

II. TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Konsep Umum Infiltrasi (Perkolasi)

Menurut Asdak (1995), ketika air hujan jatuh ke permukaan tanah atau lapisan permukaan, sebagian air tertahan di cekungan-cekungan, sebagian air mengalir sebagai limpasan (*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 (*soil moisture deficiency*) sampai mencapai kapasitas lapang (*field capacity*) dan berikutnya bergerak kebawah secara gravitasi akibat berat sendiri dan bergerak terus kebawah (perkolasi) ke dalam daerah jenuh (*saturated zone*) yang terdapat di bawah permukaan air tanah (phreatik). Air yang berada pada lapisan air tanah jenuh dapat pula bergerak ke segala arah (ke samping dan ke atas) dengan gaya kapiler atau dengan bantuan penyerapan oleh tanaman melalui tudung akar.

Proses masuknya air dari atas (*surface*) ke dalam tanah disebut infiltrasi.

Sedangkan laju infiltrasi (*ft*) adalah daya infiltrasi maksimum yang ditentukan oleh kondisi permukaan termasuk lapisan atas dari tanah. Perkolasi merupakan proses kelanjutan perjalanan air tersebut ke tanah yang lebih dalam. Dengan kata lain, infiltrasi adalah perjalanan air ke dalam tanah sebagai akibat gaya kapiler (gerakan air ke arah lateral) dan gravitasi (gerakan air ke arah vertikal). Setelah keadaan jenuh pada lapisan tanah bagian atas terlampaui, sebagian dari air

tersebut mengalir ke tanah yang lebih dalam sebagai akibat gaya gravitasi bumi dan dikenal sebagai proses perkolasi. Besarnya laju infiltrasi atau perkolasi dinyatakan dalam mm/jam atau mm/hari.

Dengan demikian, proses infiltrasi melibatkan tiga proses yang saling tidak tergantung :

1. Proses masuknya air hujan melalui pori-pori permukaan tanah
2. Tertampungnya air hujan tersebut di dalam tanah
3. Proses mengalirnya air tersebut ke tempat lain (bawah, samping, dan atas)

Laju infiltrasi/ perkolasi ditentukan oleh :

1. Jumlah air yang tersedia dipermukaan tanah
2. Sifat permukaan tanah
3. Kemampuan tanah untuk mengosongkan air di atas permukaan tanah

Dari ketiga unsur di atas, ketersediaan air (kelembaban tanah) adalah yang terpenting karena ia akan menentukan besarnya tekanan potensial pada permukaan tanah. Berkurangnya laju infiltrasi/ perkolasi dapat terjadi karena dua alasan.

Pertama, bertambahnya kelembaban tanah menyebabkan butiran tanah berkembang dan dengan demikian akan menutup ruang pori-pori tanah. Kedua, aliran air ke bawah tertahan oleh gaya tarik butir-butir tanah.

2.2.1 Faktor-faktor Yang Mempengaruhi Laju Infiltrasi

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. 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 sama.

2. Kadar Air Dalam Tanah

Jika sebelum hujan turun permukaan tanah sudah lembab, daya infiltrasi (f_i) akan lebih rendah di bandingkan dengan jika pada permukaan tanah yang semula kering. Suatu jenis tanah berbutir halus yang dapat digolongkan sebagai koloid, bila terkena air dan menjadi basah akan mengembang. Perkembangan tersebut mengakibatkan berkurangnya volume pori-pori, sehingga daya infiltrasi/perkolasi akan mengecil. Ini merupakan alasan mengapa pada tanah yang berbutir halus f_i akan cepat mengecil dengan bertambahnya durasi hujan.

3. Pemampatan oleh partikel-partikel curah/butiran 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 terpecah dan masuk kedalam ruang-ruang antar butir-butir tanah, sehingga terjadi efek pemampatan. Permukaan tanah yang terdiri atas lapisan yang bercampur tanah liat akan menjadi kedap air karena dimampatkan oleh pukulan butir-butir hujan tersebut. Tapi tanah pasir tanpa campuran bahan-bahan lain tidak akan dipengaruhi oleh gaya pukulan partikel butir-butir hujan itu.

4. Tumbuh tumbuhan

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

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 dirusakny dan mengakibatkan tanah tersebut menjadi padat, sehingga laju infiltrasi/ perkolasi pada daerah tersebut sangat rendah. Contohnya kebun rumput tempat memelihara banyak hewan, lapangan permainan dan jalan tanah. Pemampatan oleh injakan orang atau binatang dan lalu lintas kendaraan sangat menurunkan laju infiltrasi/ perkolasi.

6. Kelembaban tanah

Besarnya kelembaban tanah pada lapisan teratas sangat mempengaruhi laju infiltrasi. 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 gravitasi akan mempercepat infiltrasi. Bila kekurangan kelembaban tanah

diisi oleh infiltrasi, maka selisih potensial kapiler akan menjadi kecil. Pada waktu yang sama kapasitas infiltrasi/ perkolasi 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.

7. Karakteristik-karakteristik Air yang Berinfiltrasi

a. Menurut Ward dalam Sosrodarsono (1999), suhu air mempunyai beberapa pengaruh, tetapi sifat dan penyebarannya belum pasti. Beberapa penelitian menunjukkan bahwa pada bulan-bulan musim panas kapasitas infiltrasi lebih tinggi. Namun ini tentu disebabkan oleh sejumlah faktor dan tentunya bukan karena suhu saja

b. Kualitas air merupakan faktor lain yang mempengaruhi infiltrasi/ perkolasi. Liat halus pada partikel debu yang dibawa dengan air ketika perkolasi kebawah dapat menghambat ruang pori yang lebih kecil. Kandungan garam dalam air mempengaruhi viskositas air dan laju pengembangan klopoid (Sosrodarsono, 1999).

8. Tekstur tanah

Menurut Hardjowigeno dalam Januardin (2008), tekstur tanah menunjukkan perbandingan butir-butir pasir ($2\text{mm}-50\ \mu$), debu ($50-2\ \mu$) dan liat ($<2\ \mu$) di dalam tanah. Kelas tekstur tanah dibagi dalam 12 kelas, yaitu: pasir, pasir berlempung, lempung berpasir, lempung, lempung berdebu, debu, lempung liat, lempung liat berpasir, lempung liat berdebu, liat berpasir, liat berdebu, liat.

Berdasarkan ukurannya, bahan padatan tanah digolongkan menjadi tiga partikel

yaitu pasir, debu, dan liat. Tanah berpasir yaitu tanah dengan kandungan pasir > 70 %, porositas rendah (< 40%), sebagian besar ruang pori berukuran besar, sehingga aerasinya baik daya hantar air cepat, tetapi kemampuan menahan air dan unsur hara rendah. Tanah disebut bertekstur liat jika kandungan liatnya > 35 %, porositas relatif tinggi (60 %), tetapi sebagian besar merupakan pori berukuran kecil, daya hantar air sangat lambat dan sirkulasi udara kurang lancar (Utomo dalam Januardin, 2008). Pada tekstur tanah pasir, laju perkolasi akan sangat cepat, pada tekstur tanah lempung laju perkolasi adalah sedang hingga cepat dan pada tekstur liat laju perkolasi akan lambat (Serief dalam Januardin, 2008).

2.1.2 Pengukuran Laju Infiltrasi atau Perkolasi

Pengukuran laju perkolasi bisa dilakukan dengan beberapa cara. Menurut Knapp dalam Asdak (1995), ada 3 cara untuk menentukan besarnya laju perkolasi, yakni

1. Menentukan beda volume air hujan buatan dengan volume air limpasan pada percobaan laboratorium menggunakan simulasi hujan buatan.
2. Menggunakan ring infiltrometer
3. Teknik pemisahan hidrograf aliran dari data aliran air hujan

Ring infiltrometer yang biasa digunakan adalah infiltrometer ganda (*double ring infiltrometer*), yaitu satu infiltrometer silinder ditempatkan di dalam infiltrometer silinder lain yang lebih besar. Infiltrometer silinder yang lebih kecil mempunyai ukuran diameter sekitar 30 cm dan infiltrometer yang besar mempunyai diameter 46 hingga 50 cm, panjang infiltrometer sekitar 60 cm. Pengukuran hanya dilakukan pada silinder yang kecil. Silinder yang lebih besar hanya berfungsi

sebagai penyangga yang bersifat menurunkan efek batas yang timbul oleh adanya silinder (Asdak,1995).

Percobaan pengukuran ini dapat dilakukan dengan cara sebagai berikut. Terlebih dahulu lokasi yang akan diukur dibersihkan. Sebaiknya tanah yang terkelupas dapat dibuang, silinder ditempatkan tegak lurus dan ditekan kedalam tanah, sehingga bersisa ± 10 cm diatas permukaan tanah. Apabila tanah yang akan diukur merupakan tanah lunak, hal tersebut dapat dilakukan dengan mudah. Akan tetapi apabila tanah tersebut merupakan tanah keras, maka untuk dapat memasukkan silinder diperlukan pemukulan dengan alat pukul besi yang cukup berat (± 10 kg). Dalam pemukulan tersebut hendaknya bagian atas pipa dilindungi dulu dengan balok kayuyang cukup tebal, pemukulan tidak dilakukan pada satu sisi karena silinder akan miring. Apabila pemukulan dilakukan pada sisi lain, maka silinder akan menjadi tegak. Air secukupnya disiapkan, demikian pula stop watch dan alat tulis, untuk pelaksanaan pengukuran infiltrasi dengan *double ring infiltrometer* sebagai berikut:

1. Air dituangkan sampai silinder penuh dan tunggu sampai air tersebut seluruhnya terinfiltrasi. Hal ini perlu dilakukan untuk menghilangkan retak - retak yang merugikan pengukuran,
2. Air dituangkan kembali kedalam silinder hingga penuh,
3. Setelah air penuh, stop watch dihidupkan, dan air didiamkan selama 5 menit,
4. Setelah 5 menit didiamkan, penurunan yang terjadi diukur dan dicatat pada tabel yang telah disiapkan,
5. Air dituangkan kembali secepatnya kedalam silinder sampai penuh, kemudian didiamkan kembali selama 5 menit. Besar penurunan muka air

setelah 5 menit diukur dan dicatat kembali pada tabel pencatatan.

6. Hal tersebut dilakukan secara terus menerus, sampai laju penurunan muka air tersebut konstan. Dalam hal ini berarti laju perkolasi sudah tetap.

Kerugian menggunakan cara ini adalah :

- (1) Struktur tanah akan berubah pada saat memasukkan pipa kedalam tanah, demikian pula struktur tanah permukaan.
- (2) Terjadinya aliran air 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 dengan air “*double ring*”

Keuntungan menggunakan cara ini adalah aliran horizontal tidak meluas karena dibatasi oleh *ring infiltrometer* tersebut.

Menurut Dunne dan Leopold dalam Asdak (1995), cara pengukuran perkolasi dengan cara di atas relatif mudah pelaksanaannya, akan tetapi perlu diingat bahwa dengan cara ini hasil laju perkolasi yang diperoleh biasanya lebih besar dari keadaan yang berlangsung di lapangan (infiltrasi dari curah hujan), yaitu 2-10 kali lebih besar.

2.1.3 Rumus Horton

Model persamaan perhitungan kapasitas perkolasi yang dikemukakan Horton adalah sebagai berikut. Menurut Garg dalam Mahbud (2010), rumus Horton memberi hasil hitungan laju perkolasi dalam hubungan dengan waktu, yaitu :

$$f(t) = fc + (fo - fc)e^{-kt} \dots\dots\dots(1)$$

Keterangan :

f = laju perkolasi pada saat t (cm/jam)

fc = laju perkolasi saat t konstan (cm/jam)

fo = laju perkolasi t awal (cm/jam)

k = konstanta

t = waktu

$e = 2,718$

Untuk memperoleh nilai konstanta k untuk melengkapi persamaan kurva kapasitas perkolasi, maka persamaan Horton diolah sebagai berikut :

$$f = fc + (fo - fc) e^{-kt}$$

$$f - fc = (fo - fc) e^{-kt}$$

dilogaritmakan sisi kiri dan kanan,

$$\log (f - fc) = \log (fo - fc) e^{-kt} \text{ atau}$$

$$\log (f - fc) = \log (fo - fc) - kt \log e$$

$$\log (f - fc) - \log (fo - fc) = - kt \log e$$

maka,

$$t = (-1/(k \log e)) [\log (f - fc) - \log (fo - fc)]$$

$$t = (-1/(k \log e)) \log (f - fc) + (1/(k \log e)) \log (fo - fc)$$

Menggunakan persamaan umum liner, $y = m X + C$, sehingga :

$$y = t$$

$$m = -1/(k \log e)$$

$$X = \log (f - fc)$$

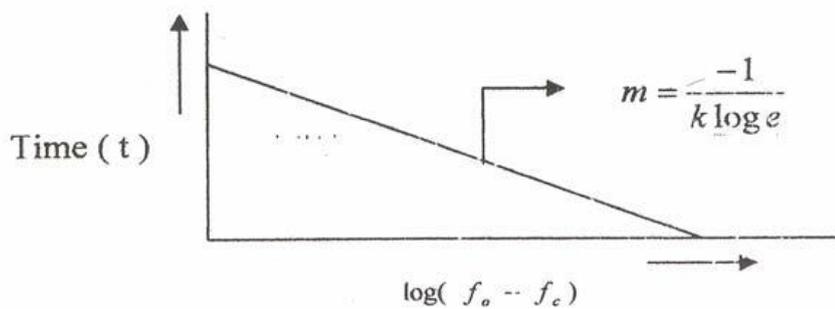
$$C = (1/k \log e) \log (fo - fc)$$

Mengambil persamaan, $m = -1/(k \log e)$, maka

$k = -1/(m \log e)$ atau $k = -1/(m \log 2,718)$

Atau $k = -1/0,434 m$ dimana $m =$ gradien

Dengan demikian persamaan ini dapat diwakilkan dalam sebuah garis lurus yang mempunyai nilai $m = -1/(k \log e)$. Bentuk dari garis lurus persamaan tersebut di perlihatkan dalam Gambar 1.



Gambar 1. Hubungan waktu (t) terhadap $\log (f_o - f_c)$

2.1.4 Rumus Umum

Rumus ini didapatkan dari materi kuliah Konstruksi Bangunan Gedung oleh Soegeng Djojowiriono tahun 1993.

$$f(t) = \frac{S_n \cdot b \cdot l}{(l \cdot b) + 2[(l + b) \cdot x(n - 0,5 S_n)]} \dots\dots\dots(2)$$

Dengan,

$f(t) =$ Laju Infiltrasi (cm/jam)

$S_n =$ Penurunan air ke- n , dimana $S_n = S (n+1)$

$b =$ Lebar galian (m)

$l =$ Panjang galian (m)

$h =$ Tinggi galian (m)

2.2 Permeabilitas Tanah

Permeabilitas tanah merupakan sifat bahan berpori yang memungkinkan aliran rembesan dari cairan yang berupa air mengalir melewati rongga pori yang menyebabkan tanah bersifat permeable.

Menurut Siswanto (2001), untuk aliran air satu dimensi pada lapisan tanah jenuh sempurna, digunakan rumus empiris Darcy :

$$q = A.k.i \text{ atau, } v = \frac{q}{A} = k.i \dots\dots\dots(3)$$

di mana q = volume aliran air per satuan waktu, A = luas penampang tanah yang dilewati air, k = koefisien permeabilitas, I = gradien hidrolik, dan V = kecepatan aliran (discharge velocity). Satuan koefisien permeabilitas sama dengan satuan kecepatan, yaitu m/detik.

Menurut Hardjoso dalam Rusli (1987), permeabilitas tanah dipengaruhi oleh beberapa hal, yaitu :

1. besar kecilnya ukuran pori-pori tanah
2. gradasi tanah (pembagian dan ukuran butir-butir tanah) dan kepadatannya
3. kadar air yaitu berat jenis dan kekentalannya
4. kadar udara diantara butir-butir padat

Menurut Asdak (1955), gaya yang menahan pergerakan air disebut kapasitas menahan air (*waterholding capacity*) dan diperlukan oleh gaya yang diperlukan untuk memisahkan air tanah. Air dapat bergerak dari tempat kering ke daerah basah seperti terjadi pada proses perkolasi air tanah. Oleh pengaruh energi panas

matahari, air juga dapat bergerak ke arah permukaan tanah, seperti tiba gilirannya menguap ke udara (proses evaporasi).

Tanah permeable disebut tanah yang mudah dilalui oleh air, sedangkan tanah impermeable adalah tanah yang sulit dilalui oleh air. Contoh tanah yang permeable adalah tanah pasir dan kerikil, oleh karena itu jenis tanah ini sangat cocok sekali untuk sistem drainase pipa dibawah muka tanah. Contoh tanah impermeable adalah tanah lempung murni, sehingga ini dihindari untuk kegunaan sistem drainase pipa. Tabel 1 dibawah ini memberikan beberapa jenis tanah dan koefisien permeabilitas tanah.

Tabel 1. Nilai koefisien permeabilitas tanah (Sumber: Verruijt 1970)

No.	Jenis Tanah	Koef. Permeabilitas (m/dt)
1	Lempung	$< 10^{-9}$
2	Lempung Berpasir	$10^{-9} - 10^{-8}$
3	Lempung Berlanau	$10^{-8} - 10^{-7}$
4	Lanau	$10^{-8} - 10^{-7}$
5	Pasir Sangat Halus	$10^{-6} - 10^{-5}$
6	Pasir Halus	$10^{-5} - 10^{-4}$
7	Pasir Kasar	$10^{-4} - 10^{-3}$
8	Pasir Berkerikil	$10^{-3} - 10^{-2}$
9	Kerikil	$> 10^{-2}$

2.3 Proses Limpasan (run off)

Menurut Asdak (1955), limpasan atau air larian (surface runoff) adalah bagian dari curah hujan yang mengalir di atas permukaan tanah menuju sungai, waduk dan lautan. Sebelum air dapat melimpas di atas permukaan tanah, curah hujan terlebih dahulu harus memenuhi keperluan air untuk evaporasi, intersepsi, infiltrasi dan berbagai bentuk cekungan tanah (surface detentions) dan bentuk penampung air lainnya. Proses limpasan terjadi ketika jumlah curah hujan melampaui laju infiltrasi air ke dalam tanah.

Daya infiltrasi menentukan besarnya air hujan yang dapat diserap ke dalam tanah. Sekali air hujan tersebut masuk ke dalam tanah maka tidak dapat diuapkan kembali dan tetap akan berada di bawah permukaan tanah yang akan mengalir sebagai air tanah. Aliran air tanah sangat lambat, makin besar laju infiltrasi mengakibatkan limpasan permukaan makin kecil sehingga debit puncaknya akan lebih kecil (Soemarto, 1995).

Faktor - faktor yang mempengaruhi limpasan secara umum dapat dikelompokkan menjadi 2 kelompok, yaitu faktor meteorologi dan karakteristik daerah aliran sungai (DAS). Faktor meteorologi yang berpengaruh pada limpasan terutama adalah karakteristik hujan, yang meliputi intensitas hujan, durasi hujan, dan distribusi curah hujan. Sedangkan karakteristik DAS yang berpengaruh besar pada aliran permukaan meliputi luas dan bentuk DAS, topografi, dan tata guna lahan (Asdak, 1995).

Menurut Sasongko (1985), di dalam perencanaan saluran drainase dan sumur resapan serta pengendalian air yang kecil, volume limpasan biasanya dianggap merupakan persentase dari curah hujan. Bila Persamaan 4 benar, maka suatu persamaan yang berbentuk :

$$R = k \times P \dots\dots\dots(4)$$

Metode ini tidak akan cukup rasional, karena koefisien limpasan (k) haruslah berubah-ubah menurut perubahan imbuhan DAS dan presitipasinya. Kelebihan persamaan di atas adalah akan meningkat bila persentase daerah yang kedap air lebih luas, sehingga mendekati satu. Pemecahan masalah dengan cara persentase atau koefisien ini paling cocok untuk drainase perkotaan dimana jumlah daerah yang kedap air cukup luas. Untuk curah hujan yang sedang, semua limpasan mungkin berasal dari daerah kedap air, sehingga nilai k akan sama dengan persentase daerah kedap air itu.

2.4 Pengisian Lengas Tanah (*soil moisture*) dan Air Tanah

Pengisian lengas tanah dan air tanah adalah penting untuk tujuan pertanian. Akar tanaman menembus daerah tidak jenuh dan menyerap air yang diperlukan untuk evapotranspirasi dari daerah tidak jenuh tadi. Pengisian kembali lengas tanah sama dengan selisih antara infiltrasi dan perkolasi (jika ada). Pada permukaan air tanah dangkal dalam lapisan tanah yang berbutir tidak begitu kasar, pengisian kembali lengas tanah ini dapat pula dari kenaikan kapiler air tanah. Pengisian kembali air tanah atau recharge, sama dengan perkolasi ditambah dengan kenaikan kapiler, jika ada. Oleh karenanya debit resapan air hujan menentukan

besarnya recharge. Faktor lain yang menentukan besarnya recharge adalah tinggi hujan tahunan, distribusi hujan dan evaporasi sepanjang tahun, intensitas hujan dan kedalaman permukaan air tanah. Kedalaman permukaan air tanah adalah penting dalam hubungannya dengan kenaikan kembali kapiler yang mengisi kembali air yang diuapkan didaerah lengas tanah (*soil moisture zone*) baik secara langsung atau lewat tanaman. Sebaliknya recharge air tanah mempengaruhi aliran dasar (*base flow*) sungai yang merupakan aliran minimum pada akhir musim kemarau. Dalam keadaan ini, debit sungai hanya terdiri dari aliran masuk (*inflow*) yang berasal dari air tanah.

2.5 Debit Masukan (Q_i) Akibat Air Hujan

Hujan yang terjadi mengakibatkan adanya air hujan yang kemungkinan sebagian besar menggenang dan mengalir di permukaan tanah (*run off*) dan sebagian kecil meresap kedalam lapisan tanah (*infiltrasi*).

Debit masukan adalah volume air yang mengalir masuk ke dalam sumur resapan tiap satuan waktu. Apabila sumur resapan dimaksudkan sebagai sarana drainase limpasan permukaan akibat hujan, maka debit masukan Q_i adalah debit limpasan permukaan dari suatu luasan tertentu. Jika sumur resapan itu adalah sarana drainase bangunan tempat tinggal, maka debit masukan Q_i adalah berupa debit air yang terkumpul dari permukaan penutup atap. Besarnya debit masukan dapat ditentukan dengan perencanaan empiris berdasarkan data hujan yang direkam. Meskipun kenyataannya besarnya debit dari awal hujan sampai akhir hujan adalah tidak tetap, akan tetapi dapat diambil nilai dominan sebagai pedoman perencanaan. Besarnya debit masukan ini sangat tergantung pada curah hujan

yang terjadi dan luasan yang hendak didrain. Curah hujan bergantung pada tinggi hujan dan durasinya, sedangkan permukaan penangkap hujan dipengaruhi oleh luas dan koefisien pengalirannya.

Penentuan besarnya debit masukan Q_i secara empiris yang bersifat praktis untuk luasan yang relatif kecil sebagaimana rumah tinggal adalah menggunakan metode rasional.

$$Q_i = C \times I \times A \dots\dots\dots(5)$$

dimana Q_i = debit dalam m^3/dt ; C = koefisien pengaliran permukaan, yang besarnya < 1 ; I = intensitas hujan; A = luas bidang tangkapan hujan.

Luasan bidang tangkapan hujan untuk bangunan tempat tinggal adalah berupa luas atap yang diukur secara horizontal. Untuk koefisien pengaliran (C), apabila tidak diukur langsung pada medan pengaliran yang dimaksud, maka dapat digunakan perkiraan nilai koefisien secara empiris berdasarkan hasil penelitian.

Tabel 2. Nilai koefisien aliran permukaan (C) untuk berbagai permukaan

Jenis Permukaan	Koef. Aliran Permukaan (C)
1. Bussines	
Daerah kota	0.70 - 0.95
Daerah pinggiran	0.50 - 0.70
2. Perumahan	
Daerah <i>Single Family</i>	0.30 - 0.50
<i>Multiunit</i> terpisah-pisah	0.40 - 0.60
<i>Multiunit</i> tertutup	0.60 - 0.75
<i>Sub Urban</i>	0.25 - 0.40
Daerah rumah-rumah Apartemen	0.50 - 0.70
3. Kawasan Industri	
Daerah industri ringan	0.50 - 0.80
Daerah industri berat	0.60 - 0.90
4. Atap	0.75 - 0.95
5. Pertamanan; kuburan	0.10 - 0.25
6. Jalan	
7. Aspal	0.75 - 0.95
8. Beton	0.80 - 0.95
9. Batu	0.70 - 0.85

Sumber: *Drainase Perkotaan 1997*

2.6 Distribusi Curah Hujan

Curah hujan yang diperlukan untuk penyusunan suatu rancangan pemanfaatan air dan rancangan pengendalian limpasan (run off) adalah curah hujan rata-rata di seluruh daerah yang bersangkutan, bukan curah hujan pada suatu titik tertentu.

Curah hujan ini disebut curah hujan wilayah /daerah dan dinyatakan dalam mm.

Curah hujan daerah ini harus diperkirakan dari beberapa titik pengamatan curah hujan. Ada beberapa cara perhitungan curah hujan daerah dari pengamatan curah hujan di beberapa titik, yaitu cara rata-rata aljabar, cara polygon thiessen, dan cara garis isohiet.

2.7 Evaporasi dan Evapotranspirasi

Menurut Asdak (1995), evaporasi adalah penguapan air dari permukaan air, tanah, dan bentuk permukaan bukan vegetasi lainnya oleh proses fisik. Dua unsur utama berlangsungnya evaporasi adalah energi (radiasi) matahari dan air. Mengukur besarnya evaporasi adalah salah satu hal paling sulit dilakukan dalam rangkaian daur hidrologi. Di daerah tropis pada umumnya, kehilangan air oleh proses evaporasi dan transpirasi dapat mempercepat terjadinya kekeringan dan penyusutan debit sungai pada musim kering. Proses evaporasi seperti telah disebutkan di atas tergantung pada jumlah air yang tersedia. Menentukan besarnya evaporasi (E_o) relatif lebih mudah daripada mengukur evapotranspirasi (ET). Di waduk misalnya, sekali air yang tersedia dalam waduk tersebut habis maka proses evaporasi akan berhenti. Pengukuran evaporasi dari permukaan badan air dilakukan dengan cara membandingkan jumlah air yang diukur antara dua waktu yang berbeda. Bila saat dilakukan pengukuran turun hujan, maka jumlah curah hujan pada saat tersebut juga perlu dipertimbangkan. Dalam praktisnya, analisis neraca air (water budget analisis) dapat dilakukan untuk mengukur besarnya evaporasi.

Evaporasi dari suatu waduk dalam kurun waktu yang berurutan dapat ditentukan dengan menggunakan persamaan matematik sebagai berikut :

$$E_o = I - O - dS \dots\dots\dots(6)$$

I = masukan air ke waduk ditambah curah hujan yang langsung jatuh pada permukaan waduk; O = air keluaran dari waduk ditambah rembesan air dalam tanah (*seepage*), dan dS = perubahan kapasitas tumpang waduk.

Sedangkan Hukum Dalton mengemukakan bahwa evaporasi air permukaan bebas sebanding dengan defisit kejenuhan dan kecepatan angin. Dari pernyataan tersebut, sebuah model persamaan untuk menduga evaporasi dari permukaan bebas telah dirumuskan sebagai berikut.

$$E_o = 0,35(e_s - e_a) \times (0,5 + 0.54 U_2) \dots\dots\dots(7)$$

Dimana :

- E_o = Aerodinamik evaporasi (mm/hari)
- e_s = Tekanan uap jenuh (mmHg)
- e_a = Tekanan uap aktual (mmHg)
- U_2 = Kecepatan angin pada ketinggian 2 m di atas permukaan (m/s)

Evapotranspirasi pada dasarnya dapat diartikan sebagai kebutuhan air tanaman. Richards (1952) dalam Heldiyana (1998) menyatakan bahwa banyaknya air yang diperlukan tanaman dipengaruhi antara lain oleh jenis tanaman, fase pertumbuhan, dan evapotranspirasi yang berhubungan dengan faktor lingkungan seperti iklim, kesuburan tanah, dan kelembaban tanah. Evapotranspirasi pada tanaman tertentu (ET_c) dihitung dengan menggunakan rumus:

$$ET_c = (ET_o) (K_c) \dots\dots\dots(8)$$

Dimana :

- ET_c = evapotranspirasi tanaman tertentu (mm/hari)
- ET_o = evapotranspirasi tanaman acuan (mm/hari)
- K_c = koefisien tanaman

Apabila nilai evapotranspirasi diukur dengan menggunakan panci evaporasi, maka dihitung dengan persamaan :

$$ET_o = K_p \times E_{pan} \dots\dots\dots(9)$$

Dimana :

ET_o = Evapotranspirasi acuan (mm/hari)

K_p = Koefisien panci

E_{pan} = Evaporasi panci (mm/hari)

Evapotranspirasi acuan (ET_o) dihitung berdasarkan persamaan FAO

Penman- Monteith (Allen dkk., 1998 dalam Vu dkk., 2005):

$$ET_o = \frac{0,408\Delta(R_n - G) + \gamma(900/T + 273)U_2(e_s - e_a)}{\Delta + \gamma(1 + 0,34U_2)} \dots\dots\dots(10)$$

dimana:

ET_o : evapotranspirasi tanaman acuan (mm/hari)

T : temperatur harian pada ketinggian 2 m ($^{\circ}C$)

U_2 : kecepatan angin pada ketinggian 2 m (m/s)

e_s : tekanan uap air jenuh (kPa)

e_a : tekanan uap air aktual (kPa)

$e_s - e_a$: deficit tekanan uap air (kPa)

γ : konstanta psikometrik (kPa/ $^{\circ}C$)

Δ : gradien tekanan uap air jenuh terhadap suhu udara (kPa/ $^{\circ}C$)

R_n : radiasi bersih (MJ m⁻² hari⁻¹)

G : panas spesifik untuk penguapan (MJ m⁻² hari⁻¹)

2.8 Perencanaan Sistem Sumur Resapan

Sistem sumur resapan air hujan adalah prasarana untuk menampung dan meresapkan air hujan ke dalam tanah (SNI 03-2453-2002). Konsep dasar sumur resapan pada hakekatnya adalah memberi kesempatan dan jalan bagi air hujan yang jatuh di atas suatu lahan untuk meresap ke dalam tanah dengan jalan menampung air tersebut pada suatu sistem resapan. Berbeda dengan cara konvensional dimana air hujan dibuang/dialirkan ke sungai kemudian diteruskan ke laut. Sumur resapan ini merupakan sumur kosong dengan kapasitas tampungan yang cukup besar sebelum air meresap ke dalam tanah. Dengan adanya tampungan, maka air hujan mempunyai cukup waktu untuk meresap ke dalam tanah, sehingga pengisian tanah menjadi optimal.

Menurut Maryono (2005), sumur resapan merupakan cara efektif untuk memasukkan limpasan air hujan ke dalam tanah. Teknologi sumur resapan sebenarnya merupakan perkembangan dari jogangan atau kolam-kolam yang biasa dibuat oleh para pendahulu untuk menahan dan meresapkan air hujan.

Metode memanfaatkan air hujan (*rain water harvesting*) ini di Indonesia belum berkembang. Air hujan sebenarnya merupakan air dengan kualitas cukup baik untuk berbagai keperluan dan mudah dimanfaatkan. Sumur resapan ini adalah salah satu metode memanen hujan, namun airnya langsung diresapkan ke dalam tanah, sehingga persediaan sumur-sumur air bersih pada musim kemarau masih mencukupi. Perancangan dimensi sumur resapan dilakukan berdasarkan prinsip keseimbangan air/kontinuitas antara air yang masuk ke dalam sumur dengan air yang meresap ke dalam tanah. Salah satu pemanfaatan sumur resapan ini dapat dilakukan untuk pekarangan rumah (Al Amin, 2010).

Menurut Rusli (2008), kedalaman sumur resapan dapat dihitung dari tinggi muka air tanah, biladasar sumur berada dibawah muka air tanah tersebut, dan diukur dari dasar sumurbila muka air tanah berada dibawahnya. Dasar ini seyogianya berada pada lapisantanah dengan permeabilitas besar.

2.8.1 Faktor Geometrik

Menurut Sunjoto dalam Rusli (2008), telah membuat suatu formula untuk analisis tinggi air dalam sumur yang kemudian formula tersebut dikembangkan lagi untukmempermudah menganalisis secara matematis. Formula tersebut didasarkan padaimbangan air dalam sumur dan diturunkan secara matematis dengan mendasarkan pada besaran “Faktor Geometri” yang lazim digunakan dalam equifer atau pengujian pompa dengan formula :

$$H = \frac{Q}{F.K} \left(1 - e^{-\frac{FKT}{\pi R^2}} \right) \dots\dots\dots(11)$$

Dengan:

H = Kedalaman efektif sumur (m)

Q = Debit air masuk (m³/det)

F = Faktor Geometrik (m)

K = Koefisien permeabilitas tanah = Laju Infiltrasi (m/det)

T = Waktu Pengaliran (Durasi dominan hujan), (det)

R = Radius sumur (m)

Tiga unsur yaitu bidang resap, volume tampungan dan ketinggian air, direncanakan secara bersamaan menjadi faktor geometrik sumur resapan. Jadi faktor geometrik adalah koefisien dalam perencanaan dimensi sumur resapan yang memperhitungkan kebutuhan akan bidang resap, gradien hidrolis, dan volume tampungan air, berdasarkan bentuk, ukuran dan konstruksi sumur resapan yang direncanakan.

Menurut Sunjoto dalam Pungut (1988), memformulasikan faktor geometrik untuk sumur resapan dasar porous dinding porous ini sebagai berikut:

$$f = \frac{2\pi(H + \frac{2}{3}R)}{\text{Ln}((\frac{H+2R}{R}) + \sqrt{(\frac{H}{R})^2 + 1})} \dots\dots\dots(12)$$

dalam hal ini f = koefisien faktor geometrik; R = ukuran jari-jari bangunan sumur resapan; H = ketinggian air di dalam bangunan sumur resapan.

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

2.8.2 Desain Konstruksi Sistem Sumur Resapan Air

Sumur resapan air merupakan rekayasa teknik konservasi air yang berupa bangunan yang dibuat sedemikian rupa sehingga menyerupai bentuk sumur gali dengan kedalaman tertentu yang berfungsi sebagai tempat menampung air hujan diatas atap rumah dan meresapkannya ke dalam tanah.

Manfaat yang dapat diperoleh dengan pembuatan sumur resapan air antara lain :

(1) mengurangi aliran permukaan dan mencegah terjadinya genangan air, sehingga memperkecil kemungkinan terjadinya banjir dan erosi, (2) mempertahankan tinggi muka air tanah dan menambah persediaan air tanah, (3) mengurangi atau menahan terjadinya intrusi air laut bagi daerah yang berdekatan dengan wilayah pantai, (4) mencegah penurunan atau amblasan lahan sebagai akibat pengambilan air tanah yang berlebihan, dan (5) mengurangi konsentrasi pencemaran air tanah. Sumur resapan air akan dapat berfungsi dengan baik, apabila didesain berdasarkan kondisi lingkungan dimana sumur tersebut akan dibuat. Desain sumur resapan air dalam hal ini meliputi bentuk, jenis konstruksi dan dimensi sumur resapan air.

Menurut SNI No. 02-2453-1991 Tentang Tata Cara Perencanaan Teknik Sumur Resapan Air Hujan Untuk Lahan Perkarangan diperlukan persyaratan teknis pemilihan lokasi dan jumlah sumur resapan pada pekarangan, persyaratan teknik meliputi :

1. Umum : dibuat pada lahan yang lolos air dan tahan longsor, bebas dari kontaminasi dan pencemaran limbah, untuk meresapkan air hujan, untuk daerah dengan sanitasi lingkungan yang tidak baik hanya digunakan menampung air hujan dari talang, mempertimbangkan aspek hidrologi, geologi dan hidrologi.
2. Pemilihan lokasi : keadaan muka air tanah dengan kedalaman pada musim hujan, permeabilitas yang diperkenankan 2 –12,5 cm/jam, jarak penempatan diperhitungkan dengan tangki septik tank 2 meter, resapan

tangki septik tank/cubluk/saluran air limbah 5 meter, sumur air bersih 2 meter.

3. Jumlah : penentuan jumlah sumur resapan air ditentukan berdasarkan curah hujan maksimum, permeabilitas dan luas bidang tanah.

Dalam mendesain dimensi konstruksi sumur resapan air untuk kawasan perumahan terdapat tiga parameter utama yang perlu diperhatikan yaitu : permeabilitas tanah, curah hujan, dan luas atap rumah/permukaan kedap air. Permeabilitas tanah dapat kita tentukan berdasarkan hasil pengukuran langsung di lokasi permukiman dengan *Metode Auger Hole Terbalik*. Data permeabilitas tanah ini diperlukan untuk menentukan volume sumur resapan air yang akan dibuat. Curah hujan diperlukan untuk menentukan dimensi sumur resapan air. Data curah hujan harian yang diperlukan selama minimal 5 tahun pengamatan (diperoleh dari stasiun hujan terdekat). Pengukuran luas atap rumah didasarkan atas luas permukaan atap yang merupakan tempat curah hujan jatuh secara langsung di atasnya.

Sedangkan untuk mendesain bentuk dan jenis konstruksi sumur resapan air diperlukan parameter sifat-sifat fisik tanah yang meliputi infiltrasi, tekstur tanah, struktur tanah, dan pori drainase (Mulyana, 1998).

2.8.3 Bentuk dan Ukuran Konstruksi Sumur Resapan Air

Bentuk dan ukuran konstruksi SRA sesuai dengan SNI No. 03-2459-1991 yang dikeluarkan oleh Departemen Kimpraswil adalah berbentuk segi empat atau silinder dengan ukuran minimal diameter 0,8 meter dan maksimum 1,4 meter dengan kedalaman disesuaikan dengan tipe konstruksi SRA.

Pemilihan bahan bangunan yang dipakai tergantung dari fungsinya, seperti plat beton bertulang tebal 10 cm dengan campuran 1 Pc : 2 Psr : 3 Krl untuk penutup sumur dan dinding bata merah dengan campuran spesi 1 Pc : 5 Psr tidak diplester, tebal $\frac{1}{2}$ bata. Data teknis sumur resapan air yang dikeluarkan oleh PU Cipta Karya adalah sebagai berikut :

1. Ukuran maksimum diameter 1,4 meter
2. Ukuran pipa masuk diameter 110 mm
3. Ukuran pipa pelimpah diameter 110 mm
4. Ukuran kedalaman 1,5 sampai dengan 3 meter
5. Dinding dibuat dari pasangan bata atau batako dari campuran 1 semen : 4 pasir tanpa plester
6. Rongga sumur resapan diisi dengan batu kosong 20/20 setebal 40 cm
7. Penutup sumur resapan dari plat beton tebal 10 cm dengan campuran 1 semen : 2 pasir : 3 kerikil.