

## BAB III

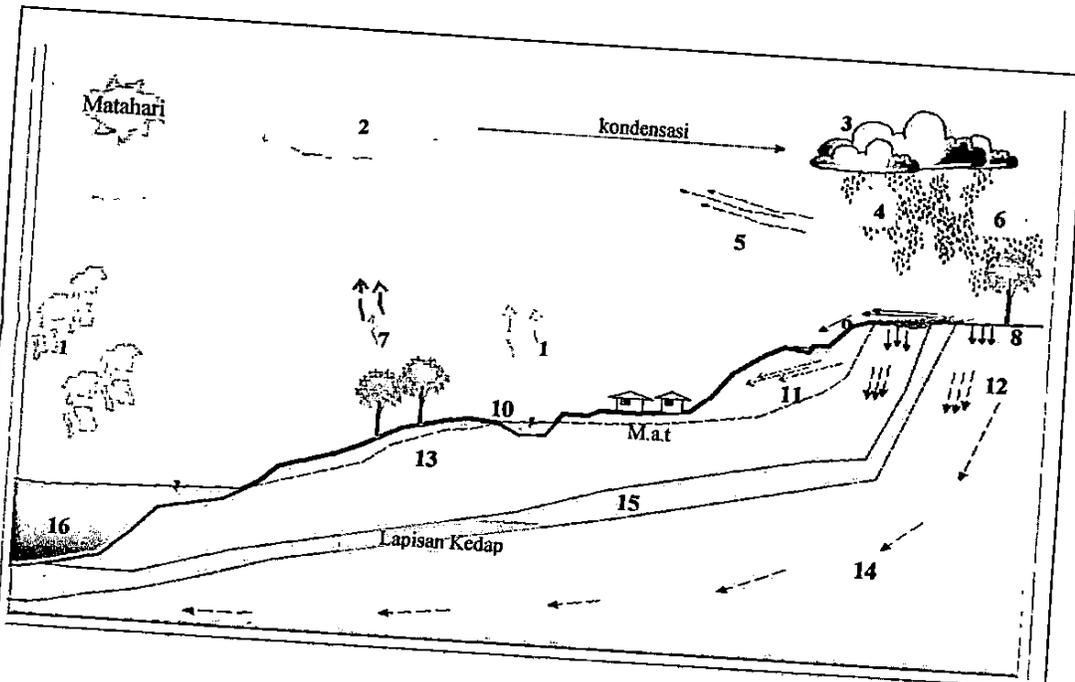
### LANDASAN TEORI

#### A. Hidrologi

Hidrologi adalah suatu ilmu yang menjelaskan tentang gerakan air di muka bumi, meliputi air, yang menyangkut perubahan-perubahannya antara keadaan cair, padat, dan gas dalam atmosfer, di atas dan di bawah permukaan tanah. Di dalamnya tercakup pula air laut yang merupakan sumber dan penyimpanan air yang mengaktifkan kehidupan di planet bumi ini (Soemarto, 1986 dalam Febriansyah, 2007). Salah satu definisi lain yang memberikan batasan pengertian hidrologi adalah oleh *Federal Council for Science and Technology USA* (Chow, 1964) yang menyatakan bahwa hidrologi adalah ilmu tentang seluk beluk air di bumi, kejadiannya, peredarannya dan distribusinya, sifat alami dan kimianya, serta reaksinya terhadap kehidupan manusia.

Secara umum peranan ilmu hidrologi adalah untuk analisis karakteristik keberadaan air tentang jumlah, waktu, serta persoalan yang terkait dengan rencana pemanfaatan sumber daya air. Selanjutnya hasil analisis tersebut merupakan masukan untuk menyusun petunjuk perencanaan dan pengelolaan sumber daya air. Analisis hidrologi dilakukan untuk dapat menterjemahkan perilaku alam untuk dapat digunakan untuk mengartikan, menetapkan, dan memperkirakan besaran-besaran alam tersebut dalam berbagai keadaan dan rentang waktu tertentu. Dalam hal ini berarti bahwa analisis hidrologi akan didasarkan pada data yang tersedia, yang memberikan gambaran perilaku sistem, dan akan menggunakan hasil analisis

untuk mengekstrapolasikan informasi hidrologi tersebut untuk masa-masa berikutnya.



Keterangan :

- |                                       |  |
|---------------------------------------|--|
| 1. Penguapan ( <i>evaporation</i> )   | 9. Aliran limpasan                               |
| 2. Awan                               | 10. Aliran permukaan                             |
| 3. Awan penyebab hujan                | 11. Aliran antara ( <i>interflow</i> )           |
| 4. Hujan ( <i>rainfall</i> )          | 12. Perkolasi ( <i>percolation</i> )             |
| 5. Penguapan kembali                  | 13. Muka air tanah                               |
| 6. Intersepsi                         | 14. Aliran air tanah ( <i>groundwater flow</i> ) |
| 7. Transpirasi                        | 15. Lapisan kedap air                            |
| 8. Infiltrasi ( <i>infiltration</i> ) | 16. Laut   |

Gambar 3.1 Siklus Hidrologi (Fitriansyah, 2008)

Siklus hidrologi adalah suatu peristiwa gerakan air yang tidak pernah berhenti berdaur dari lautan ke atmosfer, yang menguap sebagai akibat dari penyinaran matahari, uap air bergerak melewati daratan kemudian turun sebagai salju, butiran es, dan hujan di atas daratan sampai pada akhirnya air pun mengalir kembali ke laut. Sebagian massa air yang terangkat ke atas permukaan bumi

melalui proses penguapan (*evaporasi*) di laut dan di sebagian kecil permukaan bumi, yaitu berupa penguapan dari tampungan air di sungai, waduk, permukaan tanah serta transpirasi dari tanaman.

Proses penguapan dapat terjadi karena adanya pemanasan oleh matahari sebagai sumber energi bagi alam. Uap air yang terangkat ke atas atmosfer dan melalui proses kondensasi dapat terbentuk butiran awan, akibat berbagai sebab klimatologi tertentu dapat membawa butir awan tersebut ke atas daratan membentuk awan hujan (*rain cloud*). Tidak semua butir awan hujan tersebut akan jatuh sampai di permukaan bumi sebagai hujan, ukuran butir awan hujan yang tidak cukup berat untuk melawan gaya gesekan dan gaya tekan udara ke atas akan melayang dan di uapkan kembali menjadi awan. Bagian yang sampai di bumi dikatakan sebagai hujan (*precipitation*) yang sebagian akan tertahan oleh tanaman dan bangunan yang akan diuapkan kembali. Bagian ini merupakan air hujan yang tak terukur dan disebut intersepsi (*interception*). Bagian yang sampai di permukaan tanah akan mengalir sebagai limpasan permukaan (*overland flow*) menuju ke tampungan aliran berupa saluran atau sungai menuju laut. Sebelum sampai di saluran atau sungai limpasan permukaan tersebut akan mengalami proses infiltrasi ke bawah permukaan tanah yang sebagian akan bergerak terus ke bawah merupakan air perkolasi menuju zona tampungan air tanah (*aquifer, ground water storage*) dan sebagian lain bergerak mendatar di bawah permukaan tanah sebagai *subsurface flow* atau aliran antara (*interflow*) menuju ke saluran, tampungan waduk, danau, sungai atau laut. Seringkali bagian yang melimpas menuju alur sungai disebut dengan aliran permukaan tanah (*surface runoff*).

Beberapa proses alam tersebut berjalan secara terus menerus membentuk daur

hidrologi. Secara kuantitatif daur hidrologi membentuk proses imbangan air (*water balance*) secara global (Ananto, 2002).

## 1. Infiltrasi

Infiltrasi adalah proses masuknya air kedalam tanah melalui rongga atau pori tanah. Kecepatan aliran air dalam tanah tergantung dari gradasi dan jenis tanahnya, sehingga antara lokasi satu dengan lokasi lainnya berbeda-beda. Semakin besar butiran tanah maka semakin besar juga daya resap tanah, hal ini disebabkan karena pori tanahnya juga semakin besar dan sebaliknya.

Infiltrasi sangat berperan penting dalam siklus hidrologi, dan berfungsi sebagai pengatur keseimbangan antara limpasan permukaan (*surface runoff*) dan aliran dasar (*base flow*).

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.

Alibetnya limpasan permukaannya makin kecil sehingga debit puncaknya

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

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

Menurut Triatmodjo (2009), faktor-faktor yang mempengaruhi daya infiltrasi 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 diatas pipa-pipa yang sangat kecil, dalam jumlah yang sangat besar (Soemarto,1999).

b. Kelembaban tanah

Adalah jumlah kadar air tanah yang mempengaruhi kapasitas infiltrasi. Ketika air jatuh pada tanah kering, permukaan atas dari tanah tersebut menjadi basah, sedang bagian bawahnya relatif masih kering. Dengan demikian terdapat perbedaan yang besar dari gaya kapiler antara permukaan atas tanah dan yang ada dibawahnya. Karena adanya perbedaan

berat, sehingga air bergerak ke bawah (infiltrasi) dengan cepat. Dengan bertambahnya waktu, permukaan bawah tanah menjadi basah, sehingga perbedaan gaya kapiler berkurang, mengakibatkan infiltrasi berkurang. Selain itu, ketika tanah menjadi basah koloid yang terdapat dalam tanah akan mengembang dan menutupi pori-pori tanah, sehingga mengurangi kapasitas infiltrasi pada periode awal hujan.

#### c. 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 kebawah, lapisan permukaan tanah menjadi setengah jenuh, yang menyebabkan mengecilnya gaya-gaya kapiler sehingga besarnya  $f_p$  akan turun.

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 (Soemarto, 1999).

#### d. Jenis tanah

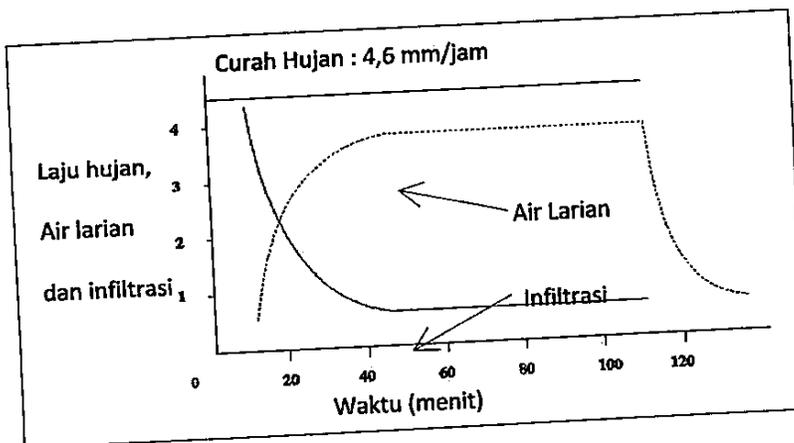
Bentuk butir-butir tanah, coraknya dan cara mengendapnya merupakan faktor yang menentukan kapasitas infiltrasi. Tanah berbutir

kasar mempunyai rongga atau pori-pori lebih besar sehingga lebih mudah meloloskan air (*permeable*) dibandingkan tanah butir halus (Hardiyatmo,1992).

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.

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, 2007).



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

## 2. HUJAN (*Presipitasi*)

Hujan (*presipitasi*) adalah curahan atau turunnya 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. Pemakaian Istilah *presipitasi* dalam konteks daerah tropis adalah sama dengan curah hujan (Asdak, 2007).

Fenomena turunnya air hujan (*presipitasi*) diyakini menjadi hal terpenting bagi kelanjutan hidup semua ekosistem di bumi, karena hal ini berkaitan langsung dengan daur hidrologi yang merupakan bagian utama dalam pertumbuhan makhluk hidup secara umum dan perkembangan tingkat peradaban manusia pada khususnya.

Ada tiga faktor utama untuk terjadinya hujan (Asdak, 2007) yaitu:

- a. Kenaikan massa uap air ketempat yang lebih atas sampai saatnya atmosfer menjadi jenuh.
- b. Terjadinya kondensasi atas partikel-partikel uap air kecil di atmosfer.
- c. Partikel-partikel uap air tersebut bertambah besar sejalan dengan waktu untuk kemudian jatuh ke bumi dan permukaan laut (sebagai hujan) karena gaya gravitasi.

Setiap penampang terbuka yang sisi-sisinya vertikal merupakan suatu alat ukur hujan yang dapat digunakan, akan tetapi mengingat pengaruh kecepatan angin dan percikan yang berubah-ubah, pengukuran tersebut tidak dapat dibandingkan kecuali bila ukuran dan bentuk penampung tadi sama dan dengan penerapan (*eksposur*) yang sama pula (Linsley dkk 1999)

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).

Tinggi hujan ( $d$ ) dan volume hujan dapat dihitung dengan rumus sebagai berikut:

$$d = \frac{V}{A} \dots \dots \dots (3.1)$$

$$V = I \times A \times t \dots \dots \dots (3.2)$$

Kemudian setelah didapat data mengenai tinggi hujan, selanjutnya di cari data mengenai intensitas hujan yang dapat dihitung dengan menggunakan rumus berikut (Soemarto, 1999) :

$$I = \frac{d}{t} \dots \dots \dots (3.3)$$

Keterangan:

- $d$  : 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)
- $I$  : Intensitas hujan, yaitu laju curah hujan dengan tinggi air per satuan waktu (mm/menit)

V : Volume air hujan, yaitu, besarnya volume air hujan yang tertampung dalam gelas ukur

A : Luas permukaan corong gelas ukur ( $\text{mm}^2$ ).

Derajat curah hujan dan intensitas hujan dapat dilihat pada Tabel 3.1 dibawah ini.

Tabel 3.1 Derajat curah hujan dan intensitas curah hujan

Keadaan Hujan	Intensitas Hujan (mm)		Kondisi
	1 Jam	24 Jam	
Hujan sangat ringan	<1	< 5	Tanah agak basah atau dibasahi sedikit
Hujan ringan	1-5	5-20	Tanah menjadi basah semuanya, tetapi sulit membuat <i>puddel</i>
Hujan normal	5-10	20-50	Dapat dibuat <i>puddle</i> dan bunyi curah hujan kedengaran
Hujan lebat	10-20	50-100	Air tergenang diseluruh permukaan tanah dan bunyi keras hujan kedengaran dari genangan
Hujan sangat lebat	>20	>100	Hujan seperti ditumpahkan, saluran dan drainasi meluap.

Sumber : Triatmodjo, 2009

Intensitas curah hujan dapat dilihat dalam tabel 3.1. 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).

### 3. Evapotranspirasi 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.

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 (Asdak, 2007).

#### **4. Limpasan Permukaan**

Limpasan permukaan adalah air yang mengalir di atas permukaan sepanjang waktu (Soemarto, 1999). Definisi lain menurut Asdak (2007), limpasan permukaan adalah bagian dari curah hujan yang mengalir di atas permukaan tanah menuju ke sungai, danau dan lautan. Air hujan yang jatuh ke

permukaan tanah ada yang langsung masuk ke dalam tanah, sebagian lagi tidak sempat masuk ke dalam tanah dan oleh karenanya mengalir di atas permukaan tanah ke tempat yang lebih rendah. Ada juga bagian air hujan yang telah masuk ke dalam tanah, terutama pada tanah yang hampir atau telah jenuh, air tersebut ke luar ke permukaan tanah lagi dan lalu mengalir ke bagian yang lebih rendah.

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 :

$$\text{Koefisien Limpasan (C)} = \frac{\text{Limpasan permukaan (mm)}}{\text{Curah Hujan (mm)}} \dots\dots\dots (3.3)$$

Tabel 3.2 Nilai Koefisien Aliran Permukaan Pada Berbagai Jenis Lahan

Deskripsi lahan / Karakter permukaan	Koefisien Limpasan (C)
<b>Perumahan</b>	
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
<b>Perkerasan</b>	
Aspal dan beton	0,70 - 0,95
Batu bata, paving	0,50 - 0,70
Atap	0,75 - 0,95
<b>Halaman, tanah pasir</b>	
Datar, 2%	0,05 - 0,10
Rata-rata, 2 - 7%	0,10 - 0,15
Curam, 7%	0,15 - 0,20
<b>Halaman, tanah berat</b>	
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)

Menurut Sosrodarsono (1993), aliran sungai itu tergantung dari berbagai faktor secara bersamaan, 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

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 sangat dipengaruhi oleh jenis tanah daerah pengaliran.

### **B. Tanah**

Dalam ilmu mekanika tanah, 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.

Istilah pasir, lempung, lanau atau lumpur digunakan untuk menggambarkan ukuran partikel pada batas yang telah ditentukan, akan tetapi istilah yang sama juga digunakan untuk menggambarkan sifat tanah yang khusus,

sehingga lempung adalah jenis tanah yang bersifat kohesif dan plastis

Kebanyakan jenis tanah terdiri dari banyak campuran dan 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 partikel tanah dapat bervariasi mulai lebih besar dari 100 mm sampai dengan yang lebih kecil dari 0,001 mm (Hardiyatmo, 1992).

### 1. Sifat – sifat tanah

Untuk membedakan macam – macam tanah yang berdasarkan atas sifat-sifat tanah, maka dapat di golongkan sebagai berikut :

#### a) Kerikil ( *Gravel* )

- 1) Mudah dipadatkan dan dikeringkan
- 2) Mudah di drain dan tidak terpengaruh basah
- 3) Kerikil yang padat merupakan fondasi yang baik

#### b) Pasir ( *Sand* )

- 1) Gradasi baik
- 2) Mudah dikeringkan dan sedikit dipengaruhi basah
- 3) Pasir yang tajam baik untuk bahan fondasi
- 4) Permeabilitas besar dan mudah didrain
- 5) Butir – butir lepas ( dan kohesi = 0 ) non kohesif
- 6) Berat jenis lebih besar dari 2,6 Kg/cm<sup>3</sup>
- 7) *Settlement* segera berhenti setelah diberi beban
- 8) Sudut gesek dalam tanah untuk pasir pelat min 30<sup>0</sup> (*loose sand* = 28<sup>0</sup>)

- 9) Nilai sendir relatif tinggi (30 kg/cm<sup>2</sup>)

c) Lumpur (*Silt*)

- 1) Tidak ada plastisnya
- 2) Dalam keadaan kering sedikit sekali daya lekatnya
- 3) Sukar dipadatkan
- 4) Warna seperti lempung atau pasir halus
- 5) Stabilitasnya tidak dapat dipercaya
- 6) Berat jenisnya lebih besar dari  $2,6 \text{ Kg/cm}^3$
- 7) Nilai sondir relatif rendah, kurang dari  $30 \text{ Kg/cm}^3$
- 8) Permeabilitas sangat kecil.

d) Lempung (*Clay*)

- 1) Dalam keadaan basah tertentu bersifat plastis
- 2) Dalam keadaan kering keras sekali
- 3) Permeabilitasnya kecil sekali (rapat air)
- 4) Lempung kering dan basah sukar sekali dipadatkan
- 5) Gaya muai dan susut besar sekali
- 6) Kapasitas tinggi
- 7) Kohesi besar
- 8) Nilai sondir kecil (kurang dari  $10 \text{ Kg/cm}^3$ )
- 9) Pemadatan dan *settlement* terjadi terus menerus

e) Lem (*colloids*)

- 1) Penglulusan air sukar sekali sehingga sukar di drain.
- 2) Dalam keadaan kering keras sekali dan seing tercampur
- 3) Gaya muai dan susut besar sekali

4) Tanah lem terdiri dari butir yang kecil dan sering tercampur dengan bahan-bahan organik dan kapur

f) Kapur (*Morgel*)

Terdiri dari butir kapur, terutama karbonat dan kalsium

g) Tanah sampah ( Humus atau Organik )

Pada tanah sampah, struktur sampah atau tanah masih berat, hal ini terlihat oleh mata, kalau struktur terlihat dinamakan humus dan organik. (Hardiyatmo, 1992).

## 2. Jenis-jenis Tanah

Klasifikasi tanah sangat diperlukan untuk memberi gambaran atau mengidentifikasi mengenai sifat-sifat tanah guna perencanaan dan pelaksanaan suatu pekerjaan struktur.

Menurut UCGS, tanah dikelompokkan secara garis besar menjadi tiga kelompok, yaitu :

- a) Tanah berbutir kasar, jika <50 % butirannya lolos saringan no. 200
- b) Tanah berbutir halus jika >50 % butirannya lolos saringan no. 200
- c) Tanah organik, dapat dikenal dari warna, bau, dan sisa tumbuhan yang terkandung di dalamnya (Hardiyatmo, 1992).

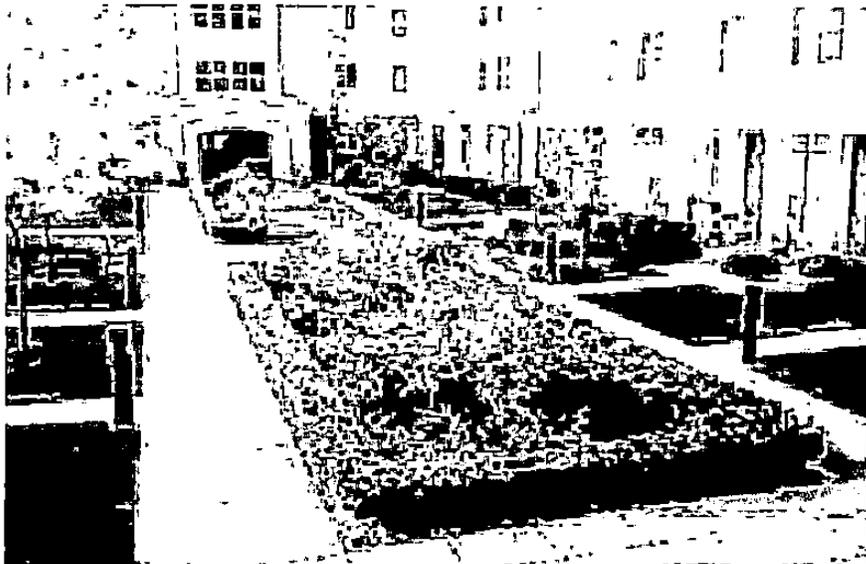
Table 3.3 Jenis tanah berdasarkan ukuran

No	Jenis Tanah	Ukuran Butir
1	Kerikil ( <i>gravel</i> )	> 4,75mm
2	Pasir ( <i>sand</i> )	0,075 - 4,75mm
3	Lantau ( <i>silt</i> )	0,005 - 0,075mm
4	Lempung ( <i>clay</i> )	< 0,005mm
5	Butir lempung sangat halus	< 0,002mm disebut sebagai <i>colloid</i>

Sumber : (Deruslan, 1994, dalam Lestari, 2008)

### C. Bioretension

Bioretension banyak diaplikasikan untuk menampung air limpasan dan juga untuk memperindah daerah sekitar bangunan, seperti Gambar 3.3.



Gambar 3.3 Bioretension pada halaman gedung ([www.cabmphandbooks.com](http://www.cabmphandbooks.com))

Menurut [www.cabmphandbooks.com](http://www.cabmphandbooks.com), ada beberapa hal yang perlu diperhatikan dalam pembuatan bioretension, diantaranya:

#### 1. Deskripsi

*Bioretention best management practice* (BMP) berfungsi sebagai perangkat filtrasi berbasis tanaman yang menghilangkan polutan melalui berbagai proses fisika, biologi, dan kimia. Fasilitas ini biasanya terdiri dari satu strip penyangga rumput, lokasi hamparan pasir, daerah ponding, lapisan organik atau lapisan rumput, tanah timbunan, dan tanaman. Kecepatan limpasan berkurang melalui atau di atas strip penyangga dan kemudian didistribusikan merata sepanjang daerah ponding. Pembuangan air yang

disimpan di daerah bioretension menuju ke tanah dasar terjadi selama beberapa hari.

## 2. Keuntungan

Bioretension menyediakan tampungan air dan dapat meningkatkan kualitas air hilir yang didapat dari penyimpanan limpasan sementara di BMP dan melepaskannya selama empat hari. Vegetasi ini memberikan keteduhan, dapat menyerap kebisingan, dan memberikan keindahan.

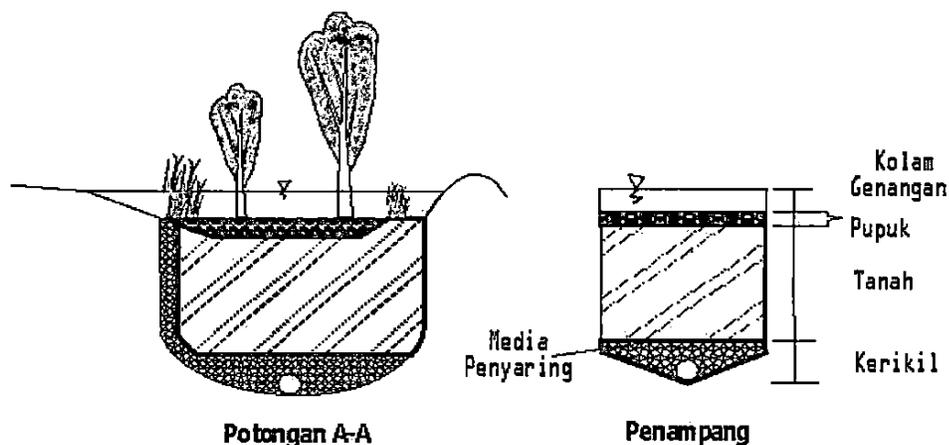
## 3. Keterbatasan

*Bioretention best management practice* (BMP) tidak direkomendasikan untuk daerah dengan lereng lebih besar dari 20% atau dimana penebangan pohon dewasa akan diperlukan karena dapat terjadi penyumbatan, terutama jika BMP menerima limpasan dengan muatan sedimen yang tinggi (EPA, 1999). Bioretension BMP tidak cocok di lokasi dimana muka air tanah berada 6 kaki dari permukaan tanah dan dimana lapisan tanah sekitarnya tidak stabil. Dengan desain, BMP bioretension memiliki potensi untuk menciptakan habitat yang sangat menarik bagi nyamuk dan vektor lainnya karena sangat organik, daerah bervegetasi padat yang dicampur dengan air dangkal. Dalam cuaca dingin dapat membekukan tanah, mencegah limpasan dari infiltrasi kedalam tanah timbunan.

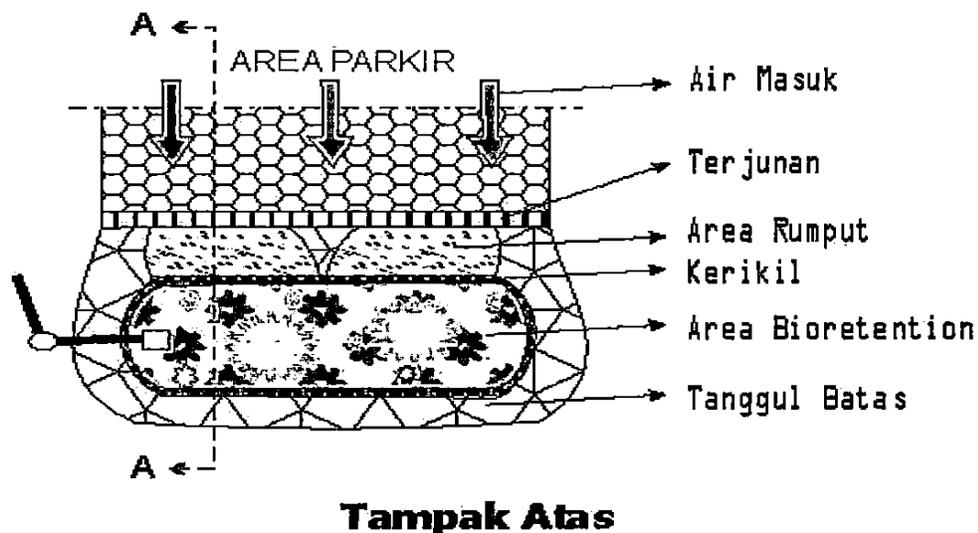
## 4. Desain dan panduan ukuran

Daerah bioretension harus memiliki ukuran atau desain untuk menahan limpasan dengan baik. Di daerah dimana permeabilitas tanah asli

kurang dari 0,5 in / jam selokan disediakan. Desain minimum yang disarankan adalah 4,6 m dari 12,2 m, meskipun lebar disarankan adalah 7,6 m. kedalaman yang digali harus 1,2 m. Daerah harus kering sepenuhnya dalam waktu 72 jam. Setiap 50 kaki<sup>2</sup> daerah bioretension harus dimasukkan satu pohon atau semak. Daerah penutup dibuat dengan sekitar 7,6 cm rumput. Sketsa desain dari *Bioretention system* dapat dilihat pada Gambar 3.4 dan Gambar 3.5.



Gambar 3.4 Potongan A-A Desain *Bioretention system*



### Tampak Atas

Gambar 3.5 Tampak atas Desain *Bioretention system*

([www.cabmphandbooks.com](http://www.cabmphandbooks.com)), 2003.

## 5. Konstruksi inspeksi Perkembangan

Bioretension tidak boleh dilakukan sampai kontribusi DAS stabil.

## 6. Kinerja

Bioretension menghilangkan polutan tampungan air melalui proses fisika dan biologi, termasuk penyerapan, filtrasi, serapan tanaman, aktivitas mikroba, dekomposisi, sedimentasi dan penguapan (EPA, 1999). Penyerapan merupakan proses dimana partikel polutan menempel pada tanah (misalnya, tanah liat) atau permukaan vegetasi. Waktu kontak yang cukup antara permukaan dan polutan harus disediakan dalam desain sistem agar proses penghilangan ini dapat terjadi. Jadi, tingkat infiltrasi tanah tidak boleh melebihi kriteria desain atau penghilangan polutan mungkin menurun. Polutan dihilangkan melalui penyerapan meliputi logam, fosfor, dan hidrokarbon. Filtrasi terjadi ketika limpasan melalui media daerah bioretension, seperti lokasi hamparan pasir, penutup tanah, dan tanah timbunan.

Partikel umum yang hilang dari tampungan air termasuk partikulat bahan organik, fosfor dan zat padat. Proses biologis yang terjadi di lahan basah, berakibat pada penyerapan polutan oleh tanaman dan mikro-organisme dalam tanah. Pertumbuhan tanaman ditopang oleh penyerapan nutrisi dari tanah dengan tanaman kayu yang mengunci nutrisi ini selama bermusim-musim. aktivitas mikroba didalam tanah juga berperan dalam penghilangan nitrogen dan bahan organik. Nitrogen dihilangkan oleh bakteri nitrifikasi dan denitrifikasi, sedangkan bakteri aerobik berperan atas pembusukan bahan organik. Proses mikroba membutuhkan oksigen dan dapat mengakibatkan

kadar oksigen habis jika areal bioretension tidak mempunyai ventilasi yang cukup. Sedimentasi terjadi di daerah ponding ketika kecepatan melambat dan zat padat terkumpul.

Efektivitas bioretension untuk menghilangkan polutan telah dipelajari selama studi lapangan dan laboratorium dilakukan oleh University of Maryland (Davis et al, 1998). Selama percobaan, limpasan tampungan air sintetik dipompa melalui beberapa daerah bioretension di lapangan dan di laboratorium untuk mensimulasikan peristiwa badai yang khas di MD County Prince George's. Tingkat penghapusan untuk logam berat dan nutrisi ditunjukkan pada Tabel 3.4.

Tabel 3.4 Laboratorium dan Estimasi Bioretension Davis et al (1998);  
PGDER (1993)

Polutan	Removal Rate
Total Fosfor	70-83%
Logam (Cu, Zn, Pb)	93-98%
TKN	68-80%
Total Suspended Solids	90%
Organik	90%
Bakteri	90%

Hasil dari kedua percobaan di lapangan dan di laboratorium sama untuk semua polutan yang dianalisa. Penggandaan atau pengurangan separuh tingkat polutan yang masuk tidak banyak berpengaruh pada konsentrasi limbah polutan (Davis et al, 1998). Aktivitas mikroba dan serapan tanaman

terjadi di wilayah bioretension kemungkinan akan mengakibatkan tingkat penghilangan yang lebih tinggi dari yang ditentukan untuk infiltrasi BMP.

## 7. Kriteria Lokasi

Bioretension (BMP) biasanya digunakan untuk memperbaiki limpasan air dari permukaan yang tahan air pada daerah komersial, perumahan, dan industri (EPA, 1999). Pelaksanaan bioretension untuk manajemen limpasan air sangat ideal untuk pemisah jalan, dan lahan parkir. Selain itu, limpasan di daerah-daerah ini dapat dirancang baik untuk mengalihkan langsung ke area bioretension atau mengirimkan ke daerah bioretension oleh selokan dan trotoar.

Lokasi terbaik untuk daerah bioretension adalah dataran tinggi dari parit-parit yang menerima masukan daerah aliran yang bertingkat dan di daerah yang akan digali (EPA, 1999). Untuk memaksimalkan perawatan efektivitas, lokasi harus dalam keadaan sedemikian rupa sehingga meminimalkan kondisi erosi. Lokasi di mana area bioretension dapat dengan mudah dimasukkan ke dalam rencana lokasi tanpa adanya kerusakan lingkungan lebih lanjut.

Selain itu, untuk secara efektif meminimalkan beban sedimen di daerah perawatan, bioretension hanya boleh digunakan di daerah drainase yang stabil.

## 8. Panduan Desain Tambahan

Tata letak daerah bioretension ditentukan setelah beberapa kendala seperti lokasi kegunaan, tanah dasar, vegetasi yang ada, dan drainase dipertimbangkan (EPA, 1999). Lokasi dengan tingkat kedalaman dan

bioretension karena tanah galian bisa ditimbun dan digunakan sebagai tanah timbunan, sehingga menghilangkan biaya memasukan tanah timbunan.

Penggunaan bioretension mungkin tidak layak diberi lapisan tanah yang labil disekitarnya, tanah dengan kandungan lempung lebih dari 25%, sebuah lokasi dengan lereng lebih besar dari 20%, dan atau lokasi dengan pohon-pohon besar yang akan dipindahkan selama masa pembangunan dari BMP.

Bioretension dapat dirancang untuk menampung limpasan secara langsung atau tidak langsung dari sistem drainase yang ada (EPA, 1999). Luas drainase untuk area bioretension harus antara 0,1 dan 0,4 hektar (0,25 dan 1,0 hektar). daerah drainase yang lebih besar mungkin memerlukan beberapa daerah bioretension. Terlebih lagi, daerah drainase maksimum untuk area bioretension ditentukan oleh intensitas curah hujan dan laju limpasan. daerah stabil bisa mengikis saat kecepatan lebih besar dari 1,5 m per detik. Desainer harus menentukan potensi kondisi erosi pada lokasi.

Ukuran area bioretension, yang merupakan fungsi dari daerah drainase dan limpasan yang dihasilkan dari daerah ini diukur untuk menangkap volume kualitas air. Dimensi minimum yang direkomendasikan dari kawasan bioretension adalah dengan lebar 4,6 m, dan panjang 12,2 m, dimana lebar minimum memungkinkan ruang yang cukup untuk daerah pepohonan yang padat dan acak dan semak belukar bisa tumbuh. Jadi menirukan hutan alami dan menciptakan sebuah iklim mikro, sehingga memungkinkan daerah bioretension untuk mentolerir efek tekanan panas, hujan asam, polutan limpasan, serangga dan penyakit di daerah perkotaan biasanya tidak dapat

dibiarkan. Lebar yang dipilih adalah 7,6 m, dengan panjang dua kali lebarnya. Pada dasarnya, setiap fasilitas yang lebih luas dari 6,1 m harus dua kali lebih lebarnya, yang menaikan distribusi aliran dan mengurangi kemungkinan aliran yang menggenang.

Dalam rangka menyediakan penyimpanan yang memadai dan mencegah air menggenang untuk waktu yang lama, kedalaman ponding daerah bioretension tidak boleh melebihi 15 cm. Air tidak boleh dibiarkan menggenang selama lebih dari 72 jam. Sebuah pembatasan pada jenis tanaman yang dapat digunakan mungkin diperlukan karena ketidaktahanan beberapa tanaman terhadap air. Selanjutnya, jika air dibiarkan menggenang lebih dari 72 jam nyamuk dan serangga lain mungkin mulai berkembang biak.

Tanah timbunan yang tepat harus ditimbun ke dalam area bioretension yang digali. Tanah timbunan bisa berupa tanah berpasir, pasir lempung, atau tekstur lempung dengan kandungan tanah liat mulai dari 10 sampai 25%.

Umumnya tanah harus memiliki tingkat infiltrasi lebih besar dari 1,25 cm per jam, yang berupa tanah berpasir, pasir lempung, atau lempung. PH tanah harus berkisar antara 5,5 dan 6,5 dimana polutan seperti nitrogen organik dan fosfor dapat diserap oleh tanah dan aktifitas mikroba dapat berkembang. Syarat tambahan untuk timbunan tanah termasuk 1,5% sampai 3% kandungan organik dan konsentrasi larutan garam maksimum 500 ppm.

Uji tanah harus dilakukan untuk setiap 382 m<sup>3</sup> tanah timbunan, dengan pengecualian pH dan tes kandungan organik yang dibutuhkan hanya sekali per daerah bioretension (EPA, 1999). Tanah timbunan harus lebih dalam 10,1 cm dari dasar bola akar terbesar dan 1,2 meter secara keseluruhan. Kedalaman ini

akan memberikan tanah yang cukup untuk sistem akar tanaman untuk tumbuh, mencegah kerusakan tanaman akibat terpaan angin yang besar, dan menyediakan kapasitas kelembaban yang memadai. Kebanyakan lokasi akan memerlukan penggalian untuk mendapatkan kedalaman yang disarankan.

Kedalaman tanah timbunan yang lebih besar dari 1,2 m akan membutuhkan tambahan konstruksi seperti ukuran penopang (EPA, 1999). Tanah timbunan harus ditempatkan dalam 46 cm atau ukuran yang lebih besar dan dipadatkan secara perlahan sampai kedalaman yang diinginkan tercapai. Karena pohon-pohon kanopi tinggi mungkin akan rusak selama pemeliharaan daerah bioretension harus ditanami sampai menyerupai ekosistem hutan darat yang didominasi oleh pohon yang tinggi. Tiga spesies masing-masing dari kedua pohon dan semak yang direkomendasikan untuk ditanam pada tingkat pohon dan semak belukar 1000 per hektar. Misalnya 4,6 m dari 12.2 m daerah bioretension 55,75 m<sup>2</sup> akan membutuhkan 14 pohon dan semak belukar. Rasio semak dan pohon adalah 2:1 sampai 3:1.

Pohon dan semak-semak harus ditanam pada saat kondisi memungkinkan. Vegetasi harus disiram setiap sore hari selama empat belas hari setelah tanam. Spesies tanaman yang tahan terhadap polutan dan kondisi basah atau kering harus digunakan di daerah bioretension. Perancang harus mempertimbangan nilai estetika, tata letak lokasi, dan persyaratan perawatan ketika memilih jenis tanaman. Berdekatan spesies yang mengganggu harus diidentifikasi dan desainer harus mengambil tindakan, seperti memberikan pembatas tanah untuk menghilangkan ancaman dari spesies yang menyerang daerah bioretension. Petuniuk penanaman harus dikonsultasikan untuk

memastikan bahwa penanaman bioretension memenuhi persyaratan penanaman yang dikeluarkan oleh pemerintah setempat. Para desainer harus mengevaluasi penempatan tanaman terbaik dalam wilayah bioretension. Tanaman harus ditempatkan pada interval yang tidak teratur untuk meniru hutan alam. Pohon harus ditempatkan pada perimeter daerah untuk memberikan keteduhan dan terlindung dari angin. Pohon-pohon dan semak-semak bisa terlindung dari arus yang merusak jika mereka ditempatkan jauh dari jalur masuk limpasan. Dalam cuaca dingin, spesies yang lebih tahan terhadap angin dingin, seperti pepohonan, harus ditempatkan di daerah yang paling berangin.

Setelah penempatan pepohonan dan semak, penutup tanah dan/atau rumput dibuat. Penutup tanah seperti rumput atau tanaman polong dapat ditanam pada awal musim tumbuh. Rumput harus ditempatkan sesegera mungkin setelah pohon-pohon dan semak-semak ditanam, 5 sampai 7,6 cm sobekan rumput harus ditanam di daerah bioretension untuk melindungi dari erosi.

## 9. Pemeliharaan

Persyaratan pemeliharaan yang paling utama untuk daerah bioretension adalah pemeriksaan dan perbaikan atau penggantian komponen-komponen daerah perawatan itu. Umumnya, hal ini tidak memerlukan lebih dari pemeliharaan berkala secara rutin yang diperlukan dari setiap daerah. Tanaman yang sesuai untuk lokasi, iklim, dan kondisi pengairan harus dipilih untuk digunakan dalam daerah bioretension. Tanaman yang dipilih secara tepat akan membantu dalam mengurangi pupuk, pestisida, air, dan persyaratan

pemeliharaan secara keseluruhan. Komponen sistem bioretension harus menyatu melalui pertumbuhan tanaman dan akar, pembusukan organik, dan perkembangan tanah secara alami. Proses biologi dan fisika ini akan memperpanjang keawetan fasilitas dan mengurangi kebutuhan untuk pemeliharaan tambahan. Pemeliharaan rutin harus mencakup evaluasi kesehatan dua tahunan pada pohon dan semak-semak dan disusul dengan pembersihan dari tanaman yang rusak atau mati (EPA, 1999). Tanaman yang rusak harus dirawat sesuai dengan kebutuhan dengan menggunakan langkah-langkah pencegahan dan dengan racun dengan jumlah serendah mungkin.

BMP memiliki potensi untuk menciptakan habitat yang sangat menarik bagi nyamuk dan vektor lainnya karena daerah yang sangat organik dengan jumlah vegetasi yang banyak dicampur dengan air dangkal. Peninjauan rutin untuk wilayah berair di sekitar BMP dan langkah-langkah perbaikan untuk mengembalikan tingkat peresapan yang tepat penting untuk mencegah munculnya habitat nyamuk dan habitat vektor lainnya. Selain itu, BMP bioretension rentan terhadap gangguan spesies tanaman agresif lainnya seperti tanaman rawa, yang meningkatkan peluang munculnya genangan air dan vektor lainnya bila tidak dipelihara secara rutin.

Dalam rangka mempertahankan keindahan daerah perawatan mungkin perlu untuk memangkas dan menyiangi. Selain itu, penggantian rumput juga perlu dilakukan ketika mulai terjadi erosi dan daerahnya mulai terlihat tidak menarik. Khususnya, seluruh kawasan mungkin memerlukan penggantian rumput setiap dua sampai tiga tahun, walaupun penempatan rumput pada satu

titik mungkin cukup ketika ada daerah kosong yang acak. Penggantian rumput harus dilakukan sebelum dimulainya musim hujan.

Departemen Perlindungan Lingkungan New Jersey mengatakan dalam sistem bioretension mereka standar pengakumulasian sedimen dan pemindahan sampah (terutama pada titik inflow) biasanya akan menjadi fungsi utama pemeliharaan. Tugas potensial lainnya termasuk penggantian tanaman yang mati, pengaturan pH tanah, perbaikan erosi pada titik-titik *inflow*, penambahan rumput, melancarkan selokan yang tersumbat, dan memperbaiki struktur luapan. Ada juga kemungkinan bahwa pertukaran kation kapasitas tanah dalam sel akan berkurang secara signifikan dari waktu ke waktu. tanah mungkin perlu diganti dalam waktu 5 sampai 10 tahun konstruksi tergantung beban polutan (LID, 2000).

#### 10. Biaya Konstruksi

Perkiraan biaya konstruksi untuk area bioretension sedikit lebih besar dibandingkan dengan biaya untuk pembangunan *landscape* yang baru (EPA, 1999). Sebuah aturan pelaksanaan yang umum adalah bahwa daerah bioretension perumahan rata-rata sekitar \$ 3 sampai \$ 4 per 0,3 m<sup>2</sup>, tergantung pada kondisi tanah dan kepadatan dan jenis tanaman yang digunakan. Biaya tempat secara institusional, industri, dan komersial dapat berkisar antara \$ 10 sampai \$ 40 per m<sup>2</sup>, berdasarkan kebutuhan struktur kontrol, penahan, dan selokan.

Penguatan lokasi biasanya memakan biaya lebih, rata-rata \$ 6.500 per daerah bioretension. biaya yang lebih tinggi dialokasikan untuk pembongkaran beton yang ada, aspal, dan struktur yang sudah ada dan penggantian bahan

pengisi dengan tanah. Dalam setiap desain kawasan bioretension, biaya tanaman bervariasi secara substansial dan dapat menyebabkan tingkat pengeluaran yang signifikan. Meskipun perkiraan biaya sedikit lebih besar dari perawatan *landscape* yang biasa (karena peningkatan jumlah penanaman, penggalian tanah tambahan, material pengurukan, penggunaan selokan, dll), biaya *landscape* yang akan diperlukan terlepas dari pemasangan bioretension