BAB III
LANDASAN TEORI

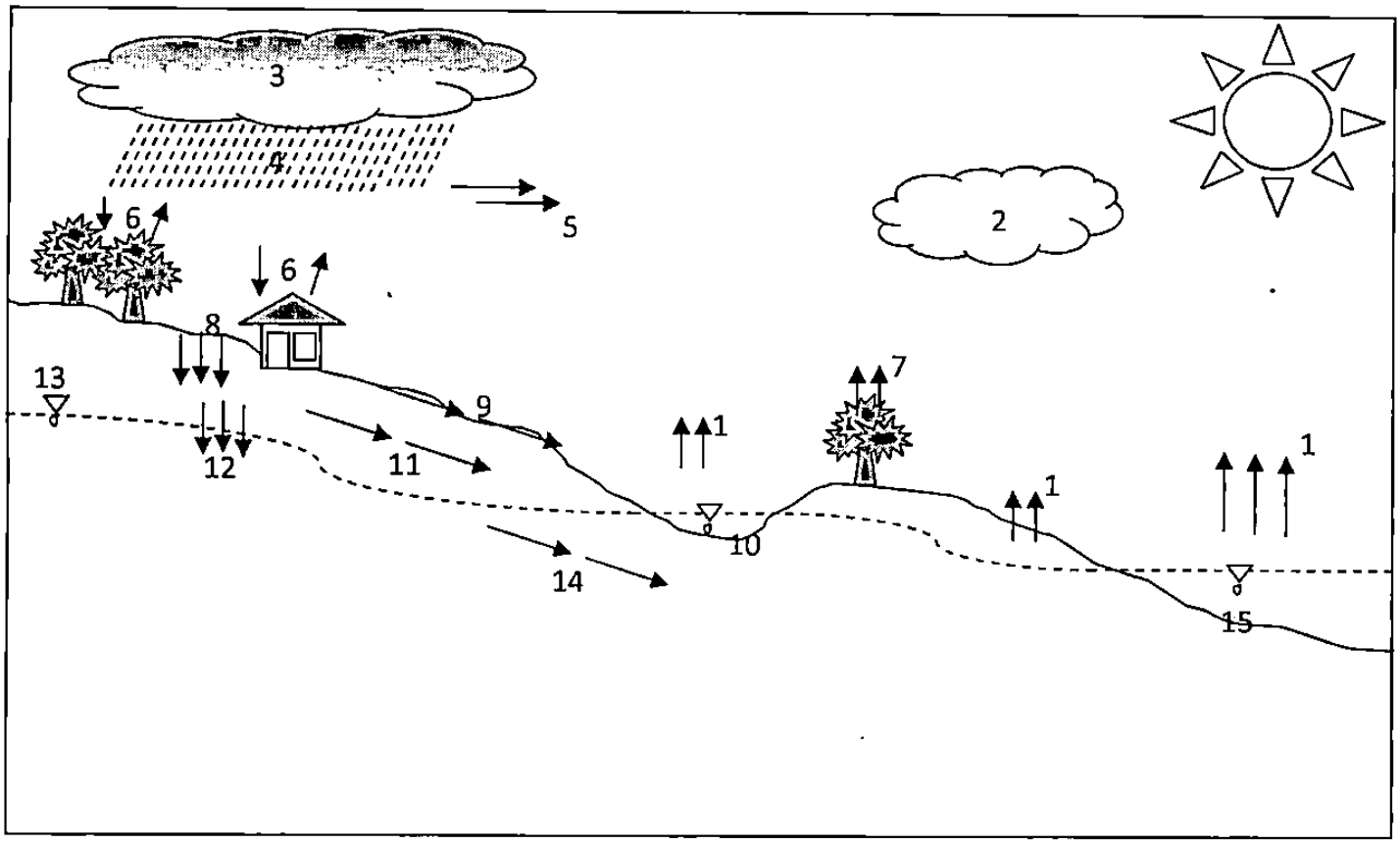
A. Hidrologi

Hidrologi adalah suatu ilmu tentang kehadiran dan gerakan air di alam kita ini. Secara luas hidrologi meliputi berbagai bentuk air, termasuk transformasi antara keadaan cair, padat, dan gas dalam atmofsfir diatas dan dibawah permukaan. Didalamnya terncakup air yang merupakan sumber dan penyimpanan air yang mengaktifkan kehidupan di planet bumi ini (Soemarto, 1999). Untuk keperluan praktis bahasan hidrologi hanya dibatasi beberapa aspek saja yang dipandang cukup memberikan jawaban akan beberapa persoalan tentang air. Salahsatu yang memberikan batasan pengertian hidrologi adalah *Federal Council for Sience and technology USA*, yang menyatakan bahwa hidrologi adalah ilmu tentang seluk beluk air dibumi, kejadiannya , peredarannya dan distribusinya, sifat alami dan kimianya, serta reaksi terhadap kehidupan manusia (Chow , 1964 dalam Harimawan, 2002).

Dengan batasan di atas dapat difahami bahwa cakupan bahasan cukup luas, namun penggunaan ilmu hidrologi umumnya lebih banyak dikaitkan dengan upaya untuk memperoleh berbagai infomasi tentang sifat dan besarnya air pada suatu daerah tinjauan tertentu.

Secara umum peranan ilmu hidrologi adalah untuk menganalisis karakteristik keberadaan air tentang jumlah, waktu, dan tempat serta persoalan yang terkait dengan rencana pemamfaatan suber daya air. Selanjutnya hasil analisis tersubut merupakan masukan untuk menyusun petunjuk perencanaan dan pengelolaan sumber daya air.

Daur atau siklus hidrologi adalah gerakan air laut ke udara, kemudian jatuh ke permukaan tanah, dan akhirnya mengalir ke laut kembali (Soemarto, 1999). Digambarkan secara skema pada Gambar 3.1



Gambar 3.1 Siklus Hidrologi

Keterangan :

1. Penguapan (*evaporation)*
2. Awan
3. Awan penyebab hujan
4. Hujan (*rainfall*)
5. Penguapan kembali
6. Intersepsi
7. Transpirasi
8. Infiltrasi (*infiltration*)
9. Aliran limpasan
10. Aliran permukaan
11. Aliran antara (*interflow*)
12. Perkolasi (*percolation*)
13. Muka air tanah
14. Aliran air tanah (*groundwater flow*)
15. Laut

Air laut menguap karena radiasi matahari menjadi awan kemudian awan yang terjadi oleh penguapan air bergerak di atas daratan karena tertiup angin. Presipitasi yang terjadi karena adanya tabrakan antara butir-butir uap air akibat desakan angin, dapat berbentuk hujan atau salju. Setelah jatuh ke permukaan tanah, akan menimbulkan limpasan (*run off*) yang mengalir kembali ke laut. Dalam usahanya untuk kembali ke laut beberapa di antaranya masuk kedalam tanah (infiltrasi) dan bergerak terus ke bawah (perkolasi) ke dalam daerah jenuh (*saturated zone*) di

bawah permukaan yang terdapat di bawah permukaan air tanah atau yang juga dinamakan permukaan freatik. Air dalam ini bergerak perlahan-lahan melewati akuifer masuk ke sungai atau kadang-kadang langsung masuk ke laut.

Air yang masuk ke dalam tanah *(infiltrasi)* memberi hidup kepada tumbuhan namun ada diantaranya naik ke atas lewat akuifer diserap akar dan batangnya, sehingga terjadi transpirasi, yaitu evaporasi (penguapan) lewat tumbuhan-tumbuhan melalui bagian bawah daun (stomata).

Air yang tertahan di permukaan tanah (*surface detention*) sebagian besar mengalir masuk ke sungai-sungai sebagai limpasan permukaan (*surface runoff*) ke dalam palung sungai.

Permukaan sungai dan danau juga mengalami penguapan (evaporasi), sehingga masih ada lagi air yang dipindahkan menjadi uap. Akhirnya, air yang tidak menguap ataupun mengalami infiltrasi tiba kembali ke laut lewat palung-palung sungai. Air tanah yang bergerak jauh lebih lambat mencapai laut dengan jalan keluar melewati alur-alur masuk ke sungai atau langsung merembes ke pantai-pantai dengan demikian seluruh daur telah dijalani, kemudian berulang lagi (Soemarto, 1999).

B. Presipitasi (Hujan)

1. Gambaran Umum

Prsipitasi adalah curahan atau jatuhnya air dari atmosfer ke permukaan bumi dan laut dalam bentuk yang berbeda, yaitu curah hujan di daerah tropis dan curah hujan serta salju di daerah beriklim sedang. Mengingat bahwa di daerah tropis presipitasi dalam konteks daerah tropis adalah sama dengan curah hujan. Presipitasi adalah faktor utama yang mengendalikan proses daur hidrologi di suatu DAS. Terbentuknya ekologi, geografi dan tata guna lahan di suatau daerah sebagian besar ditentukan atau tergantung pada fungsi daur hidrologi dan, dengan demikian, presipitasi merupakan kendala sekaligus kesempatan dalam usaha pengelolaan sumber daya tanah dan air (Asdak, 2007).

Besarnya angka presipitasi (yang berbentuk hujan) di tempat yang satu dengan yang lain tidak sama, artinya besar angka presipitasi berubah-ubah menurut lokasinya. Hujan akan terjadi apabila berat butir-butir air hujan lebih besar daripada gaya tekan udara ke atas.

Syarat yang harus terpenuhi agar terjadi proses pembentukan hujan:

a. Tersedia udara lembab
b. Tersedia sarana (keadaan yang dapat mengangkat udara tersebut ke atas, sehingga terjadi kondensasi) (Harimawan, 2002).

2. Penakar Hujan

Satuan hujan adalah dalam mm, sedangkan analisa yang sering dipakai Intensitas hujan adalah mm/jam. Penakar hujan merupakan salah satu alat yang digunakan untuk menentukan besarnya curah hujan. Besarnya presipitasi diukur dengan menggunakan alat penakar curah hujan yang umumnya terdiri atas dua jenis yaitu alat penakar hujan tidak otomatis dan alat penakar hujan otomatis.

Penakar hujan merupakan salah satu alat yang dapat digunakan untuk penentuan curah hujan. Penakar hujan biasa merupakan penakar hujan yang mudah dilakukan untuk mendapatkan data curah hujan di lapangan secara sederhana (Soemarto, 1999).

$$d = \frac{V}{A} \qquad \text{.....(3.1)}$$

dengan,

d : Hujan, yaitu banyaknya atau jumlah hujan yang dinyatakan dalam ketebalan air di atas Tinggi permukaan datar (mm),

V : Volume air hujan, yaitu besarnya volume air hujan yang tertampung

Kemudian setelah didapatkan data mengenai tinggi hujan, selanjutnya dicari data mengenai intensitas hujan yang dapat dihitung dengan menggunakan rumus berikut (Soemarto, 1999).

$$i = \frac{d}{t} \qquad \text{.....(3.2)}$$

dengan,

i : Intensitas hujan, yaitu laju curah hujan dengan tinggi air per satuan waktu (mm/menit). Derajat hujan dan intensitas curah hujan dapat dilihat dalam tabel 3.1.

d : Tinggi hujan, yaitu banyaknya atau jumlah hujan yang dinyatakan dalam ketebalan air di atas permukaan datar (mm),

t : Lama waktu hujan atau durasi hujan, yaitu lama curah hujan yang terjadi (menit atau jam).

Tabel 3.1. Derajat Curah Hujan dan Intensitas Curah Hujan.

Derajat hujan	Intensitas curah hujan (mm/menit)	Kondisi
Hujan sangat lemah	< 0,02	Tanah agak basah atau dibasahi sedikit.
Hujan lemah	0,02 – 0,05	Tanah menjadi basah semuanya, tetapi sulit membuat puddel
Hujan normal	0,05 – 0,25	Dapat dibuat puddle dan bunyi curah hujan kedengaran.
Hujan deras	0,25 – 1	Air tergenang diseluruh permukaan tanah dan bunyi keras hujan kedengaran dari genangan.
Hujan sangat deras	1	Hujan seperti ditumpahkan, saluran dan drainasi meluap.

Sumber : Sosrodarsono, 1993

Penakar hujan biasanya seperti yang sudah diuraikan sebelumnya hanya untuk mendapatkan data curah hujan di suatu tempat pada titik tertentu (*point rainfall*). Jika

dalam suatu area terdapat beberapa alat penakar hujan, maka dapat diambil nilai rata-rata untuk menentukan nilai curah hujan (Soemarto, 1999).

C. Evapotrasnpirasi dan Intersepsi

Evapotranspirasi adalah keseluruhan jumlah air yang berasal dari permukaan tanah, air dan vegetasi yang diuapkan kembali ke atmosfer. Dengan kata lain, besarnya evapotranspirasi adalah jumlah evaporasi (penguapan air berasal dari permukaan tanah), intersepsi (penguapan kembali air hujan dari permukaan tajuk vegetasi) dan transpirasi (penguapan air tanah ke atmosfer melalui vegetasi). Beda antara intersepsi dan transpirasi adalah bahwa pada proses intersepsi air yang diuapkan kembali ke atmosfer tersebut adalah air hujan yang tertampung sementara pada tajuk dan bagian lain pada vegetasi, sedangkan transpirasi adalah penguapan air yang berasal dari dalam tanah melalui tajuk vegetasi sebagai hasil proses fisiologi vegetasi (Seomanto, 1999).

Intersepsi air hujan (*rainfall interception loss*) adalah proses ketika air hujan jatuh pada permukaan vegetasi, tertahan beberapa saat, untuk kemudian diuapkan kembali ("hilang") ke atmosfer atau diserap oleh vegetasi yang bersangkutan. Proses intersepsi terjadi selama berlangsungnya curah hujan dan setelah hujan berhenti sampai permukaan tajuk vegetasi menjadi kering kembali. Setiap kali hujan jatuh di daerah bervegetasi, ada sebagian hujan yang tak pernah mencapai permukaan tanah, dan dengan demikian, tidak berperan dalam membentuk kelembaban tanah, air larian atau air tanah. Air tersebut akan kembali lagi ke udara sebagai air intersepsi tajuk, seresah dan tumbuhan bawah.

Besarnya air hujan yang terintersepsi merupakan fungsi dari :

a. Karakteristik hujan

b. Jenis, umur dan kerapatan tegakan

c. Musim pada tahun yang bersangkutan

Umumnya antara 10 % sampai 20 % dari total jumlah hujan akan terintersepsi oleh suatu tegakan pada musim pertumbuhan. Pada vegetasi yang sangat rapat kehilangan air hujan oleh proses intersepsi dapat mencapai 25 - 35 %. Intersepsi umumnya besar pada hujan tidak lebat. Sejalan dengan bertambahnya curah hujan, maka jumlah air terintersepsi menjadi semakin kecil.

D. Tata Guna Lahan (*Land Use)*

Tata guna lahan atau penggunaan lahan *(land use)* adalah setiap bentuk campur tangan (intervensi) manusia terhadap lahan dalam rangka memenuhi kebutuhan hidupnya baik material maupun spiritual (Vink, 1975). Penggunaan lahan dapat dikelompokkan ke dalam dua kelompok besar yaitu penggunaan lahan pertanian dan penggunaan lahan bukan pertanian (*www.damandiri.or.id/file/ronilaipbbab2.pdf*).

Alih fungsi atau perubahan penggunaan lahan adalah bertambahnya suatu penggunaan lahan dari satu sisi penggunaan ke penggunaan yang lainnya diikuti dengan berkurangnya tipe penggunaan lahan yang lain dari suatu waktu ke waktu berikutnya, atau berubahnya fungsi suatu lahan pada kurun waktu yang berbeda (Wahyunto *et al.*, 2001 dalam *www.damandiri.or.id/file/ronilaipbbab2.pdf*).

Kawasan penduduk berupa pemukiman yang padat mempunyai pengaruh besar dalam keseimbangan siklus hidrologi di daerah aliran sungai. Kepadatan rumah tinggal secara langsung meningkatkan kekedapan permukaan tanah dan berdampak pada berkurangnya kapasitas infiltrasi saat hujan turun. Sebagian besar limpasan permukaan pada kawasan ini dikumpulkan dan dialirkan melalui saluran drainasi konvensional menuju sungai (*body water*) sehingga beban yang ditampung oleh sungai mengalami kenaikan dan berisiko banjir.

E. Infiltrasi

1. Gambaran umum

Menurut Soemanto Infiltrasi adalah perpindahan air dari atas ke dalam permukaan tanah, sedangkan daya infiltrasi ($f\rho$) adalah laju infiltrasi maksimum yang dimungkinkan, yang ditentukan oleh kondisi permukaan, termasuk lapisan atas tanah. Besarnya daya infiltrasi dinyatakan dalam mm/jam. Kebalikan dari infiltrasi adalah rembesan (*seepage*). Perkolasi merupakan gerakan air ke bawah dari zone tidak jenuh (antara di bawah permukaan air). Infiltrasi berpengaruh terhadap saat mulai terjadinya aliran permukaan dan juga berpengaruh terhadap laju aliran permukaan (*runoff*).

Infiltrasi mempunyai arti penting terhadap beberapa hal (Soemarto, 1999) berikut ini:

a. Proses limpasan (*run off*)

Daya infiltrasi menentukan banyaknya air hujan yang dapat diserap ke dalam tanah. Sekali air hujan tersebut masuk ke dalam tanah ia dapat diuapkan kembali atau dapat juga mengalir sebagai air tanah. Aliran air tanah berjalan sangat lambat. Semakin besar daya infiltrasi, perbedaan antara intensitas hujan dengan daya infiltrasi menjadi makin kecil. Akibatnya limpasan permukaannya makin kecil sehingga debit puncaknya juga akan lebih kecil.

b. Pengisian lengas tanah (*soil moisture*) dan air tanah

pengisian lengas tanah dan air tanah penting untuk tujuan pertanian. Akar tanaman menembus zone tak jenuh dan menyerap air yang diperlukan untuk evapotranpirasi dari zona jenuh tadi. Pengisian kembali lengas tanah sama dengan selisih antara infiltrasi dengan perkolasi (jika ada). Pada permukaan air tanah yang dangkal dalam lapisan tanah yang berbulir tidak begitu besar. Pengisian lengas tanah ini dapat pula diperoleh dari kenaikan kapiler tanah

2. Faktor-faktor yang mempengaruhi daya infiltrasi ($f\rho$)

Menurut Soemarto (1999), faktor-faktor yang mempengaruhi daya infiltrasi ($f\rho$) antara lain:

a. Dalamnya genangan di atas permukaan tanah (*surface detention*) dan tebal lapisan jenuh

Infiltrasi air melalui permukaan tanah pada sebuah daerah genangan dapat diumpamakan sama dengan aliran lewat di atas pipa-pipa yang sangat kecil, dalam jumlah yang sangat besar.

b. Kadar air dalam tanah

Jika pada saat hujan keadaan tanah masih sangat kering, maka di dalam tanah akan terjadi tarikan kapiler searah dengan gravitasi sehingga memberikan f_p yang lebih tinggi. Jika air mengalami perkolasi ke bawah, lapisan permukaan tanah menjadi setengah jenuh, yang menyebabkan mengecilnya gaya-gaya kapiler sehingga besarnya f_p akan menurun.

Jika sebelum turun hujan, permukaan tanahnya sudah lembab, f_p akan lebih rendah jika dibandingkan dengan permukaan tanah yang semula kering. Suatu tanah berbutir halus yang dapat digolongkan sebagai koloid, bila terkena air dan menjadi basah akan mengembang. Pengembangan tersebut mengakibatkan berkurangnya volume pori-pori (*micro voids*), sehingga daya infiltrasinya akan mengecil pula. Ini merupakan alasan mengapa tanah yang berbutir halus f_p akan lebih cepat mengecil dengan bertambahnya durasi hujan.

c. Pemampatan oleh curah hujan

Gaya pukulan butir-butir air hujan terhadap permukaan tanah akan

tanah yang lebih halus di lapisan permukaan tanah akan terpencar dan masuk ke dalam ruang-ruang antar, sehingga terjadi efek pemampatan. Permukaan tanah yang terdiri dari lapisan yang bercampur tanah liat akan menjadi kedap air karena dimampatkan oleh pukulan butir-butir air hujan tersebut. Tetapi tanah pasir (*sandy soil*) tanpa campuran bahan-bahan lain tidak akan dipengaruhi oleh gaya pukulan butir-butir hujan itu. Pemampatan oleh injakan orang atau binatang dan lalu lintas kendaraan sangat mempengaruhi penurunan daya infiltrasi.

d. Tumbuh-tumbuhan

Lindungan tumbuh-tumbuhan yang padat misalnya rumput atau hutan cenderung untuk meningkatkan *fp,* ini disebabkan oleh sistem akar yang padat yang menembus ke dalam tanah, lapisan sampah (*debris)* organik dari daun-daun atau akar-akar dari sisa-sisa tanaman yang membusuk membentuk permukaan empuk *(sponge like surface*), binatang-binatang dan serangga-serangga pembuat liang membuka jalan ke dalam tanah dari pukulan butir-butir hujan dan dengan transpirasi tumbuh-tumbuhan mengambil air dari dalam tanah sehingga memberikan ruangan bagi proses infiltrasi berikutnya.

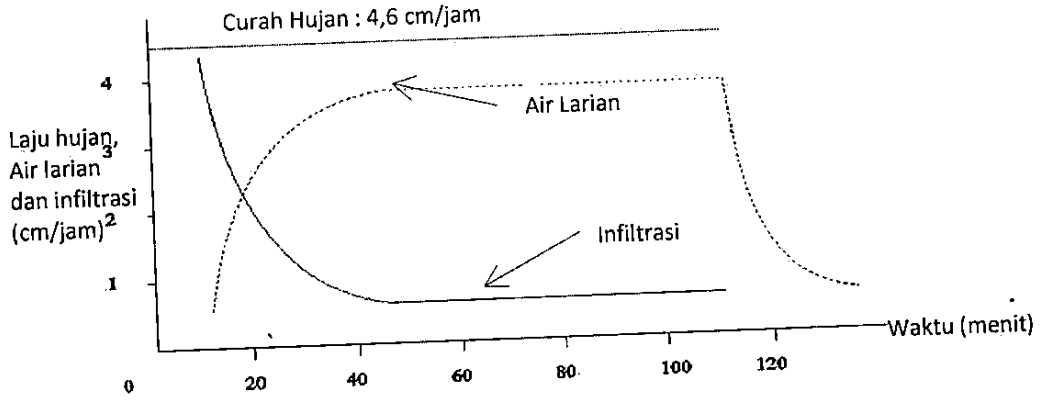
e. Lain-lain

Rekahan-rekahan tanah akibat kekeringan akan menaikkan daya infiltrasi pada awal musim hujan. Sebaliknya udara yang terperangkap di antara butir-butir tanah dapat menurunkan daya infiltrasi. Demikian pula kekentalan air yang dipengaruhi oleh suhu tanah dapat pula mempengaruhi besarnya daya infiltrasi.

Seperti yang telah diuraikan di atas, bahwa daya infiltrasi menurun selama waktu hujan sebagai akibat dari :

1) Pemampatan permukaan tanah oleh pukulan butir-butir air hujan
2) Mengembangnya tanah liat dan partikel-partikel humus oleh lembabnya tanah
3) Tersumbatnya pori-pori oleh masuknya butir-butir tanah yang lebih kecil
4) Terperangkapnya udara dalam pori-pori
5) Pemampatan permukaan tanah oleh pukulan butir-butir air hujan
6) Mengembangnya tanah liat dan partikel-partikel humus oleh lembabnya tanah
7) Tersumbatnya pori-pori oleh masuknya butir-butir tanah yang lebih kecil
8) Terperangkapnya udara dalam pori-pori

Data infiltrasi umumnya digambarkan dalam bentuk kurva seperti tampak pada Gambar 3.2. Gambar tersebut menunjukkan hubungan laju infiltrasi dan air larian yang umum dijumpai pada hujan buatan dengan intensitas tetap (Asdak, 2002)



Gambar 3.2 Kurva Hubungan Air Larian dan Infiltrasi Pada Human Buatan dengan Intensitas Tetap (Asdak, 2007)

F. Limpasan Permukaan

1. Gambaran umum

Limpasan permukaan adalah air yang mengalir di atas permukâan sepanjang waktu (Soemarto, 1999). Definisi lain dalam lampiran Keputusan Menteri Energi Dan Sumber Daya Mineral (2000), limpasan permukaan adalah air yang mencapai sungai tanpa mencapai permukaan air bawah tanah, yakni curah hujan dikurangi sebagian dari besarnya infiltrasi, air yang tertahan dan genangan; dengan dimensi (panjang^3/waktu), misal (liter/detik).

2. Koefesien limpasan

Koefisien aliran permukaan adalah bilangan yang menunjukkan perbandingan antara besarnya aliran permukaan dan besarnya curah hujan (Asdak, 2007). Secara sistematis nilai koefisien dirumuskan sebagai berikut :

$$\text{Koefisien Limpasan (C)} = \frac{\text{Limpasan permukaan (mm)}}{\text{[illegible]}} \qquad (3.3)$$

Tabel III.2 Nilai Koefisien Aliran Permukaan Pada Berbagai Jenis Lahan

Deskripsi lahan / Karakter permukaan		Koefesien Limpasan (C)
Perumahan		
Rumah tunggal		0,30 - 0,50
Multiunit, terpisah		0,40 - 0,60
Multiunit, tergabung		0,60 - 0,75
Perkampungan		0,25 - 0,40
Apartemen		0,50 - 0,70
Perkerasan		
Aspal dan beton		0,70 - 0,95
Batu bata, paving		0,50 - 0,70
Atap		0,75 - 0,95
Halaman, tanah pasir		
Datar,	2%	0,05 - 0,10
Rata-rata,	2 - 7%	0,10 - 0,15
Curam,	7%	0,15 - 0,20
Halaman, tanah berat		
Datar,	2%	0,13 - 0,17
Rata-rata,	2 - 7%	0,18 - 0,22
Curam,	7%	0,22 - 0,35
Taman tempat bermain		0,20 - 0,35
Taman, pekuburan		0,10 - 0,25

Sumber : McGuen (1989 dalam Suripin, 2004)

Pada DAS dengan berbagai tata guna lahan yang berbeda dapat ditetapkan dengan mengambil rata-rata berdasarkan bobot luasnya. Menurut Chow (1988, dalam Barid, 2001 dalam Yusteni, 2002) untuk menghitung cara tersebut digunakan persamaan sebagai berikut :

$$Cr = \frac{(C_1 \text{ x } A_1) + (C_2 \text{ x } A_2) + ... + (C_n \text{ x } A_n)}{A_{Total}} \quad ..... \quad (3.4)$$

dengan,

Cr : koefesien limpasan permukaan (tansspa satuan),

A_1 : luas tipe tata guna lahan ke-1 (m^2),

C_1 : nilai koefesien limpasan permukaan tipe tata guna lahan ke-1 (tanpa satuan),

A_2 : luas tipe tata guna lahan ke-2 (m^2),

C_2 : nilai koefesien limpasan permukaan tipe tata guna lahan ke-2 (tanpa satuan),

A_n : luas tipe tata guna lahan ke-n (m^2),

C_n : nilai koefesien limpasan permukaan tipe tata guna lahan ke-n (tanpa satuan),

A_{Total} : total luas area (m^2).

Besarnya nilai koefesien limpasan permukaan (C) dari tiap tipe tata guna lahan ditampilan pada Tabel III.2

Menurut Sosrodarsono (1993), terdapat dua kelompok faktor-faktor yang berhubungan dengan limpasan, antara lain :

a. Elemen-elemen meteorologi

1) Jenis presipitasi

Pengaruhnya terhadap limpasan sangat berbeda, yang tergantung pada jenis presipitasnya yakni hujan atau salju. Jika hujan maka pengaruhnya adalah langsung dan hidograf itu hanya dipengaruhi intensitas curah hujan dan besarnya curah hujan.

2) Intensitas curah hujan

Pengaruh intensitas curah hujan pada limpasan permukaan tergantung dari kapasitas infiltrasi. Jika intensitas curah hujan melampaui kapasitas infiltrasi, maka besarnya limpasan permukaan akan segera meningkat sesuai dengan peningkatan intensitas curah hujan. Akan tetapi besarnya peningkatan limpasan itu tidak sebanding dengan peningkatan curah hujan yang lebih, yang disebabkan oleh efek penggenangan di permukaan tanah.

3) Lamanya curah hujan

Di setiap daerah aliran terdapat suatu lamanya curah hujan yang kritis. Jika lamanya curah hujan itu kurang dari lamanya yang kritis, maka lamanya limpasan itu praktis akan sama dan tidak tergantung dari intensitas curah hujan.

4) Arah pergerakan curah hujan

Umumnya pusat curah hujan bergerak, curah hujan lebat yang bergerak sepanjang sistem aliran sungai akan sangat mempengaruhi debit puncak dan lamanya limpasan permukaan.

5) Curah hujan terdahului dan kelembaban tanah

Jika kadar kelembaban lapisan teratas tanah tinggi, maka akan mudah terjadi banjir karena kapasitas infiltrasi yang kecil.

b. Elemen daerah pengaliran

1) Kondisi penggunaan tanah (*Land use*)

Daerah hutan yang ditutupi tumbuh-tumbuhan yang lebat adalah sulit mengadakan limpasan karena kapasitas infiltrasinya yang besar.

Jika daerah hutan ini dijadikan daerah pembangunan dan dikosongkan, maka kapasitas infiltrasi akan turun karena pemampatan permukaan tanah.

2) Daerah pengaliran

Jika semua faktor-faktor termasuk besarnya curah hujan, intensitas curah hujan dan lain-lain itu tetap, maka limpasan itu (yang dinyatakan dengan dalamnya air rata-rata) selalu sama, dan tidak tergantung dari luas daerah pengaliran.

3) Kondisi topografi dalam daerah pengaliran

Corak daerah pengaliran adalah faktor bentuk, yakni perbandingan panjang sungai utama terhadap lebar rata-rata daerah pengaliran. Jika faktor bentuk menjadi lebih kecil dengan kondisi skala perbandingan yang sama, maka hujan lebat yang merata akan berkurang dengan perbandingan sama sehingga sulit akan terjadi banjir. Elevasi daerah pengaliran dan elevasi rata-rata mempunyai hubungan yang penting terhadap suhu dan curah hujan. Demikian pula gradiennya mempunyai hubungan dengan infiltrasi, limpasan permukaan, kelembaban dan pengisian air tanah. Gradien daerah pengaliran adalah faktor penting yang mempengaruhi waktu mengalirnya aliran permukaan, waktu konsentrasi ke sungai dari curah hujan dan mempunyai hubungan langsung terhadap debit banjir.

4) Jenis tanah

Mengingat bentuk butir-butir tanah, coraknya dan cara mengendapnya adalah faktor-faktor yang menentukan kapasitas infiltrasi, maka karakteristik limpasan itu sangat dipengaruhi oleh jenis tanah daerah pengaliran itu.

G. Pengukuran Debit Aliran

1. Metode volumetrik

Metode volumetrik adalah metode pengukuran debit aliran dengan cara mencatat waktu yang diperlukan untuk mengisi tempat ukur debit yang kapasitasnya dapat diketahui atau dapat dihitung. Metode ini cukup teliti apabila kapasitas debit yang diukur kecil.

Besarnya debit aliran yang terjadi dapat ditentukan dengan menggunakan

$$Q = \frac{V}{t} \qquad \text{.....(3.5)}$$

dengan,

Q : Debit aliran (liter/detik),

V : Volume aliran yang tertampung pada tempat ukur debit (liter),

t : Waktu pengisian tempat ukur debit (detik)

Pengukuran debit dengan cara volumetrik dapat dilakukan apabila aliran yang terjadi pada saluran memusat pada satu titik, sehingga seluruh aliran dapat tertampung dalam tempat ukur debit.

2. Persamaan Debit Aliran

Persamaan debit aliran menyatakan bahwa volume aliran air yang melalui saluran tiap satu satuan waktu adalah sama disemua tampang. Hal ini biasanya terjadi apabila aliran yang mengalir kontinu. Persamaan ini dinyatakan sebagai berikut :

$$Q = A \cdot v \qquad \text{.....(3.6)}$$

dengan,

Q : Debit aliran (liter/detik),

A : Luas tampang basah (dm^2),

v: Kecepatan aliran (dm/detik),

H. Tanah

1. Gambaran umum

Dalam pandangan teknik sipil, tanah adalah himpunan mineral, bahan organik, dan endapan-endapan yang relatif lepas *(loose)*, yang terletak di atas batuan dasar *(bedrock)*. Ikatan antar butiran yang relatif lemah dapat disebabkan oleh karbonat, zat organik atau oksida-oksida yang mengendap di antara butiran tersebut.

Kebanyakan jenis tanah terdiri dari banyak campuran lebih dari satu macam ukuran partikelnya. Tanah lempung belum tentu terdiri dari partikel lempung saja. Akan tetapi, dapat bercampur dengan butiran-butiran ukuran lanau maupun pasir dan mungkin juga terdapat campuran bahan organik. Ukuran tanah dapat bervariasi dan lebih besar dari 100 mm sampai dengan lebih kecil dari 0,001 mm (Hardiyatmo, 2002).

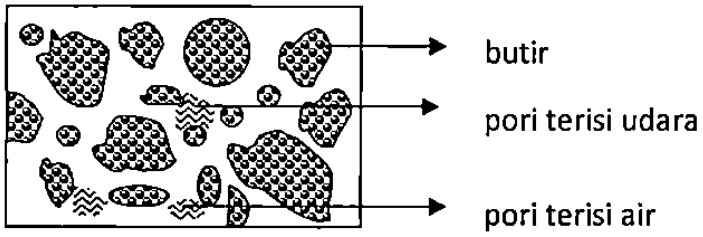
2. Komponen-komponen tanah

a. Pada kondisi normal

Tanah terdiri atas beberapa bagian, yaitu :

1) Butiran-butiran (*solid* = padat)

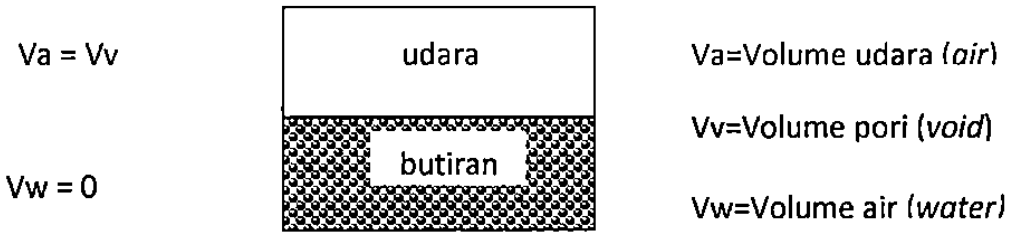
2) Ruang pori (*void*), bisa berisi : udara (*air*), air (*water*) atau udara + air



Gambar 3.3. Komponen Tanah (Widianti, 2004).

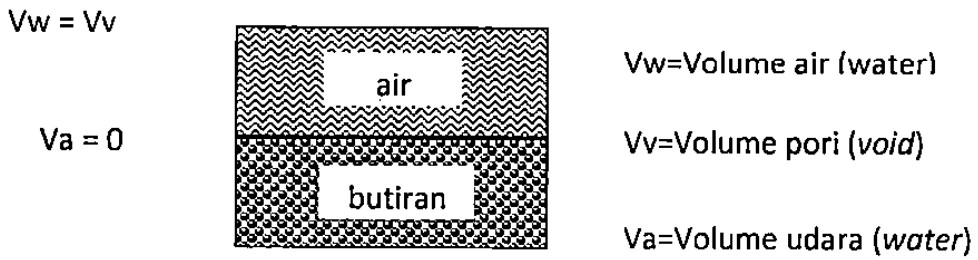
b. Pada kondisi khusus

1) Pada kondisi kering, seluruh pori dari tanah terisi udara, sehingga komponen tanah hanya terdiri dari udara dan butiran.



Gambar 3.4. Komponen Tanah Kering (Widianti, 2004)

2) Pada kondisi jenuh / kenyang air, seluruh pori dari tanah terisi air, sehingga komponen tanah hanya terdiri dari air dan butiran.



Gambar 3.5. Komponen Tanah Jenuh (Widianti, 2004).

Pada umumnya komponen tanah menggambarkan kondisi lapisan tanah akibat pengaruh pergerakan air. Sebelum turun hujan kondisi tanah pada lapisan permukaan adalah kering sehingga mempunyai daya resap yang tinggi terhadap air yang mengalir di permukaan. Kondisi sebaliknya terjadi pada saat hujan deras, komponen tanah sebagian telah terisi air sehingga daya resap lebih kecil.

Indikasi banyaknya jumlah air dalam suatu lapisan tanah dapat ditentukan oleh besarnya nilai kadar air tanah. Kadar air adalah perbandingan antara berat air dari tanah dengan berat butiran tanah. Nilainya dinyatakan dalam prosen (%). Semakin besar nilai kadar air maka semakin kecil daya infiltrasinya.

3. Jenis-jenis tanah

Klasifikasi tanah sangat diperlukan untuk memberi gambaran atau mengidentifikasikan mengenai sifat-sifat tanah guna perencanaan dan pelaksanaan suatu pekerjaan struktur. Berdasarkan parameter berat jenis tanahnya, maka jenis tanah dikelompokkan seperti pada Tabel 3.3

Tabel 3.3 Jenis Tanah Berdasarkan Berat Jenis Tanah.

Macam tanah	Berat jenis (G)
Kerikil Pasir	2,65 – 2,68
Lanau tidak organik	2,65 – 2,68
Lempung organik	2,62 – 2,68
Lempung tak organik	2,58 – 2,65
Humus	2,68 – 2,75
Gambut	1,37
	1,25 – 1,80

Sumber : Hardiyatmo, 2002

I. Media pada Model Infiltrasi

Fungsi dari penggunaan media dalam model infiltrasi adalah untuk membantu model infiltrasi dalam mempercepat penyerapan air ke dalam tanah dan mengurangi daya gerus air terhadap tanah pada saat air limpasan masuk dan saat air meluap. Salah satu media yang dapat digunakan adalah pasir dan rumput jepang (*Zuysia Matrella*).

Pasir merupakan tanah berbutir halus. Menurut system USCS (*Unified Soil Classification System*) pasir termasuk dalam jenis halus (Ukuran butir 0,075 – 4,75 atau tanah yang jika < 50% butirannya lolos no 200). Hal ini berarti bahwa air bisa melewati celah-celah pasir dengan kecepatan 10^{-2}-10 mm/detik, seperti yang dapat dilihat pada Tabel 3.4. Kemampuan kerikil dalam meloloskan air lebih cepat daripada kemampuan pasir maupun butiran yang lebih halus. Hal ini dikarenakan butiran kerikil yang relatif cukup besar membuat butiran satu dengan yang lainnya tidak menyatu dan membentuk banyak celah – celah sehingga air dapat dengan cepat mengalir melalui celah – celah tersebut.

Tabel 3.4. Nilai Permeabilitas Tanah pada Temperatur 20°C.

Jenis Tanah	*k* (mm/detik)
Butiran kasar	$10 - 10^{3}$
Kerikil halus, butiran kasar bercampur pasir butiran sedang	10^{-2}-10
Pasir halus, lanau berlempung	10^{-4}-10^{-2}
Lanau padat, lanau berlempung	10^{-5}-10^{-4}
Lempung berlanau, lempung	10^{-8}-10^{-4}

Sumber : Hardiyatmo, 2002

Rumput Jepang (*Zuysia Matrella)* merupakan rumput menahun membentuk bahan jerami yang rapat dengan tunas yang merayap dibawah tanah atau sebagian diatas tanah. Dari tunas tersebut tumbuh sejumlah batang tegak, tinggi 0,1-0,4m. batang pada pangkalnya kebanyakan berambut lebat dengan sangat pendek, helaian daun bentuk garis, kaku, kerap kali dengan ujung yang kelancipannya 0,1-0,3cm. tumbuh ditanah periodik sangat mengering, kerap kali pada tanah yang sangat mengering, kerap kali pada tanah yang mengandung lumpur dan asin.

J. Sumberdaya Air Permukaan

Pada dasarnya potensi air permukaan tersebar pada berbagai badan air, diantaranya sungai, danau atau situ, waduk, dan rawa, serta area genangan alami yang lain. Permasalahan sumberdaya air permukaan yang diangkat dalam penelitian ini adalah air permukaan pada saluran drainase dan sungai akibat hujan langsung. Model infiltrasi dalam penelitian ini dimaksudkan untuk menurunkan limpasan permukaan akibat hujan langsung sebelum sampai ke saluran drainase sehingga beban drainase dan beban sungai berkurang. Pengurangan beban aliran tersebut dialihkan menjadi proses infiltrasi.

Drainasi berasal dari bahasa inggris *drainage* mempunyai arti mengalirkan, menguras, membuang, atau mengalirkan air. Dalam bidang teknik sipil, drainasi secara umum dapat didefinisikan sebagai suatu tindakan teknis untuk mengurangi kelebihan air, baik yang berasal dari air hujan, rembesan maupun kelebihan air irigasi dari suatu kawasan atau lahan, sehingga fungsi kawasan atau lahan tidak terganggu (Suripin, 2004).

Beberapa hal yang harus diperhatikan agar drainasi dapat berfungsi secara optimal meliputi (Aziz, 2003):

a. Perencanaan drainasi harus sedemikian rupa, sehingga fungsi drainasi sebagai penampung, pembagi, dan pembuang air dapat sepenuhnya tepat guna dan berhasil.
b. Pemilihan dimensi dari fasilitas jaringan harus mumpertimbangkan factor ekonomi dan factor keamanan.
c. Perencanaan drainasi harus mempertimbangkan pula segi kemudahan dan nilai ekonomisnya terhadap pemeliharaan system drainasi tersebut.
d. Pemeliharaan terhadap jaringan drainasi yang sudah ada harus benar-benar

Sampai saat ini, daya tampung dan penampang melintang sebuah saluran drainasi direncanakan dengan memperkirakan potensi jumlah debit limpasan permukaan pada suatu tata guna lahan akibat hujan. Dengan kata lain beban drainasi maksimum terjadi pada saat turun hujan dengan intensitas yang tinggi dan durasi waktu yang lama. Kemudian beban tersebut dialirkan menuju badan air. Apabila sebagian besar dasar dari saluran drainasi perkotaan didesain kedap air. Dapat dibayangkan betapa besarnya beban yang diterima oleh sungai yang berada di dekat sebuah kawasan pemukiman. Beberapa konsep drainasi, yakni :

1. Drainasi konvensional

Drainasi konvensional adalah upaya membuang atau mengalihkan air kelebihan secepat-cepatnya ke sungai terdekat. Bahkan drainasi konvensional sering diartikan sebagai upaya pengeringan kawasan. Konsep masterplan drainasi kota dan kawasan pemukiman di seluruh Indonesia yang digunakan sampai sekarang pada umumnya masih konsep drainasi konvensional (Maryono, 2005).

Konsep mengalihkan air secepat-cepatnya ke sungai berakibat resiko banjir di kawasan tengah dan hilir daerah aliran sungai semakin tinggi. Upaya pengeringan kawasan dengan membuang kelebihan air ke sungai berarti juga menurunkan kesempatan bagi air untuk meresap ke dalam tanah, sehingga cadangan air tanah akan berkurang. Apabila peristiwa ini terjadi maka akan terjadi kekeringan dimusim kemarau.

2. Drainasi ramah lingkungan

Pemahaman baru sebagai jawaban dari penanggulangan kekeringan dan bencana banjir, akibat pemakaian konsep drainasi konvensional adalah dikembangkannya drainasi ramah lingkungan. Menurut Maryono (2005) drainasi ramah lingkungan didefinisikan sebagai upaya mengelola air kelebihan dengan

cara sebesar-besarnya diresapkan ke dalam tanah secara alamiah atau mengalirkan ke sungai dengan tanpa melampaui kapasitas sungai sebelumnya.

Beberapa metode drainasi ramah lingkungan yang dipakai di Indonesia antara lain metode kolam konservasi, metode sumur resapan, metode *river side polder* dan metode pengembangan areal perlindungan air tanah (*ground water protection area*).

Macam-macam drainasi yang ramah lingkungan yaitu:

a. *Low Impact Development* (LID)

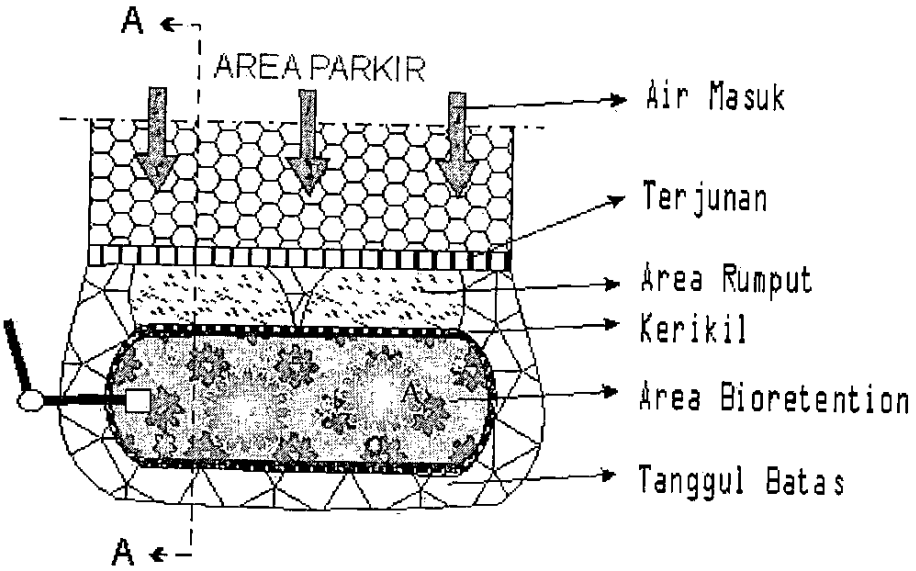
Low impact development (LID) merupakan suatu pembaharuan dalam pengelolaan air dengan prinsip dasar terbuat dari alam (natural). Pengembangan LID dimulai dengan memperkenalkan *Bioretention system* pada pertengahan tahun 1980-an di daerah Prince George, Maryland. Desain LID digunakan untuk menghilangkan polutan-polutan dari air dan mengurangi volume *run-off* atau limpasan (Anonim, 1999 dalam Lukito, 2007). Beberapa cabang LID antara lain:

i). Bioretention System

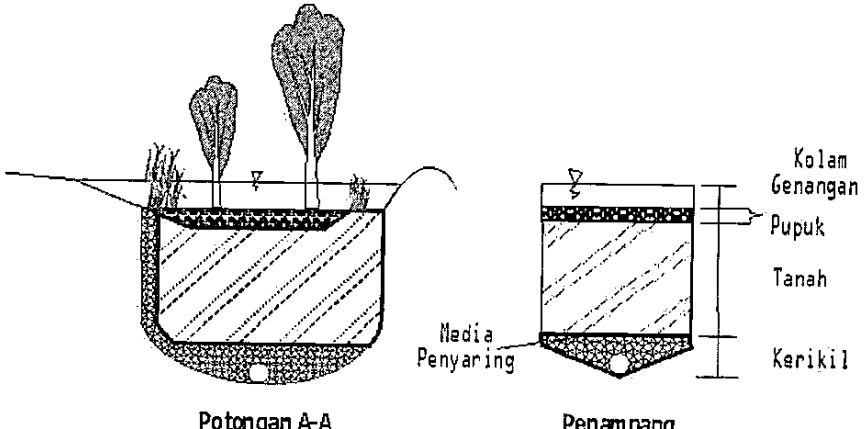
Penelitian ini terilhami oleh system drainasi yang dikembangkan oleh Negara-negara maju sebagai contoh yaitu Amerika Serikat, yang sangat tepat bila diterapkan pada system drainasi di Indonesia karena setiap tahunnya selalu terjadi banjir, terutama di Ibu Kota Indonesia yaitu Jakarta yang sering terjadi akhir-akhir ini.

Bioretention System didesain untuk mengurangi limpasan permukaan yang menggunakan lapisan humus dan pasir sebagai media penyerapnya.

karena telah diketahui bahwa media-media tersebut merupakan media yang mudah dialiri air, sehingga memudahkan proses infiltrasi yang terjadi. Berikut adalah sketsa disain dari *Bioretention System* yang akan dikembangkan kali ini.



Tampak Atas



Dari Gambar 3.7 dan Gambar 3.8 di atas dapat dijelaskan bahwa *Bioretention system* dan *infiltration trenches* memiliki :

1). *Ponding* atau kolam dimaksudkan untuk tempat tampungan limpasan pada area yang cekung sehingga dapat mengurangi luberan limpasan berlebih.

2). *Non-wooven filter fabric* yaitu tempat penyaring air yang dapat diisi dengan berbagai media penyaring.

3). *Sand* atau pasir, merupakan jenis media penyerap air yang mudah dialiri air, sehingga diharapkan mampu menyerap air limpasan dengan cepat.

4). *Clean stone* atau kerikil, yang juga merupakan media penyerap air yang baik karena butiran-butiran satu dengan yang lainnya tidak menyatu sehingga air cepat mengalir melalui celah-celah butiran.

5). *Mulch* atau pupuk, dalam hal ini adalah humus yang merupakan tanah hasil sisa pembakaran sampah organik.

6). Tumbuhan pendek (perdu) yang juga merupakan penyerap air melalui akar-akarnya dimana prosesnya mempercepat dalam proses penyerapan air limpasan.

Beberapa manfaat yang dapat diperoleh dari sistem LID tersebut, antara lain adalah sebagai berikut:

1). Biaya perawatan yang murah, karena sisten ini tidak memerlukan banyak perwatan.

2). Mengurangi volume limpasan pada saluran drainasi.

3). Menambah ketinggian muka air tanah dan melindungi kesempurnaan

4). Sebagai pencagaran air (*water conservation*).

5). Idealnya untuk area *Impervious* yang tinggi, seperti area parker.

7). Desain dan pemeliharaan *Bioretention* dapat menjadi sutu keindahan yang menyenangkan dari tipe-tipe lain; dengan kata lain bahwa *Bioretention System* tidak hanya di desain untuk mengurangi limpasan permukaan, tetapi juga untuk menghasilkan suatu keindahan.

Sistem LID ini juga memiliki keterbatasan antara lain :

1). Tidak dapat digunakan untuk memperlakukan area drainasi yang luas sehingga membatasi penggunaannya pada beberapa tempat.

2). Cenderung untuk membutuhkan wilayah yang luas (sekitar 5% area yang akan dikeringkan).

3). Dengan menggunakan *Bioretention System* dalam suatu desain parkir, dapat mengurangi jumlah dari area parkir yang dapat digunakan.

4). Biaya konstruksi bisa sangat relatif tinggi jika dibandingkan dengan praktek *Stormwater* yang lain.