipe simulator (tipe F dan tipe FA). Simulator ini terdiri dari satu set "sprinkle nozzle" yang memancarkan air kedalam suatu bidang tanah sample pada suatu daerah (water shed). Pada tipe F, ukurannya adalah 6×12 feet, sedangkan tipe FA, lebih kecil, yaitu $1 \times 2\frac{1}{2}$ feet. Petak tanah ini diisolasikan dari bidang tanah sekitarnya, sehingga air limpasan (run off) dapat diukur dengan teliti. Percobaan ini dilakukan dengan I > fp.

3.3.3 Dengan Testplot

Pengukuran daya infiltrasi dengan infiltrometer hanya dapat dilakukan terhadap luasan yang kecil saja, sehingga sukar untuk mengambil kesimpulan terhadap besarnya daya infiltrasi untuk daerah yang lebih luas.

Untuk mengatsi hal ini dipilih sebidang tanah yang datar, dikelilingi oleh tanggul dan digenangi air (Gambar 3.2). Daya infiltrasinya didapat dari banyaknya air yang ditambahkan agar permukaan airnya konstan. Jadi sebenarnya *testplot* ini adalah infiltrometernya yang berskala besar.



Gambat 3.2. Genangan air dengan Testplot

Baik infiltrometer maupun testplot dianggap gagal untuk menirukan infiltrasi akibat adanya hujan, namun apa yang didapatkan dari pengamatan, ini dapat dipakai sebagai bandingan.

3.4 Faktor-faktor yang Mempengaruhi Laju Infiltrasi

3.4.1 Dalamnya genangan diatas permukaan tanah dan tebal lapisan jenuh

Infiltrasi air melalui permukaan tanah dapat diumpamakan sama dengan aliran lewat pipa-pipa sangat kecil, dalam jumlah besar, dengan panjang dan diameter tertentu. Laju infiltrasi kedalam tanah merupakan jumlah perkolasi dari air yang memasuki tampungan (storage) diatas permukaan air tanah, pada permulaan musim hujan pada umumnya tanah masih jauh dari jenuh sehingga pengisian akan berjalan terus pada waktu yang lama sehingga daya infiltrasi akan menurun terus pada hujan yang berkesinambungan, meskipun pada periode yang sama.

3.4.2 Kadar Air Dalam Tanah

Jika sebelum hujan turun permukaan tanah sudah lembab, daya infiltrasi (*fp*) akan lebih rendah dibandingkan dengan jika pada permukaan tanah yang semula kering. Suatu jenis tanah berbutir halus yang dapat digolongkan sebagi koloid, bila terkena air dan menjadi basah akan mengembang. Pengembangan

tersebut mengakibatkan berkurangnya volume pori-pori, sehingga daya infiltrasi akan mengecil. Ini merupakan alasan mengapa pada tanah yang berbutir halus *fp* akan cepat mengecil dengan bertambahnya durasi hujan.

3.4.3 Pemampatan oleh partikel-partikel curah hujan

Gaya pukulan butir-butir air hujan terhadap permukaan akan mengurangi debit resapan air hujan. Akibat jatuhnya tersebut butir-butir tanah yang lebih halus dilapisan permukaan tanah akan terpencar dan masuk kedalam ruang-ruang antar buti-butir tanah, sehingga terjadi efek pemampatan. Permukaan tanah yang terdiri atas lapisan yang bercampur tanah liat akan menjadi kedap air karena dimampatkan oleh pukulan bitir-butir air hujan tersebut. Tapi tanah pasiran tanpa campuran bahan-bahan lain tidak akan dipengaruhi oleh gaya pukulan partikel butir-butir hujan itu. Pemampatan oleh injakan orang atau binatang dan lalu lintas kendaraan sangat menurunkan daya Infiltrasi.

3.4.4 Tumbuh-tumbuhan

Lindungan tumbuh-tumbuhan yang padat, misalnya seperti rumput atau hutan cenderung untuk meningkatkan debit resapan air hujan. Ini disebabkan oleh akar yang padat menembus kedalam tanah, lapisan sampah organic dari daun-daun atau akar-akar dan sisa-sisa tanaman yang membusuk membentuk permukaan empuk, binatang-binatang dan serangggga-serangga pembuat liang membuka jalan kedalam tanah, lindungan tumbuh-tumbuhan mengambil air dari dalam tanah sehingga memberikan ruang bagi proses infiltrasi berikutnya.

3.4.5 Pemampatan oleh orang dan hewan

Pada bagian lalu lintas orang atau kendaraan, permeabilitas tanah berkurang karena struktur butir-butir tanah dan ruang-ruang yang berbentuk pipa yang halus telah dirusakannya. Contohnya kebun rumput tempat memelihara banyak hewan, lapangan permainan dan jalan tanah.

3.4.6 Kelembaban tanah

Besarnya kelembaban tanah pada lapisan teratas sangat mempengaruhi laju infitrasi. Potensi kapiler bagian lapisan tanah yang menjadi kering (oleh evaporasi) kurang dari kapasitas menahan air normal akan meningkat jika lapisan tanah dibasahi oleh curah hujan. Peningkatan potensial kapiler ini bersama-sama dengan grafitasi akan mempercepat infiltrasi.

Bila kekurangan kelembapan tanah diisi oleh infiltrasi, maka selisih potensial kapiler akan menjadi kecil. Pada waktu yang sama kapasitas infiltrasi pada permulaan curah hujan akan berkurang tiba-tiba, yang disebabkan oleh pengembangan bagian klodial dalam tanah. Jadi kelembaban tanah itu adalah sebagian tanah dari sebab pengurangan tiba-tiba dari infiltrasi.

3.4.7 Karakterristik-karakteristik Air yang Berinfiltrasi

a. Suhu air mempunyai beberapa pengaruh, tetapi sifat dan penyebarannya belum pasti. Beberapa penelitian menunjukkan bahwa pada bulan-bulan musin panas kapasitas infiltrasi lebih tinggi.

b. Kualitas air merupakan faktor lain yang mempengaruhi infiltrasi. Liat halus pada partikel debu yang dibawa dengan air ketika infiltrasi ke bawah dapat menghambat ruang pori yang lebih kecil. Kandungan garam dapur air mempengaruhi viskositas air dan laju pengembangan koloid.

3.5 Macam - macam sumur resapan

3.5.1 Sumur resapan arah vertikal

Konsep dasar sumur resapan pada hakekatnya adalah suatu system drainase dimana air hujan yang jatuh diatap atau dilahan kedap air, dan air buangan dari gedung rumah tinggal di tampung pada suatu system resapan air. Cara ini mengalirkan air hujan maupun limbah rumah tinggal kedalam sumur resapan yang dibuat dihalaman rumah. Sumur resapan ini merupakan sumur kosong dengan maksud kapasitas tampungannya yang cukup besar sebelum air meresap kedalam tanah.

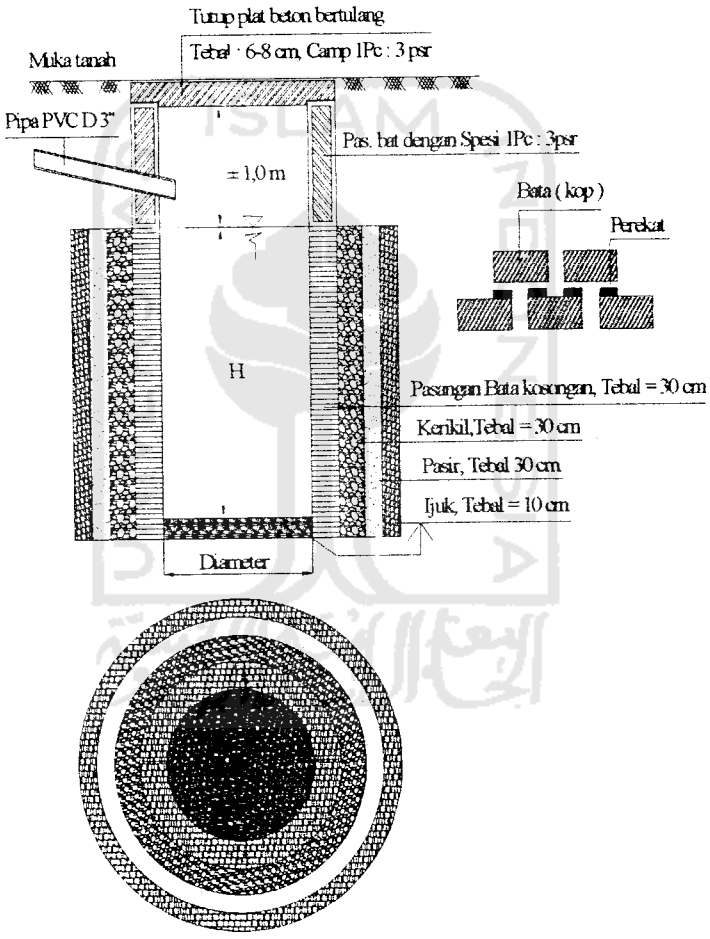
Untuk konstruksi sumur resapan, pada dasarnya dibuat dari berbagai bahan. yang perlu diperhatikan adalah untuk keamanan,sumur resapan perlu dilengkapi dengan dinding. Bahan – bahan yang diperlukan untuk sumur resapan meliputi:

a. Saluran pemasukan atau pengeluaran dapat menggunakan pipa besi, pipa paralon, buis beton,pipa tanah liat, atau dari pasangan batu.

b. Dinding sumur dapat menggunakan anyaman bamboo, drum bekas, tanki fiberglass, pasangan batu kali, batu bata, buis beton.

c. dasar sumur dan sela- sela antara galian tanah dan dinding tempat air meresap di isi dengan ijuk dan dengan kerikil sebagai pemecah energi dan Sebagai Filter.

d. Sebagai penutup sumur resapan digunakan plat beton bertulang

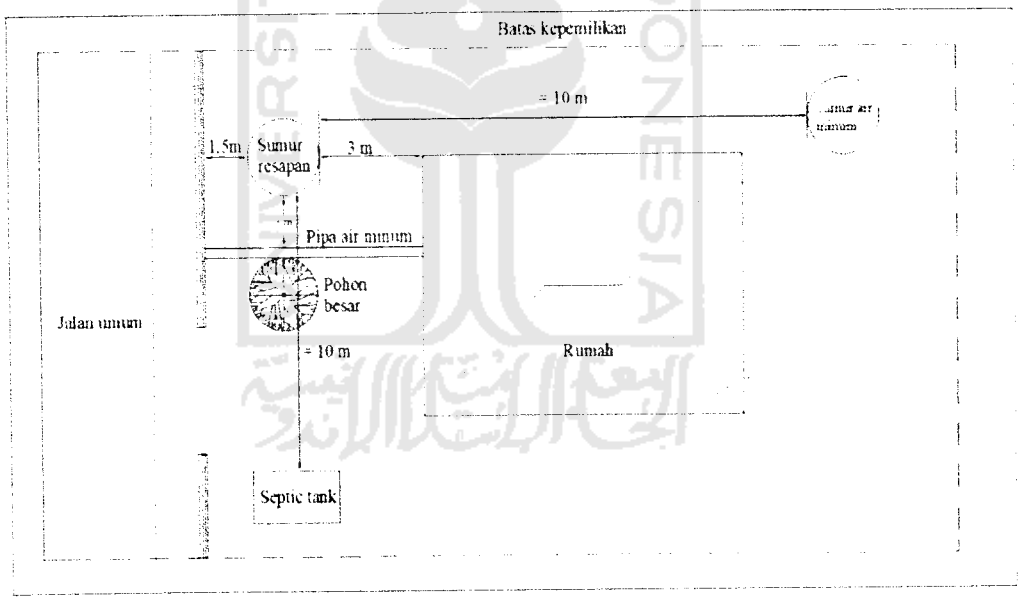


Sumber : *TEKNISIA VOL IX, No 2, 2004, Oleh Ir . H. Harbi Hadi, MT*

Gambar 3.3 Konstruksi Sumur resapan

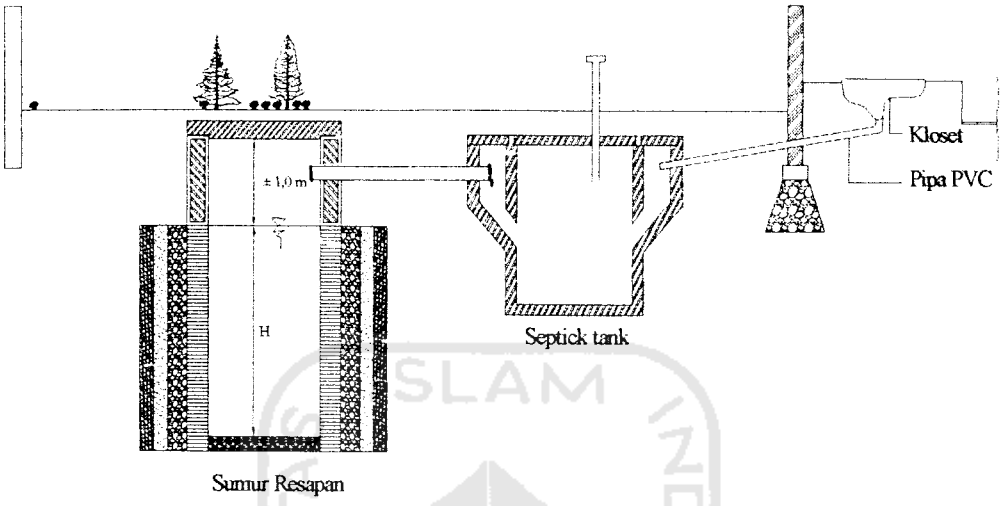
Untuk memberikan hasil yang baik, serta tidak menimbulkan dampak negatif, penempatan sumur resapan harus disesuaikan dengan kondisi lingkungan pada daerah setempat. Penempatan sumur resapan harus memperhatikan letak septytank, sumur air minum, posisi rumah, dan jalan umum, untuk mempermudahnya berikut Tabel 3.1. jarak batas minimum antara sumur resapan terhadap bangunan lainnya.

Sebagai gambaran tata letak serta konstruksi sumur resapan diperlihatkan pada gambar berikut.

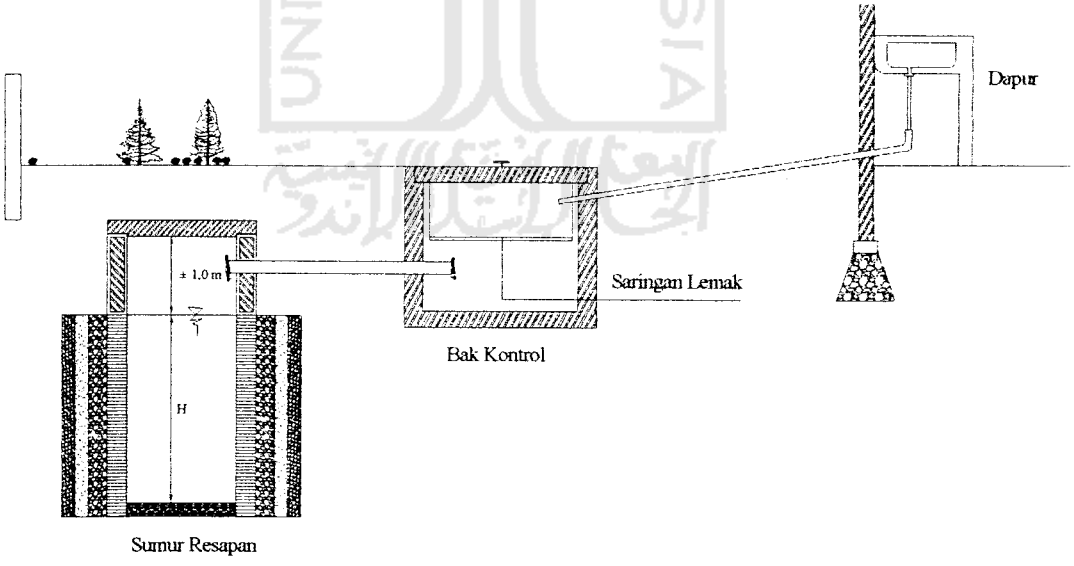


Sumber : Suripin, 2001, Pelestarian Sumber Daya Tanah Dan Air

Gambar 3.4 Tata sumur resapan tampak dari atas dan camping



Gambar 3.5 Sumur resapan dari WC dengan konstruksi Bata kosongan



Gambar 3.6 Sumur resapan dari dapur dengan konstruksi Bata kosongan

Tabel 3.1 Jarak minimum sumur resapan dengan bangunan lainnya.

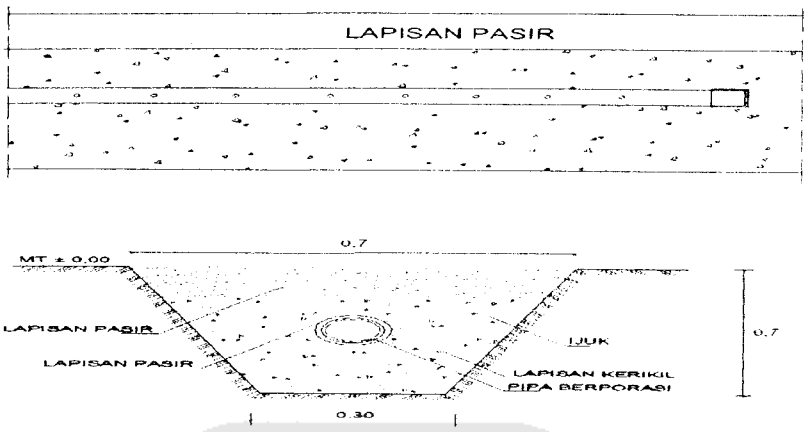
No	Bangunan atau obyek lain	Jarak Minimal dengan sumur resapan (m)
1	Bangunan / rumah	3
2	Batas kepemilikan lahan / kapling	1,5
3	Sumur air minum	10
4	Septic tank	10
5	Aliran air (Sungai)	30
6	Pipa air minum	3
7	Jalan umum	1,5
8	Pohon besar	3

Sumber : Cotteral and Norris dalam Kusnaedi, 2000

3.5.2 Sumur resapan arah horizontal

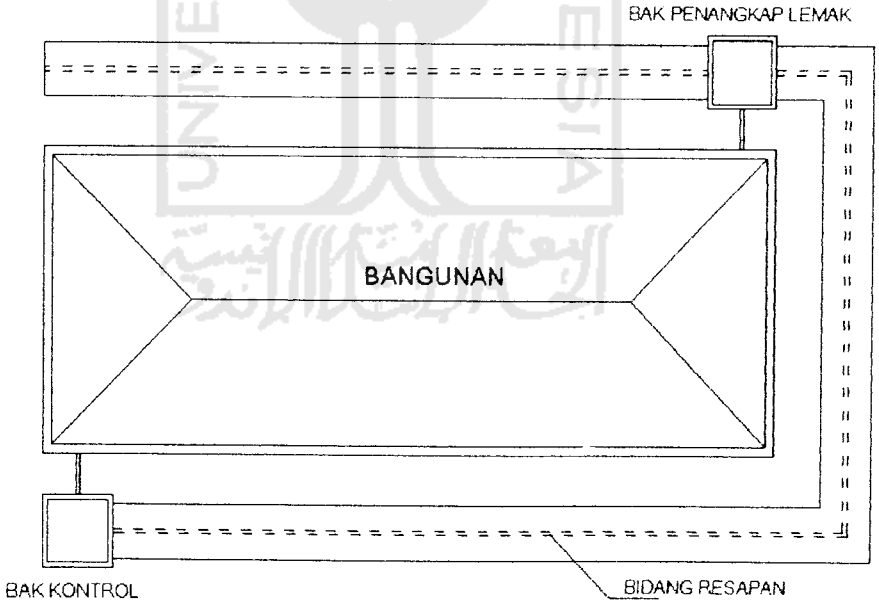
Sumur resapan akan efektip apabila dasar sumuran berada diatas permukaan air tanah. Pada kawasan dengan ketinggian permukaan air tanah yang berada cukup dalam dari permukaan tanah. Tetapi pada kawasan yang elevasi air tanahnya kurang dari 3m peresapan akan lebih efektip dengan sistem resapan arah horizontal (ITB-HMTL, 1990) yaitu sistem resapan menggunakan pipa PVC dimana diberi lubang resapan (pipa berporasi) baik itu untuk resapan air hujan maupun resapan air limbah rumah tangga.

Bidang resapan berfungsi menampung air yang masuk serta meresapkan kedalam tanah. Pada dinding resapan, dasar serta dinding sebelah kiri dan kanannya diberi ijuk, ditengah bidangnya disekitar pipa diberi urugan kerikil kasar sedangkan atasnya diurug dengan pasir (seperti gambar berikut) :



Sumber : Eko Purwanto, Herdiansyah, Sistem Resapan Arah Horizontal

Gambar 3.7 Kondisi resapan air hujan dan air limbah rumah tangga menggunakan pipa berporasi



Sumber : : Eko Purwanto, Herdiansyah, Sistem Resapan Arah Horizontal

Gambar 3.8 Tampak atas bidang resapan suatu bangunan

Dari perhitungan daya infiltrasi maka dapat dihitung kebutuhan resapan horizontal pada suatu bangunan gedung pada daerah yang muka air tanahnya dangkal.

3.6 Perancangan sumur resapan

3,6.1 Formula Sunjoto (1988)

Sunjoto (1988) telah membuat suatu formula untuk analisis tinggi air dalam sumur yang kemudian formula tersebut dikembangkan lagi untuk mempermudah menganalisis secara matematis. Formula tersebut didasarkan pada imbangan air dalam sumur dan diturunkan secara matematis dengan mendasarkan pada besaran "Faktor Geometri" yang lazim digunakan dalam aquifer atau pengujian pompa dengan formula :

$$H = \frac{Q}{FK}\left[1 - e^{-\left(\frac{FK.T}{\pi.R^2}\right)}\right] \quad \text{.....} \quad (3.11)$$

Dengan, H = Kedalaman efektip sumur (m)

Q = Debit air masuk (m3/dt)

F = Faktor geometrik (m)

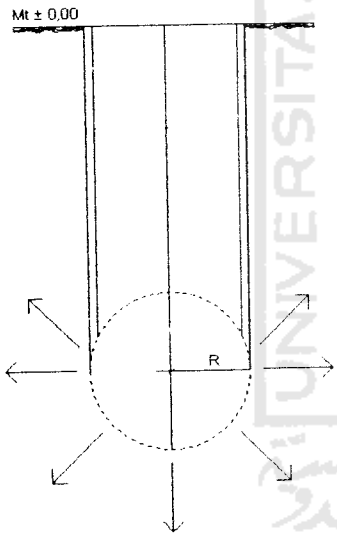
K = Koefisien permeabilitas tanah (m/dt)

T = Waktu pengaliran (Durasi dominan hujan) (s)

R = Radius sumur (m)

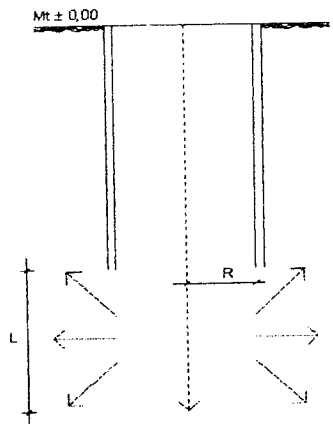
Faktor geometrik tergantung pada bentuk sumur resapan itu sendiri. Untuk menentukan nilai faktor geometrik dapat dilihat pada gambar 3.7.

Kedalaman efektip sumur resapan dapat dihitung dari tinggi muka air tanah, bila dasar sumur berada dibawah muka air tanah tersebut dan diukur dari dasar sumur bila muka air tanah berada dibawahnya. Dasar ini seyogyanya berada pada lapisan tanah dengan permeabilitas besar.



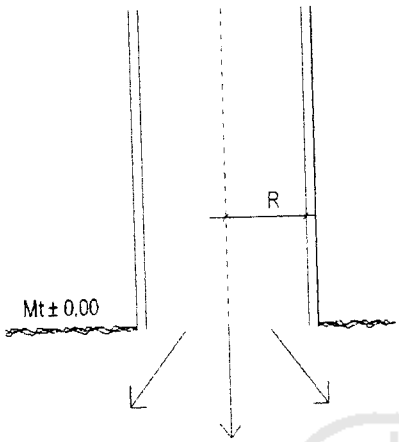
$$Q_0 = 4\pi R.K.H$$

$$F = 4R \quad \text{.....} \quad (3.13)$$

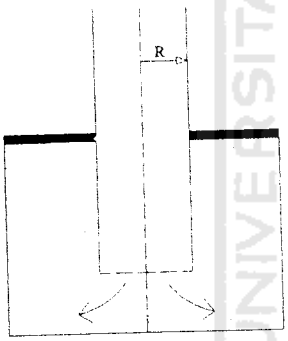


$$Q_0 = \frac{2\pi L.K.H}{\ln\left(L/2R + \sqrt{1+(L/2R)^2}\right)}$$

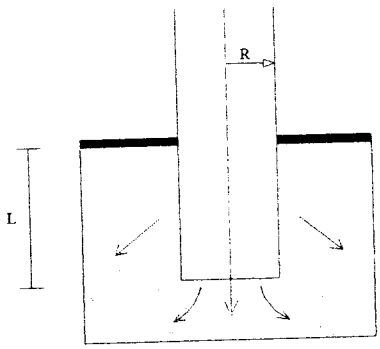
$$F = 2\pi R \quad \text{.....} \quad (3.14)$$



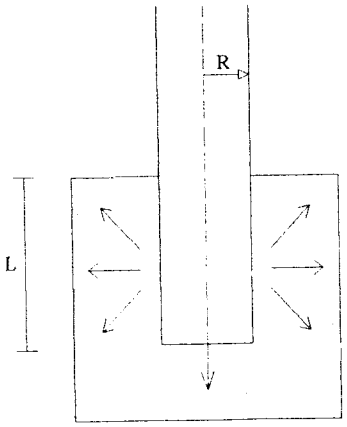
$$F = 5{,}5R \quad \ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots \quad (3.15)$$



$$F = \frac{2\pi L}{\ln\left[L/R) + \sqrt{(L/R)^2 + 1}\right]} \quad \ldots\ldots\ldots\ldots \quad (3.16)$$



$$F = \frac{2\pi(L + 2/3R)}{\ln\left[(L + 2R)/R + \sqrt{(L/R)^2 + 1}\right]} \quad \ldots\ldots \quad (3.17)$$



$$F = \frac{2\pi(L + 2/3R)}{\ln\left[(L + 2R)/2R + \sqrt{(L/2R)^2 + 1}\right]} \quad \text{.....} \quad (3.18)$$

Gambar 3.9 Debit resapan pada sumur resapan dengan berbagai kondisi

Sumber : *Boilot,R. 1976*

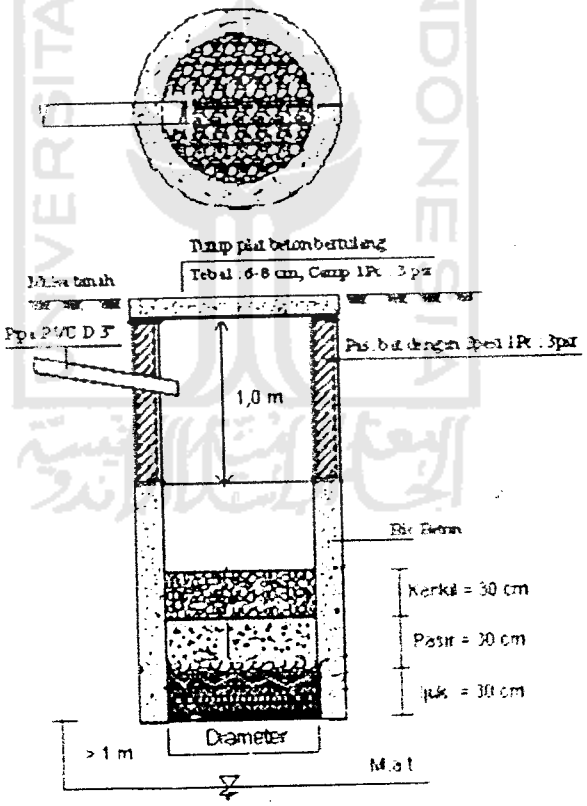
Sumur resapan akan efektip apabila dasar sumuran berada diatas permukaan air tanah. Pada kawasan dengan ketinggian permukaan air tanah yang berada cukup dalam dari permukaan tanah.

3.6.2 Rekayasa Lingkungan (1997)

Para pakar telah membuat suatu formula untuk perencanaan dimensi sumur resapan. Terdapat beberapa jenis peresapan untuk limbah rumah tangga yang sering digunakan, peresapan memanjang dan peresapan sumuran. Peresapan memanjang perinsip peresapan airnya adalah vertikal yaitu meresap menuju kebawah seluas penampang dasar peresapan memenjang yang ditentukan berdasarkan kedalaman muka airnya, berbeda dengan peresapan sumuran yang prinsip peresapan airnya adalah kearah vertikal kebawah.

Tipe peresapan sumuran inilah yang digunakan sebagai formula perancangan dimensi sumur resapan.

Pada buku rekayasa lingkungan tinggi peresapan (h) ditentukan berdasarkan tinggi muka air tanah dimana muka dasar peresapan berada lebih besar 1 meter diatas muka air tanah, peresapan sumuran biasanya digunakan pada daerah yang muka air tanahnya cukup dalam, kedalamanya lebih besar 2,5 meter dari muka tanah.



Sumber : Wastewater engineering, Metcalf end eddy

Gambar 3.10 Konstruksi sumur resapan

Dalam perencanaan dimensi sumur resapan digunakan rumus sebagai berikut :

$$A = \frac{1}{4}.\pi.d^2 \quad \text{.....(3.19)}$$

$$Q = \frac{1}{4}.\pi.d^2 \,.\, f(t) \quad \text{.....(3.20)}$$

$$d = \sqrt{\frac{4.Q}{\pi.f(t)}} \quad \text{.....(3.21)}$$

Dimana :

A = Luas Bidang Resapan (m^2)

Q = Debit air kotor (m^3/hari)

f(t) = Daya resap tanah (m/hari)

d = Diameter Sumur resapan