

BAB III TINJAUAN PUSTAKA

3.1 Definisi Konsep

Konservasi air adalah penggunaan air hujan yang jatuh ke atas permukaan tanah dan seefisien mungkin dengan mengatur waktu aliran yang tepat sehingga tidak terjadi banjir pada musim hujan dan tersedia cukup air pada musim kemarau (M. Kudeng Sallata, 2015). Upaya konservasi air mendukung tata kelola yang lebih responsif dan dapat diimplementasikan dengan cepat dan tidak terkait dengan biaya investasi infrastruktur yang besar. Keuntungan dari konservasi air yaitu memiliki potensi untuk melindungi aliran air di lingkungan sekitarnya, terutama pada saat kekeringan dengan menggunakan air hujan sebagai sumber air. Selain itu juga dapat mengurangi kerusakan lingkungan yang disebabkan oleh limpasan air di perkotaan (Moglia et al., 2018). Makna konservasi air adalah pengelolaan suatu tempat dengan maksud untuk memelihara keberadaan serta keberlanjutan keadaan, sifat, dan fungsi air agar senantiasa terjaga dan tersedia dalam kuantitas dan kualitas guna memenuhi kebutuhan makhluk hidup (Jati Ratna Arifah, 2022).

3.2 *Green Metric (Air)*

Penggunaan air dalam suatu bangunan adalah salah satu indikator yang penting dalam GreenMetric. Yang memiliki tujuan agar kampus dapat menghemat penggunaan air, dapat meningkatkan program konservasi, dan melindungi habitat air itu sendiri. Air menjadi hal yang penting dalam suatu bangunan yang publik seperti universitas. Beberapa kriteria dari indikator penggunaan air dalam GreenMetric:

- a. Pelaksanaan program konservasi air
Program sistematis dan formal yang mendukung program konservasi air seperti; pengelolaan danau / kolam ikan, sistem *rain harvesting*, tangka air.
- b. Implementasi program daur ulang air
Penggunaan air dengan pengelolaan kembali menjadi air yang bermanfaat guna menghemat air. Misalnya, air daur ulang untuk menyiram tanaman, flush di toilet, irigasi.
- c. Penggunaan peralatan hemat air
Peralatan air yang dipakai dapat meminimalisir penggunaan air yang berlebih. Peralatan yang dapat digunakan dapat berupa alat dengan sensor / otomatis.
- d. Air olahan yang dikonsumsi
Jumlah banyaknya air yang dipakai dan dikonsumsi dalam kampus dari utilitas dan perpipaan.
(UI GreenMetric, 2016)

3.3 *Low Impact Development*

Low Impact Development (LID) adalah pendekatan yang sangat berbeda untuk pengelolaan air hujan konvensional di lingkungan menjadi pengelolaan air hujan yang lebih efektif. LID meningkatkan kemampuan kita untuk melindungi permukaan dan kualitas air tanah, menjaga keutuhan kehidupan sumber daya dan

ekosistem, dan melestarikan integritas fisik dari menerima aliran. *Stormwater* dikelola dalam skala kecil, untuk menghemat biaya fitur lansekap yang terletak di setiap sudut dan dikelola di fasilitas kolam yang besar yang terletak di dasar daerah drainase. Konsep kontrol sumber sangat berbeda dari perawatan konvensional (situs pengelolaan air hujan pipa dan kolam rancangan) (Prince & County, 1999).

Praktek LID berupa bioretensi (BR), *permeable* trotoar (PP), parit infiltrasi (IT), *green roof* (GR), *rain garden*, parit infiltrasi, sistem pengumpulan limpasan air hujan, saluran pembuangan badai pemutusan, pengembangan klaster, perlindungan lahan lingkungan alami, penggunaan kembali area lingkungan yang dikembangkan dan lain-lain. Langkah-langkah tersebut bertujuan untuk mengurangi permukaan yang tidak dapat ditembus (Zhao & Meng, 2020). Banyak kontribusi yang dapat dikembangkan dan analisis kinerja praktik LID yang sudah dibuat dalam studi sebelumnya dengan cara multi-skala percobaan dan model eksperimen. Kedua model menekankan bahwa semua praktik LID berkinerja baik dan dalam menghilangkan kontaminan, kontrol limpasan.

Low Impact Development adalah air hujan yang inovatif dengan pendekatan manajemen yang dimodelkan setelah alam. Hal ini memberikan informasi dan studi kasus tentang penggunaan standar untuk membuat model dan desain yang berkelanjutan tindakan LID terhadap air hujan. Konvensional manajemen *stormwater* melibatkan pemipaan jalur limpasan situs secepat mungkin. Langkah – langkah LID, di sisi lain, ditandai dengan metode hidrologi dengan menggunakan teknik desain yaitu infiltrasi, filter, menyimpan, menguapkan, dan menahan limpasan di dekat sumbernya; dan menghilangkan kontaminan yang dapat mencemari danau, sungai, dan aliran air saat air hujan mengalir melalui aliran sekitarnya. (Shamsi, 2010)

3.4 Manfaat *Low Impact Development*

Low Impact Development dapat mempraktikkan teknologi pengembangan tradisional yang berfokus pada mengidentifikasi solusi lokasi lingkungan spesifik proyek yang menguntungkan pemerintah kota, pengembang, pembeli rumah, dan lingkungan. Unsur-unsur pendekatan juga dikenal dengan istilah lain nama, seperti desain konservasi, desain ramah lingkungan, hemat sumber daya desain, dan desain situs yang lebih baik. Selain fakta bahwa LID bermanfaat, adanya dampak teknik pengembangan dampak dapat menawarkan banyak manfaat bagi berbagai pemangku kepentingan (NAHB Research Center, 2003) .

3.5 Tujuan *Low Impact Development*

Low Impact Development merupakan salah satu cara untuk cara untuk membantu menyeimbangkan masalah lingkungan dan biaya pada sebuah bangunan. Terdapat beberapa tujuan dari *Low Impact Development* (NAHB Research Center, 2003) :

- a. Melestarikan ruang terbuka dan meminimalisir gangguan lingkungan.
- b. Melindungi fitur alam yang sensitif dan proses alami.
- c. Identifikasi dan menyebarkan “Infrastruktur Hijau” di dalam dan di luar lingkungan.

- d. Menggabungkan fitur alam (Lahan Basah, Koridor Riparian, Hutan Dewasa) ke dalam Desain Situs.
- e. Menyesuaikan desain dengan analisis ingkungan.
- f. Desentralisasi dan *Micromanage StormWater* di sumbernya.

3.6 Kategori Pemodelan *Low Impact Development*

Ada beberapa model yang dirancang khusus untuk LID (NAHB Research Center, 2003)

- a. *Permeable Pavement*
- b. *Rain Garden*
- c. *Green Roofs*
- d. *Rainwater Harvesting*
- e. *Blue Roofs*
- f. *Stromwater Tree Trenches*

3.7 *Permeable Pavement*

3.7.1 Pengertian *Permeable Pavement*

Sistem *permeable pavement* merupakan lapisan permukaan yang dilalui air dan dilapis oleh bahan dasar yang *permeable* untuk praktik pengelolaan air hujan struktural. Sistem praktik ini menghasilkan pengurangan limpasan dengan kondisi lingkungan sekitarnya. Pengolahan kualitas limpasan air hujan seperti itu akan meresap melalui permukaan perkerasan, dasar/ bahan *subbase*, dan penerapan sistem perkerasan yang juga dapat mendukung sesuai dengan tujuan dan kebutuhan sistem perkerasan jalan di dalam gedung lingkungan yang merespon hidrologi alami terhadap curah hujan (Eisenberg et al., 2015).

Permeable pavement menggunakan sistem dengan permukaan paving alternatif yang memungkinkan limpasan air hujan untuk menyaring melalui rongga di permukaan perkerasan ke dalam *reservoir* batu di bawahnya, di mana batu tersebut kemudian disimpan sementara. Berbagai permukaan perkerasan permeabel termasuk beton tembus air, aspal berpori dan *paving* beton *interlocking permeabel*. Sementara desain spesifik dapat bervariasi, semua permeabel perkerasan memiliki: struktur serupa, terdiri dari lapisan perkerasan permukaan, dan agregat atau *reservoir* batu di bawahnya lapisan. Ketebalan lapisan *reservoir* ditentukan oleh analisis desain struktural dan hidrologi. Lapisan *reservoir* berfungsi untuk menahan air hujan dan mendukung beban lalu lintas rencana untuk perkerasan. Jika laju infiltrasi di tanah asli memungkinkan, perkerasan permeabel dapat dirancang tanpa *underdrain*, untuk memungkinkan infiltrasi penuh limpasan (Eisenberg et al., 2015).

3.7.2 Tipe *Permeable Pavement*

Terdapat 4 jenis *permeable pavement* yang utama menurut material yang dipakai yaitu (Eisenberg et al., 2015) :

a. Aspal Berpori (*Porous Asphalt*)



Gambar 3.7.2.1 Aspal Berpori

Sumber: (*The Structure of Porous Asphalt Pavement - HMA Contracting, n.d.*)

Berdasarkan gambar di atas (Gambar 3.7.2.1) menunjukkan bahwa aspal berpori mirip dengan aspal konvensional, kecuali denda dihapus untuk menciptakan kekosongan yang lebih besar ruang angkasa. Bahan aditif dan pengikat yang bermutu lebih tinggi digunakan untuk memberikan daya tahan yang lebih besar dan mencegah pengosongan bahan pengikat aspal.

b. Beton tembus air (*Pervious Concrete*)



Gambar 3.7.2.2 Beton Tembus Air

Sumber : (*Pervious Concrete | NYC Street Design Manual, n.d.*)

Berdasarkan gambar di atas (Gambar 3.7.2.2) menunjukkan bahwa beton yang tembus air diproduksi dengan menambahkan agregat menjadi campuran semen. Beton tersebut

memiliki penampilan dan permukaan yang lebih kasar daripada beton standar. Aditif ini dapat digabungkan untuk meningkatkan kekuatan dan pengikatan.

c. Perkerasan Beton *Interlocking Permeabel* (*Permeable Interlocking Concrete Pavement*)



Gambar 3.7.2.3 Perkerasan Beton *Interlocking Permeabel*
Sumber : (*Permeable Interlocking Concrete Pavement*, n.d.)

Berdasarkan gambar di atas (Gambar 3.7.2.3) menunjukkan bahwa perkerasan beton *permeable* ini dibuat dengan pavers beton yang saling yang mempertahankan drainase melalui celah-celah berisi batu di antara *paver*. *Paving* yang digunakan tergantung *permeablenya*.

d. Sistem Perkerasan grid (*Grid Pavement System*)



Gambar 3.7.2.4 Sistem Perkerasan Grid
Sumber : (*Concrete Grid Pavers Foto Stok, Potret & Gambar Bebas Royalti - IStock*, n.d.)

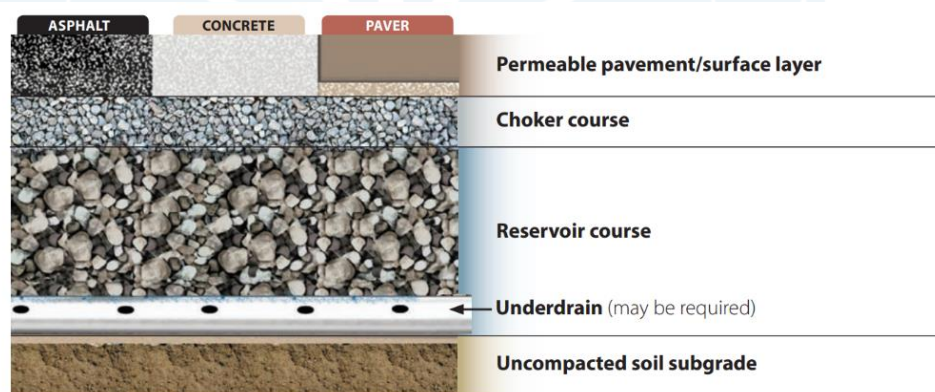
Sistem perkerasan grid merupakan grid modular yang diisi dengan rumput dan/atau kerikil (Gambar 3.7.2.4). Beton atau plastik sel terbuka yang struktural biasanya diisi dengan kerikil kecil bergradasi seragam yang memungkinkan infiltrasi lewat permukaan.

Semua perkerasan permeabel, kekuatan struktural perkerasannya dapat ditingkatkan dengan peningkatan ketebalan dan modifikasi bahan yang digunakan untuk agregat dasar/*subbase*. Jenis permukaan perkerasan dipilih dengan sesuai, bahan dasar atau *subbase*, dan kedalaman bahan untuk mendukung persyaratan beban struktural untuk penggunaan yang dipilih.

3.7.3 Sistem *Permeable Pavement*

Sistem perkerasan harus dirancang untuk mencapai pengelolaan air hujan, dengan mempertimbangkan karakteristik lokasi. Manajemen air hujan ini untuk menghilangkan polutan yang ditargetkan atau untuk pengurangan volume tertentu dan/atau laju aliran puncak air hujan (limpasan). Beberapa faktor yang mendorong rancangan ini yaitu lokasi hidrologi, permeabilitas tanah dasar, kedalaman air tanah, kendala bawah permukaan (yaitu, sumur, sistem septik), dan anggaran proyek. Faktor-faktor ini akan menentukan yang sesuai jenis perkerasan permeabel dan desain struktural/bahan yang diperlukan untuk setiap aplikasi rancangan.

Lapisan dasar sistem perkerasan / *subbase* permeabel



Gambar 3.7.3.1 Lapisan Dasar Sistem Perkerasan *Permeable*

Sumber : (Bethany Eisenberg et al., 2015)

Berdasarkan gambar di atas (Gambar 3.7.3.1) menjelaskan bahwa:

- Terdapat beberapa jenis aplikasi perkerasan permeabel, dasar/*subbase* ini biasanya mencakup *choker course* (di bawah permukaan perkerasan) dan *reservoir course* (di bawah *choker course*), ditopang oleh tanah dasar yang belum dipadatkan.
- Juga terdapat pipa *underdrain* yang berlubang, yang mungkin diperlukan sesuai kebutuhan, ke arah dasar pipa kursus waduk. Desain *underdrain* merupakan komponen umum untuk banyak sistem perkerasan saat kondisi bawah permukaan membatasi volume atau tidak terdapat pengisian ulang air hujan ke dalam tanah. Ini mungkin akibat dari tanah alami

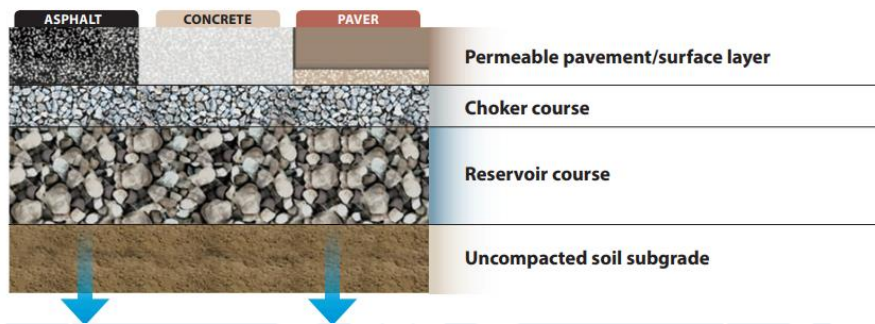
dengan permeabel rendah, ketinggian air tanah yang tinggi, tanah yang terkontaminasi melarang praktik infiltrasi atau batuan dasar yang dangkal. *Underdrain* dapat ditempatkan di bagian bawah dasar perkerasan atau *subbase* di jalur air.

c. Penyimpanan *Reservoir* atau Infiltrasi

Sistem perkerasan permeabel dapat dirancang untuk menginfiltrasi semua *stormwater* (full-infiltrasi), beberapa *stormwater* (partial-infiltrasi), atau tanpa *stormwater* (tanpa-infiltrasi) dari lapisan *reservoir* agregat ke tanah dasar. Desain infiltrasi penuh atau sebagian dengan tambahan ke tanah di bawahnya memberikan jalur untuk mengelola air hujan daripada pembuangan langsung air hujan ke *drainase* perpipaan sistem.

Beberapa jenis lapisan *permeable pavement* :

a. Desain infiltrasi penuh (tanpa *uderdrain*)

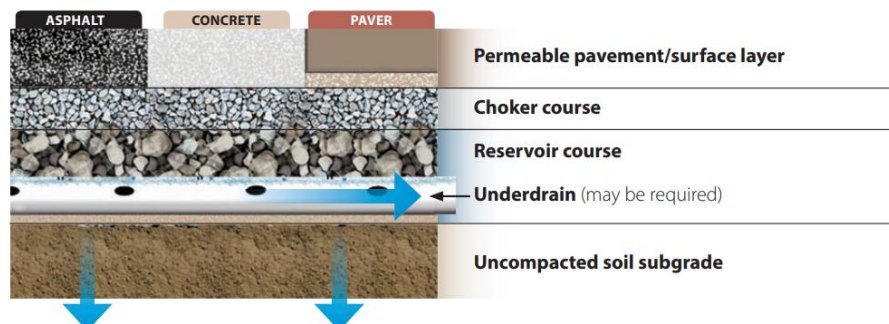


Gambar 3.7.3.2 Desain Infiltrasi Penuh

Sumber : (Bethany Eisenberg et al., 2015)

Berdasarkan gambar di atas (Gambar 3.7.3.2) menjelaskan bahwa desain infiltrasi penuh umumnya tidak menggunakan *underdrain* dan biasanya berada di area dengan permeabilitas tinggi tanah berpasir asli (Bethany Eisenberg et al., 2015) .

b. Desain infiltrasi parsial (dengan *underdrain*, tanpa *liner*)

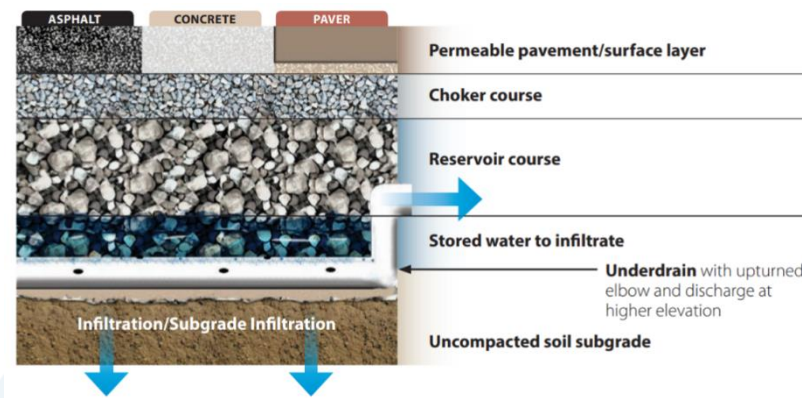


Gambar 3.7.3.3 Desain Infiltrasi Parsial

Sumber : (Bethany Eisenberg et al., 2015)

Berdasarkan gambar di atas (Gambar 3.7.3.3) menjelaskan bahwa desain infiltrasi parsial menginfiltrasi sebagian air ke dalam tanah dasar, biasanya ke permeabilitasnya lebih rendah tanah, dengan sisa air tersaring keluar melalui underdrain yang berlubang (Bethany Eisenberg et al., 2015) .

c. Infiltrasi parsial dengan underdrain terangkat / terbalik

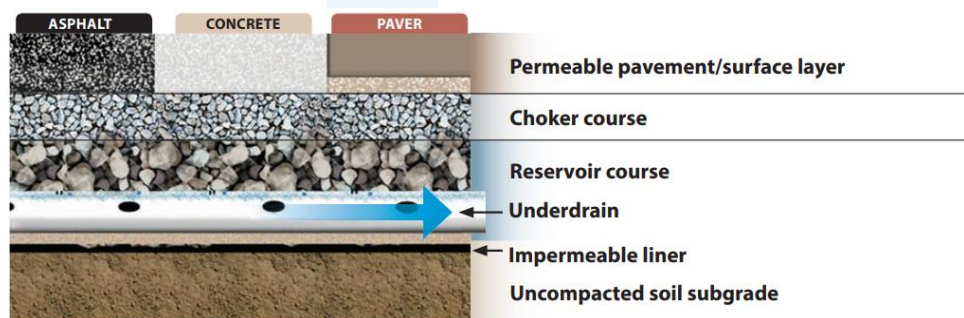


Gambar 3.7.3.4 Infiltrasi Parsial dengan *Underdrain* Terangkat / Terbalik

Sumber : (Bethany Eisenberg et al., 2015)

Berdasarkan gambar di atas (Gambar 3.7.3.4) menjelaskan bahwa underdrain yang terangkat sering disertakan dalam *reservoir* untuk membuat kepala hidrolis untuk menunjang infiltrasi yang lebih besar dan/atau meningkatkan kemampuan detensi/penyimpanan sistem. Desain ini mirip dengan cekungan detensi bawa permukaan desain sistem termasuk struktur kontrol *outlet* yang menangani baik debit aliran rendah dan aliran yang melimpah (Bethany Eisenberg et al., 2015) .

d. Desain tanpa infiltrasi (*underdrain* dan *liner* kedap air)



Gambar 3.7.3.5 Desain Tanpa Infiltrasi

Sumber : (Bethany Eisenberg et al., 2015)

Berdasarkan gambar di atas (Gambar 3.7.3.5) menjelaskan bahwa Sistem tanpa infiltrasi dirancang dengan lapisan kedap air untuk mencegah infiltrasi air hujan ke dalam tanah dasar yang ada. Pipa bisa berupa bahan geosintetik atau kedap air penghalang seperti

tanah liat. Sistem ini membutuhkan penyimpanan di jalur reservoir dan pelepasan melalui saluran di bawah (Bethany Eisenberg et al., 2015) .

3.7.4 Desain Struktur dan Hidrologis *Permeable Pavement*

a. Umur desain

Umur perkerasan berpori atau permukaan permeable tergantung terutama pada ukuran rongga udara di media. Semakin banyak kemungkinan untuk oksidasi, semakin sedikit daya tahan dapat dicapai (Choubane et al., 1998).

b. Komponen sistem *Permeable Pavement*

Komponen terdiri dari: (a) *pavers* dan lapisan alas; (b) zona tak jenuh dari bahan dasar; (c) jenuh zona bahan dasar; dan (d) tanah dasar.

c. Hidrologis

Penguapan, drainase dan retensi dalam struktur permeabel dipengaruhi oleh distribusi ukuran partikel dari bahan dan dengan retensi air di dalam blok permukaan. Gerakan air melalui trotoar berpori dikendalikan oleh limpasan permukaan, infiltrasi melalui batu trotoar, perkolasi melalui zona tak jenuh, drainase di dasar dan melalui tanah dasar. (Abustan et al., 2016)

3.7.5 Manfaat *Permeable Pavement*

Manfaat utama menggunakan sistem perkerasan permeabel meliputi (Bethany Eisenberg et al., 2015) :

- a. Mengurangi volume dan tingkat limpasan.
- b. Meningkatkan infiltrasi jika tanah memungkinkan.
- c. Meningkatkan kualitas air.
- d. Mengurangi suhu air hujan dan efek panas dari paving.
- e. Meningkatkan desain site yang lebih menarik.
- f. Mengurangi infrastruktur dan biaya sistem drainase.

Permeable pavement menggunakan sistem dengan permukaan paving alternatif yang memungkinkan limpasan air hujan untuk menyaring melalui rongga di permukaan perkerasan ke dalam reservoir batu di bawahnya, di mana batu tersebut kemudian disimpan sementara. Berbagai permukaan perkerasan permeabel termasuk beton tembus air, aspal berpori dan *pavers* beton interlocking permeabel. Sementara desain spesifik dapat bervariasi, semua permeabel perkerasan memiliki struktur serupa, terdiri dari lapisan perkerasan permukaan, dan agregat/reservoir batu di bawahnya lapisan. Ketebalan lapisan reservoir ditentukan oleh analisis desain struktural dan hidrologi. Lapisan reservoir berfungsi untuk menahan air hujan dan mendukung beban lalu lintas rencana untuk perkerasan. Jika laju infiltrasi di tanah asli memungkinkan, perkerasan permeabel

dapat dirancang tanpa underdrain, untuk memungkinkan infiltrasi penuh limpasan (Bethany Eisenberg et al., 2015) .

3.8 Rain Garden

3.8.1 Pengertian *Rain Garden*

Rain Garden adalah pengolahan area lanskap yang fungsional dibangun untuk menangkap, menampung dan menahan air hujan sehingga meresap ke dalam tanah untuk menghindari limpasan air di permukaan. *Rain Garden* membawa manfaat yang lebih besar bagi lingkungan di sekitarnya dan juga dapat memperindah area lingkungan.

Rain Garden menciptakan kembali siklus air alami dan mengurangi masalah kualitas air. *Rain Garden* didesain dengan cara membuat cekungan lanskap yang dangkal yang menampung dan menahan limpasan air hujan di permukaan lalu menyusup dan masuk perlahan ke dalam tanah. Infiltrasi melalui tanah menyaring polutan yang padat dan terlarut. *Rain Garden* bisa berbentuk apa saja asalkan berhasil menangkap limpasan dan menyatu dengan area lanskap. Pola aliran limpasan dapat menentukan desain yang paling efektif. (*Rain Garden Design and Construction: A Northern Virginia Homeowner's Guide*, 2011)

3.8.2 Area *Rain Garden*

Saat menempatkan rain garden, beberapa area harus diperhatikan, yaitu (Malaviya et al., 2019) :

- a. Area harus berjarak minimal 10 kaki dari bangunan (milik pribadi dan tetangga) untuk mencegah rembesan ke dalam pondasi.
- b. Cari area yang berada di luar garis tetesan pohon untuk menghindari pemotongan akar.
- c. Menghindari penempatan area di dekat sistem septik.
- d. Jauhkan area dari jalur utilitas.
- e. Mencari area tanah yang permukaannya rata (tidak boleh dibangun di atas tanah dengan kemiringan lebih dari 15%).

3.8.3 Struktur *Rain Garden*

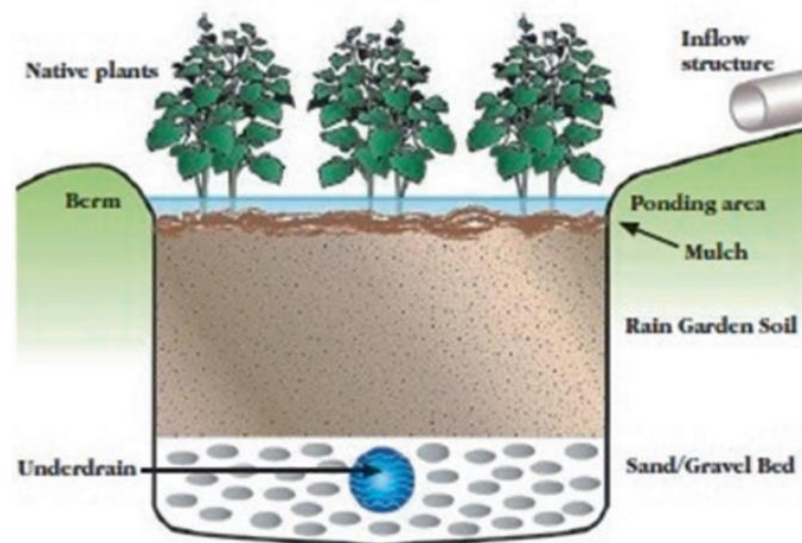
a. Area genangan

Bagian bawah area tambak diisi dengan lapisan mulsa dan kemudian tanah bagian atas ditambahkan lapisan kerikil yang perlu dibuat di bagian bawah, untuk berjaga-jaga tingkat infiltrasi air di bagian bawahnya. Di pipa *underdrain* juga dapat digunakan dalam situasi yang sama. Permukaan dengan kemiringan besar cocok untuk konstruksi taman hujan karena pada lanskap seperti itu, dibentuk oleh penggalian tanah dan membangun tanggul tanah di sisi lereng bawah.

b. Struktur *inflow*

Adalah limpasan dari *downspouts* atau area kedap air di sekitarnya (jalan, trotoar) diarahkan oleh struktur aliran masuk (Matos et al., 2019) .

Saat area kolam penuh, air yang terkumpul meninggalkan taman hujan melalui struktur luapan dan diarahkan ke tempat yang diinginkan (biasanya jaringan saluran pembuangan). Struktur ini membantu mengurangi risiko erosi. (Malaviya et al., 2019)



Gambar 3.8.3 Desain Lapisan Rain Garden

Sumber : (Malaviya et al., 2019)

Berdasarkan gambar di atas (Gambar 3.8.3), menjelaskan bahwa *Rain Garden* memiliki area genangan, struktur inflow dan underdrain, berm, dan tumbuhan yang tumbuh di dalamnya.

3.8.4 Tipe *Rain Garden*

Menurut fungsinya, *rain garden* dikelompokkan menjadi *detention basins*, *filtration basins*, *infiltration basins*, *ephemeral ponds* and *sedge meadows* (Malaviya et al., 2019c) :

- Detention basins* : kolam buatan yang dibuat berdekatan dengan sungai, danau, kali dan kolam untuk melindungi dari banjir, erosi dan menahan air untuk waktu yang singkat.
- Filtration basins* : kolam buatan dangkal yang menginfiltirasi air dan melindungi kualitas air di danau, sungai, sungai dan kolam.
- Infiltration swales* : saluran dangkal yang dibangun berdekatan dengan jalan / daerah pemukiman yang mengumpulkan dan membuang limpasan air hujan.
- Ephemeral ponds* : kolam alami atau buatan yang menyediakan habitat bagi sebagian hewan.
- Sedge meadows* : area lahan basah alami atau buatan yang sebagian besar ditanamialang-alang dan bunga liar asli lainnya. Rumput alang menyusup ke dalam air dan juga melindungi garis pantai dari erosi.

3.8.5 Manfaat dan Keunggulan *Rain Garden*

Rain Garden memiliki sejumlah manfaat seperti, mengurangi total limpasan, menyimpan air untuk digunakan di kedepannya, mengisi ulang air tanah, mengurangi polusi. Beberapa keunggulan rain garden:

- a. Mengurangi total limpasan air hujan dan aliran puncak limpasan
- b. Menyimpan air hujan yang dapat digunakan untuk irigasi di kebun
- c. Meningkatkan pengisian air tanah dan membantu pengisian akuifer lokal.
- d. Mengurangi kerugian harta benda dan gangguan aktivitas yang disebabkan oleh limpasan yang berlebihan.
- e. Memanfaatkan proses seperti retensi polutan, filtrasi, dekomposisi, penanaman serapan, dll. untuk meningkatkan kualitas limpasan perkotaan.
- f. Mengurangi beban polutan dari limpasan yang menerima badan air.
- g. Penanaman bunga, rerumputan dan tanaman hias, tanggul yang menambah tinggi, kontras, dan tekstur pada area datar menambah keindahan tempat dan memberikan pemandangan taman yang menyenangkan. (Malaviya et al., 2019b).

3.9 *Green Roofs*

3.9.1 Pengertian *Green Roofs*

Green Roof merupakan perpanjangan dan pembaruan dari atap baru atau yang sudah ada dan dapat diterapkan pada atap konvensional atau terbalik (dilindungi-membran) perakitan. Biasanya dibangun dengan sistem drainase, kain saring, media tumbuh ringan dan tanaman di atas membran tahan air berkualitas tinggi.

Green roof menyerap dan sebagian menguapkan curah hujan dan dengan mengurangi pembuangan air dalam jumlah besar ke dalam sistem pembuangan limbah. Tanaman yang tumbuh di substrat berpori menyerap air hujan dan lalu menguapkannya. Tanah juga menahan sebagian air presipitasi, yang memperlambat pembuangan air ke dalam sistem pembuangan limbah. Substrat dan tanaman secara signifikan mengurangi volume puncak limpasan yang terjadi setelah hujan lebat dan badai. *Green roof* juga dapat mengurangi polusi air hujan perkotaan dengan menyaring dan menyerap polutan juga melepaskan polutan dari tanah, tanaman, dan pupuk ke dalam air. Kualitas limpasan air dari *green roof* tergantung konstruksinya, jenis tanaman, umur atap, serta iklim sekitarnya dan sumber pencemaran setempat (Suszanowicz & Kolasa-Więcek, 2019).

Green Roof dapat dibangun dengan berbagai cara. Dapat dipasang secara longgar atau sistem *built-up* lapis demi lapis di atap. Pilihan lain termasuk sistem modular yang sebagian dibangun di luar lokasi dalam blok atau baki (biasanya 100 - 150 mm/4-6", karenanya sistem ekstensif) dan sedum pra-tumbuh pada sub lapisan penghalang akar, bulu drainase, dan media tumbuh yang direkayasa. Dua metode terakhir komponen lalu digabungkan menjadi modul pra-fabrikasi yang ditempatkan di atap untuk maplikasi lebih cepat. Sistem ini dapat dibudidayakan atau ditanam sebelumnya sebelum dipasang atau ditanam di atap. Lapisan modular dan pra-budidaya biasanya

ditempatkan dalam sistem yang luas, meskipun tergantung pada struktur atap, sistem intensif, semi-intensif dan ekstensif dapat dipekerjakan. Green Roof dapat memberikan manfaat efisiensi energi moderat melalui insulasi tambahan, naungan dari membran, dan evapotranspirasi yang mengarah pada pengurangan penggunaan AC. Penghematan energi adalah lebih terasa selama musim panas (Struck et al., 2014).

3.9.2 Tipe Green Roofs

Terdapat beberapa tipe *green roof* :

a. *Single Course Extensive* (Gambar 3.9.2.1)

Tebal: 7,6 cm – 10 cm

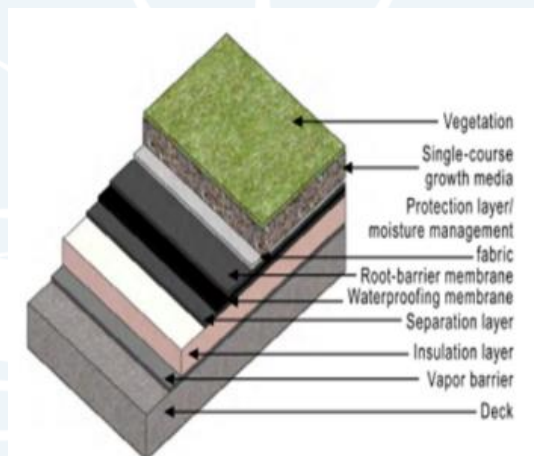
Lapisan drainase: Tidak ada lapisan drainase terpisah

Lapisan Vegetasi: Tanaman Hias dan Sukulen

Jenis media: Media kasar

Lapisan irigasi: Tidak diperlukan

Prevalensi: Digunakan di daerah dengan curah hujan yang cukup



Gambar 3.9.2.1 Tipe *Green Roofs Single Course Extensive*

Sumber : (Abass et al., 2020)

b. *Semi Intensive* (Gambar 3.9.2.2)

Tebal: 15 cm – 31 cm

Lapisan drainase: Lapisan drainase terpisah

Lapisan vegetasi: Hias, spesies padang rumput, rumput rumput dan kayu abadi

Jenis media: Media multi-kursus

Lapisan irigasi: Diperlukan jika rumput padang rumput digunakan

Prevalensi: Umum dan memberikan lebih banyak pilihan tanaman *intensive*



Gambar 3.9.2.2 Tipe *Green Roofs Semi Intensive*

Sumber : (Abass et al., 2020)

c. *Intensive* (Gambar 3.9.2.3)

Ketebalan: Lebih dari 31 cm

Lapisan drainase: Sistem drainase terpisah

Lapisan vegetasi: Tanaman di permukaan tanah

Jenis media: Lapisan media pertumbuhan intensif

Lapisan irigasi: Diperlukan

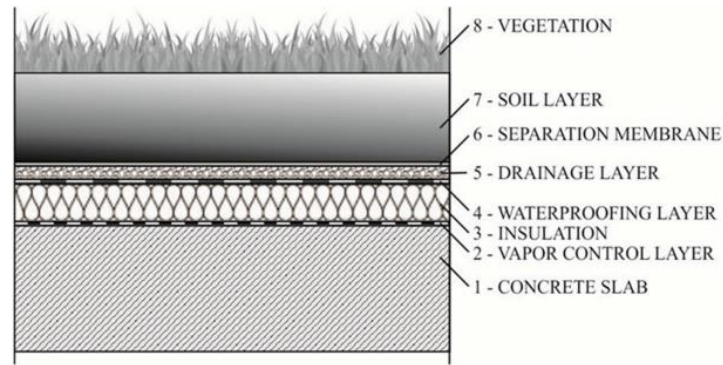
Prevalensi: Kurang umum karena faktor struktur dan pemeliharaan
(Abass et al., 2020b)



Gambar 3.9.2.3 Tipe *Green Roofs Intensive*

Sumber : (Abass et al., 2020a)

3.9.3 Struktur *Green Roofs*



Gambar 3.9.3 Struktur green roofs

Sumber : (Suszanowicz & Kolasa-Więcek, 2019b)

Berdasarkan Gambar 2.9.3 terdapat struktur *Green Roofs* terdiri dari banyak lapisan, termasuk lapisan insulasi termal (3), lapisan kedap air (2,4), lapisan *drainase* (5), dan substrat tanah (7) yang memungkinkan tanaman tumbuh di seluruh area, atau sebagian permukaan atap (Suszanowicz & Kolasa-Więcek, 2019).

Lapisan dari *green roof* yang umumnya digunakan (Mora-Melià et al., 2018) :











- a. Vegetasi : Bagian atas atap dan terdiri dari tumbuh-tumbuhan yang harus memberikan manfaat konstruktif fisik (isolasi termal, akustik perlindungan, dll.) dan manfaat ekologis (retensi hujan, pembersihan udara, dll.). Karena itu, idealnya, ini vegetasi sepadat mungkin dan setinggi mungkin.
- b. Substrat / tanah : Lapisan yang mendukung tumbuh-tumbuhan yang mengandung akar dan nutrisi bahan. Dalam hal ini, penting agar lapisan ini memiliki volume udara yang cukup untuk rooting penetrasi, serta cukup lembap untuk mencegah pertumbuhan vegetasi yang berlebihan atau pembentukan gulma.
- c. Saring : Lapisan yang mencegah sebagian substrat / tanah membentuk lumpur akibat infiltrasi air hujan ke lapisan bawah.
- d. Lapisan drainase : Menghindari genangan air yang berlebihan pada substrat / tanah yang dapat merusak tanaman.
- e. Lembar anti-root : berfungsi untuk mencegah kerusakan pada *waterproofing* atap lapisan atau struktur bangunan.
- f. Lembar kedap air / *waterproof* : Ini tidak tergantung pada lembar anti-root dan ditempatkan di bawahnya. Berfungsi untuk menutup atap dengan mengalirkan air ke saluran drainase.

3.9.4 Pemilihan tanaman

Tanaman yang tahap terhadap cuaca kering yang dapat menahan cuaca yang ekstrim untuk ditempatkan di paling atas atap dengan pengairan yang cukup dan seadanya. Tipe tanaman bersemak (Gambar 3.9.4) harus dipastikan memiliki permukaan atap yang menutupi seluruh permukaan. Ukuran daun juga harus disesuaikan dengan kebutuhan sehingga dapat menampung.

Contoh jenis – jenis tanaman yang cocok untuk lingkungan beriklim tropis (Yacob et al., 2021a):

Table 1 -Type of selected plants

Scientific name/Family				
<i>Portulaca Grandiflora</i> 	<i>Sansevieria Trifasciata</i> 	<i>Chrysothemis Pulchella</i> 	<i>Plectranthus Barbatus</i> 	<i>Sphagneticola Trilobata</i> 
<i>Alternanthera Paronychioides,</i> 	<i>Tradescantia spathacea</i> 	<i>Sansevieria trifasciata var. laurentii</i> 	<i>Episcia Cupreata</i> 	<i>Mentha Spicata</i> 

Gambar 3.9.4 Contoh tipe tanaman iklim tropis

Sumber : (Yacob et al., 2021)

3.10 Rainwater Harvesting

3.10.1 Pengertian *Rainwater Harvesting*

Rainwater Harvesting merupakan proses menahan, mengalirkan dan menyimpan air hujan untuk kedepannya dengan menggunakan beberapa sarana dan prasarana yang dapat digunakan untuk memanen air hujan dengan sarana antara lain tangki penampung, waduk, waduk kecil atau kolam buatan. (Gunawan et al., 2020)

Proyek pemanenan air hujan yang sederhana dan berbiaya rendah memiliki teknik penyediaan air dengan sistem menangkap dan memanen air hujan dari atap dan tangkapan tanah untuk domestik, pertanian, industri dan lingkungan tujuan. Air hujan yang dipanen dapat memenuhi kebutuhan penggunaan lingkungan, industri, pertanian dan lingkungan menyiram toilet, mencuci, memelihara lingkungan kebun, dan air tanah. Banyak penelitian telah menyarankan air hujan sebagai alternatif karena kekurangan air sebagai efeknya peningkatan populasi, perubahan iklim, dan polusi. Beberapa penelitian lain mengkorelasikan curah hujan dan kepadatan penduduk dengan menegaskan ukuran tangka yang optimal (Joleha, 2019).

3.10.2 Komponen dan Struktur *Rainwater Harvesting*

a. *Rooftop Collection System*

Menggunakan pemanfaat drainase dan sistem selokan di atap. Atap logam merupakan atap yang sangat ideal untuk menampung air hujan. Atap ini mudah dibersihkan dan mempertahankan tingkat air hujan yang tinggi kualitas. Sedangkan atap yang berasal dari asphat airnya tidak dianjurkan untuk dikonsumsi.

b. *Conveyance System*

Sistem pengangkutan air melalui talang, saluran, dan sistem pipa digunakan untuk membawa air yang terkumpul ke penyimpanan dan area penggunaan.

c. *Storage System*

Sistem penyimpanan menyimpan air hujan yang terkumpul untuk digunakan nantinya. Biasanya berupa tangki, baik di permukaan atau di bawah tanah. Kolam terbuka juga dapat digunakan, terutama untuk efek dekoratif.

d. Perawatan

Perawatan diperlukan untuk sebagian besar penggunaan yang dapat diminum dan mungkin untuk beberapa kegunaan yang tidak dapat diminum. Perawatan biasanya mencakup penyaringan air untuk menghilangkan partikel dalam pengumpulan dan pengangkutan air hujan. Desinfeksi sederhana (klorinasi, ultraviolet - UV, surya) mungkin diperlukan untuk mengontrol pertumbuhan mikroba dalam berbagai sistem, termasuk sistem penyimpanan.

e. Distribusi air

Distribusi air yang disimpan memerlukan sistem pompa, pipa, dan kontrol.

3.10.3 Desain *Rainwater Harvesting*

Untuk desain tangki, ada tiga bahan utama digunakan: besi, semen, dan pipa (PVC). Struktur pendukung tangki dibangun dengan campuran beton dan semen, diperkuat dengan baja bergelombang, sedangkan untuk ukuran kolom, yaitu disesuaikan dengan ketinggian tempat tinggal. Penutup atap semua tempat tinggal terbuat dari *calamine galvanis*. Berikut adalah contoh *desain rainwater harvesting* (Gambar 3.10.3) yang sederhana (Morales Rojas et al., 2021a) :



Gambar 3.10.3 Struktur Rainwater Harvesting

Sumber : (Morales Rojas et al., 2021)

Keterangan dari (Gambar 2.10.3) :

1. Penerimaan air hujan

2. Pengumpulan air hujan
3. Tangkapan dengan jalur pipa
4. Konduksi
5. Perangkap sedimen
6. Katup pembersih sedimen
7. Layar 24 Mikron
8. Tangki penyimpanan dan desinfeksi
9. Plunger untuk desinfeksi
10. Meluap kelebihan air
11. Kontrol ketinggian air tangki
12. Katup pembersih tangki
13. Filter pengotor
14. Pasokan air untuk konsumsi
15. Keran suplai air
16. Penopang tangki (pelat beton bertulang) (Morales Rojas et al., 2021)

3.10.4 Manfaat *Rainwater Harvesting*

Rainwater harvesting tentunya memiliki manfaat utama yaitu untuk menampung air hujan untuk digunakan kembali. Berikut adalah beberapa manfaat lain dari *rainwater harvesting* (Morales Rojas et al., 2021a) :

- a. Mengisi ulang dan menampung air ke tanah dan menumpuk di permukaan air tanah.
- b. Peremajaan sumur kering dan meningkatkan hasil sumur
- c. Perbaiki kualitas air tanah melalui pengenceran.
- d. Membantu mengurangi genangan jalan dan meminimalisir banjir.
- e. Menyelamatkan generasi mendatang dari masalah kelangkaan air.
- f. Menghemat konsumsi daya
- g. Pengumpulan air di atas atap ke dalam bak penampungan dan lubang resapan memfasilitasi penggunaan langsung air hujan secara terpisah dari resapan ke air tanah.
- h. Struktur yang direkomendasikan untuk area pemanenan air hujan sederhana dan ekonomis.

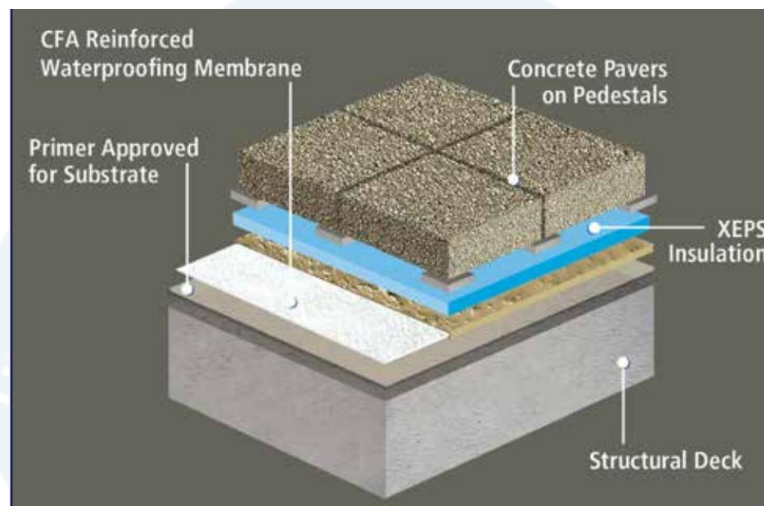
3.11 *Blue Roofs*

3.11.1 Pengertian *Blue Roofs*

Blue roofs merupakan sistem mengontrol saluran air hujan yang berada di atap ke sistem saluran pembuangan dengan mengurangi limpasan air. Hal ini dapat mengurangi dampak puncak air hujan pada instalasi pengolahan air limbah. *Blue Roofs* melindungi saluran air dari polutan dengan mengurangi limpasan dan memungkinkan lebih banyak campuran air hujan dan limbah untuk diolah

di air limbah tanaman perawatan. *Blue Roofs* bekerja menahan limpasan air hujan melalui saluran aliran terbatas, memungkinkannya memasuki sistem saluran pembuangan secara perlahan. Atap khusus ini menampung hingga tiga inci air dan membutuhkan kualitas tinggi, rakitan tahan air yang tahan lama dirancang untuk penggunaan penahanan atap. *Blue roof* biasanya dirancang untuk menahan limpasan air hujan hingga 24 jam. Debit yang tertunda memberikan sistem saluran pembuangan lokal kesempatan untuk memulihkan dan sistem pengolahan air limbah kesempatan untuk memproses air hujan dari sumber lain. (Brian Kelly, 2015)

3.11.2 Struktur *Blue Roofs*



Gambar 3.11.2 Struktur *Blue Roof*

Sumber : (Brian Kelly, 2015)

Berdasarkan Gambar 3.11.2 menjelaskan bahwa lapisan paling atas adalah semen yang dapat meresap untuk air hujan. Lalu di lapisan kedua adalah lapisan air yang di tampung dan lapisan bawahnya berupa lapisan yang tahan air untuk menghindari kebocoran ke lapisan atap di bawahnya (Brian Kelly, 2015)

3.11.3 Manfaat *Blue Roofs*

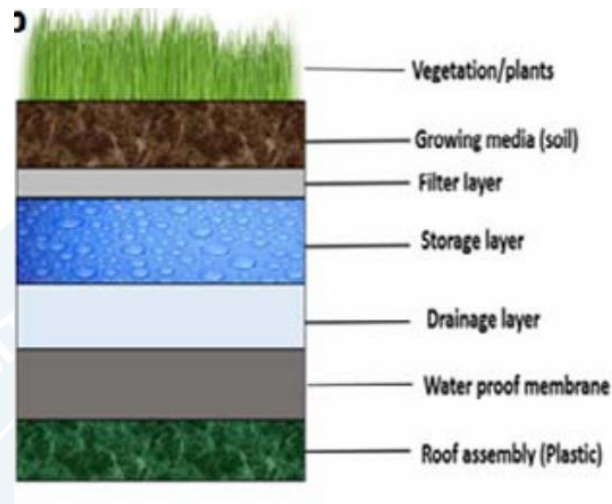
Manfaat utama dari *Blue Roof* antara lain (Brian Kelly, 2015) :

- a. Penyimpanan sementara untuk curah air hujan untuk mengurangi dampak limpasan
- b. Mengurangi laju aliran air dari atas atap
- c. Untuk penyimpanan air yang akan digunakan kembali, seperti irigasi dan pendinginan
- d. Membuat drainase dan lapisan pendukung untuk atap hijau
- e. Mengurangi suhu yang panas agar lebih sejuk (dari atap)

3.11.4 Kombinasi *Blue Roof dan Green Roof*

Green – Blue Roofs merupakan kombinasi dari dua sistem eco-roofs berarti terdapat lapisan atap yang terdapat tumbuh-tumbuhan dan lapisan penyimpanan sistem air hujan. Keunggulan dari

green roofs dan *blue roofs* ini adalah atap dapat menyimpan lebih banyak air melalui lapisan yang berbeda dan membantu untuk mengendalikan fenomena pulau panas. Terdapat lapisan tumbuhan/vegetasi, lapisan tanah, lapisan filter, lapisan penyimpanan dan drainase lapisan. Tujuan utamanya adalah untuk mengontrol limpasan air hujan dan meningkatkan lingkungan di sekitar bangunan. Air yang ditampung ke dalam media tanah serta di lapisan penyimpanan lainnya *Green-blue Roofs* dapat meningkatkan tingkat evapotranspirasi, yang menurunkan suhu daerah sekitarnya.

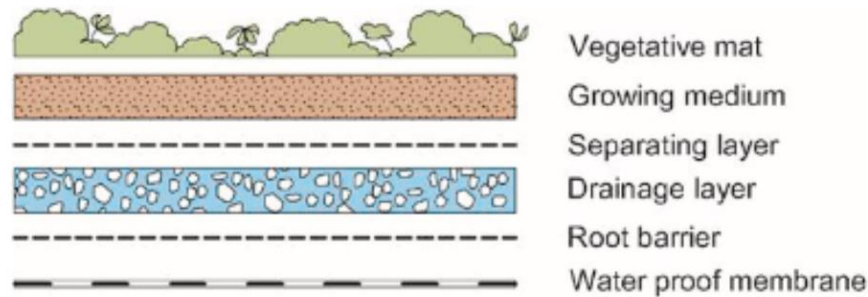


Gambar 3.11.4 Struktur Kombinasi *Green Roofs* dan *Blue Roofs*
 Sumber : (Shafique & Kim, 2017)

Berdasarkan gambar di atas (Gambar 3.11.4), terdapat lapisan *green-blue roofs* yaitu:

- a. Tanaman / tumbuhan
- b. Lapisan filter penyaring
- c. Tempat untuk penyimpanan air
- d. Saluran drainase
- e. Lapisan waterproof
- f. Lapisan atap bangunan

Lapisan dari *green-blue roof* di atas merupakan lapisan *standart* untuk sistem ini, tergantung pada kebutuhan dan keadaan atap (Shafique & Kim, 2017).



Gambar 3.11.5 Struktur Kombinasi *Green Roofs* dan *Blue Roofs*

Sumber : (Skjeldrum & Kvande, 2017)

Gambar 3.11.5 menjelaskan bahwa struktur *green roof* terdiri dari lapisan vegetasi yang tumbuh media tanah maupun media lainnya, lapisan penyang, lapisan *drainase* dan lapisan membran dan lapisan *waterproofing* (Skjeldrum & Kvande, 2017) .

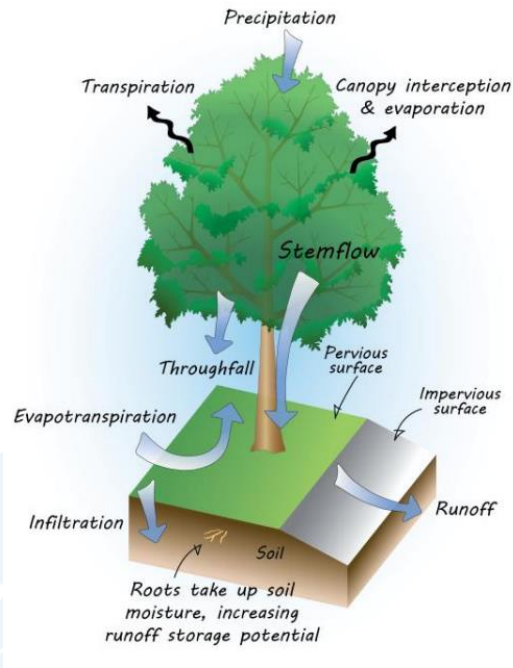
3.12 *Stromwater Tree Trenches*

3.12.1 Pengertian *Stromwater Tree Trenches*

Stormwater Tree Trenches merupakan suatu sistem dengan menghubungkan pohon dan struktur infiltrasi yang berada di bawah tanah. Fungsi dari struktur di bawah tanah tersebut yaitu mengurangi limpasan jumlah air hujan yang, memperbaiki lingkungan tumbuhnya pohon, membantu menghilangkan polutan bahan kimia berbahaya seperti logam, senyawa organik, bahan bakar, dan pelarut. Di dalam permukaan tanah, terdapat rangkaian lubang pohon di dalam tanah dengan desain yang sangat fleksibel yang menjadikan sistem ini untuk mengelola limpasan air hujan, volume aliran dan kualitas air. Salah satu ciri khas adalah struktur resapan yang berada di bawah tanah, dengan elemen struktur seperti perkerasan gantung, sel struktural, struktur tanah, dan struktur pipa drainase di bawahnya, menghubungkan berbagai lubang dan parit (U S Environmental Protection Agency, 2013) .

3.12.2 Sistem dan Fungsi Pohon

Pohon merupakan salah satu sumber utaman pengurangan limpasan air hujan dalam desain *stromwater tree trenches*. Pohon dapat mengurangi limpasan dengan cara berikut (Vega & Osvaldo, 2018) :



Gambar 3.12.2 Sistem Stormwater Tree Trenches
Sumber : (U S Environmental Protection Agency, 2013)

Berdasarkan Gambar 3.12.2 terdapat proses pohon yang berperan dalam mengurangi limpasan yaitu :

- a. Transpirasi : Pohon akan memerlukan jumlah air yang banyak dari tanah untuk digunakan dalam fotosintesis. Airnya akhirnya dilepaskan ke dalam atmosfer sebagai uap dari kanopi, sebuah proses disebut transpirasi.
- b. Intersepsi : Daun, cabang, dan permukaan batang mencegat dan menyerap hujan, mengurangi jumlah air
- c. Reduksi Terobosan : Kanopi pohon dapat mengurangi erosi tanah dengan mengurangi volume dan kecepatan hujan.
- d. Peningkatan Infiltrasi : Pertumbuhan akar meningkatkan kapasitas dan laju infiltrasi tanah.
- e. Fitoremediasi : Seiring dengan air, pohon menyerap sejumlah kecil bahan-bahan kimia berbahaya, termasuk yaitu logam, senyawa organik, bahan bakar, dan pelarut dari tanah.

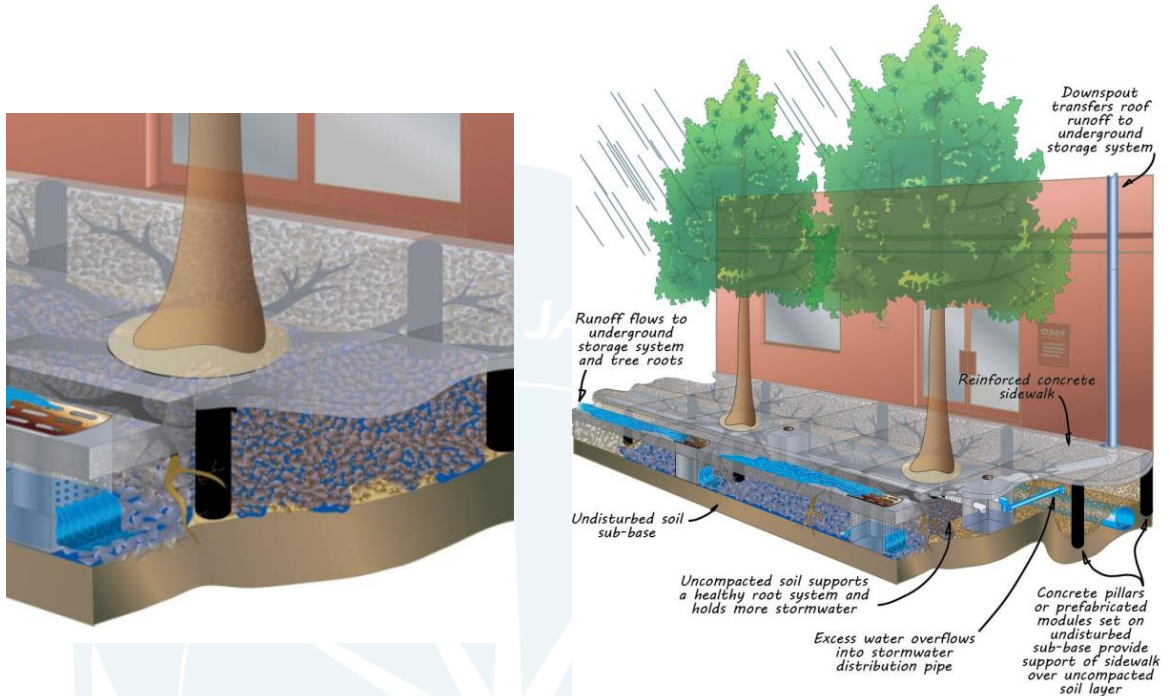
3.12.3 Tipe Stormwater Tree Trenches

Stormwater Tree Trenches memiliki beberapa jenis utama sesuai dengan material yang digunakan yaitu (Vega & Osvaldo, 2018) :

- a. *Suspended pavement dan structural cells*

Paving atau tanah yang permukaan lapisannya didukung oleh jaringan pilar, tumpukan, atau sel struktural. Sistem ini membuat kekuatan dari paving di atas dan memungkinkan tanah di bawah untuk tetap tidak dipadatkan, menampung pohon akar dan menyaring dan

mengelola air hujan limpasan. Paving yang ditanggguhkan bisa menampung volume besar tanah yang dibutuhkan untuk pertumbuhan pohon besar. Tergantung pada teknik dan desain, perkerasan gantung dan sel struktural bisa mendukung berbagai beban permukaan, termasuk kendaraan.



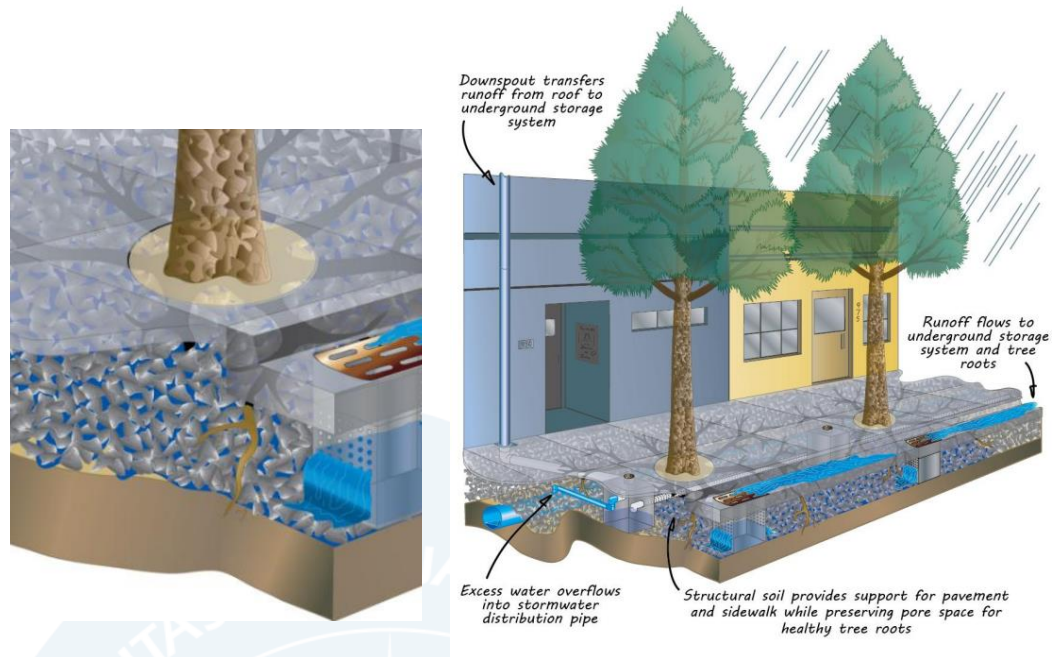
Gambar 3.12.3.1 *Struktural Cells*

Sumber : (U S Environmental Protection Agency, 2013)

Berdasarkan gambar di atas (Gambar 3.12.3.1) yaitu sistem *struktural cells* menggunakan pilar yang mendukung paving, menciptakan area bawah permukaan yang luas dari tanah yang tidak dipadatkan untuk pertumbuhan akar, bioremediasi, dan penyimpanan air hujan.

b. *Structural soil*

Menggunakan kerikil campuran yang dirancang untuk mendukung pertumbuhan pohon dan berfungsi sebagai sub-base untuk perkerasan jalan. Campuran agregat yang berpori dirancang untuk digunakan di bawah aspal dan beton perkerasan sebagai lapisan penahan beban dan perataan. Di selain menyediakan basis yang dapat dipadatkan untuk perkerasan, tanah struktural menyediakan komponen tanah ke campuran agregat itu memfasilitasi pertumbuhan akar—basis jalan biasa tidak memiliki komponen ramah pohon ini.



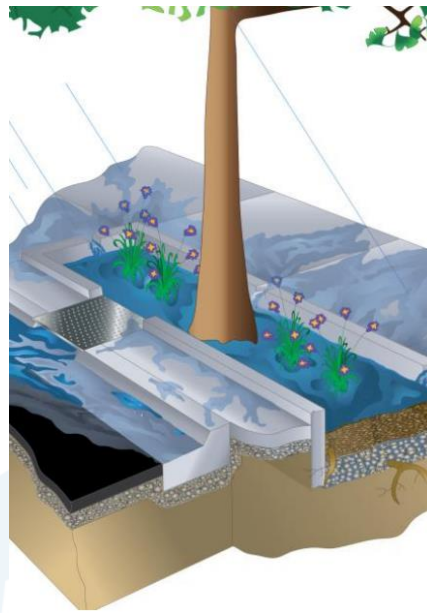
Gambar 2.12.3.2 Struktural Soils

Sumber : (U S Environmental Protection Agency, 2013)

Berdasarkan Gambar 3.12.3.2 menjelaskan bahwa tanah struktural untuk di beberapa dasar jalan raya standar belum menyediakan ruang pori dan tanah untuk pertumbuhan akar dan penyimpanan air hujan.

c. *Stromwater Tree Pits*

Sistem ini menyediakan air hujan alami pengelolaan di sekitarnya. Ketika lubang pohon menyediakan cukup volume tanah yang tidak dipadatkan menjadi tumbuh berukuran besar pohon, mereka menjadi bagian integral dari *stormwater* pengelolaan. Pohon sebagai reservoir menyerap, mengalihkan, dan menjernihkan curah hujan pada titik. Sementara lubang pohon bisa individual, menghubungkan beberapa lubang pohon dengan jalur tanah atau saluran air bisa meningkatkan volume tanah baik untuk pohon maupun air hujan peluang manajemen. Lubang pohon *stormwater* mirip dengan yang tradisional lubang pohon jalan kecuali mereka dimodifikasi untuk dimiliki ruang tumbuh bertambah, saling berhubungan, dan menerima dan mengolah limpasan air hujan. Air badai manfaat meningkat dengan jumlah *stormwater* lubang pohon dipasang dan dihubungkan.

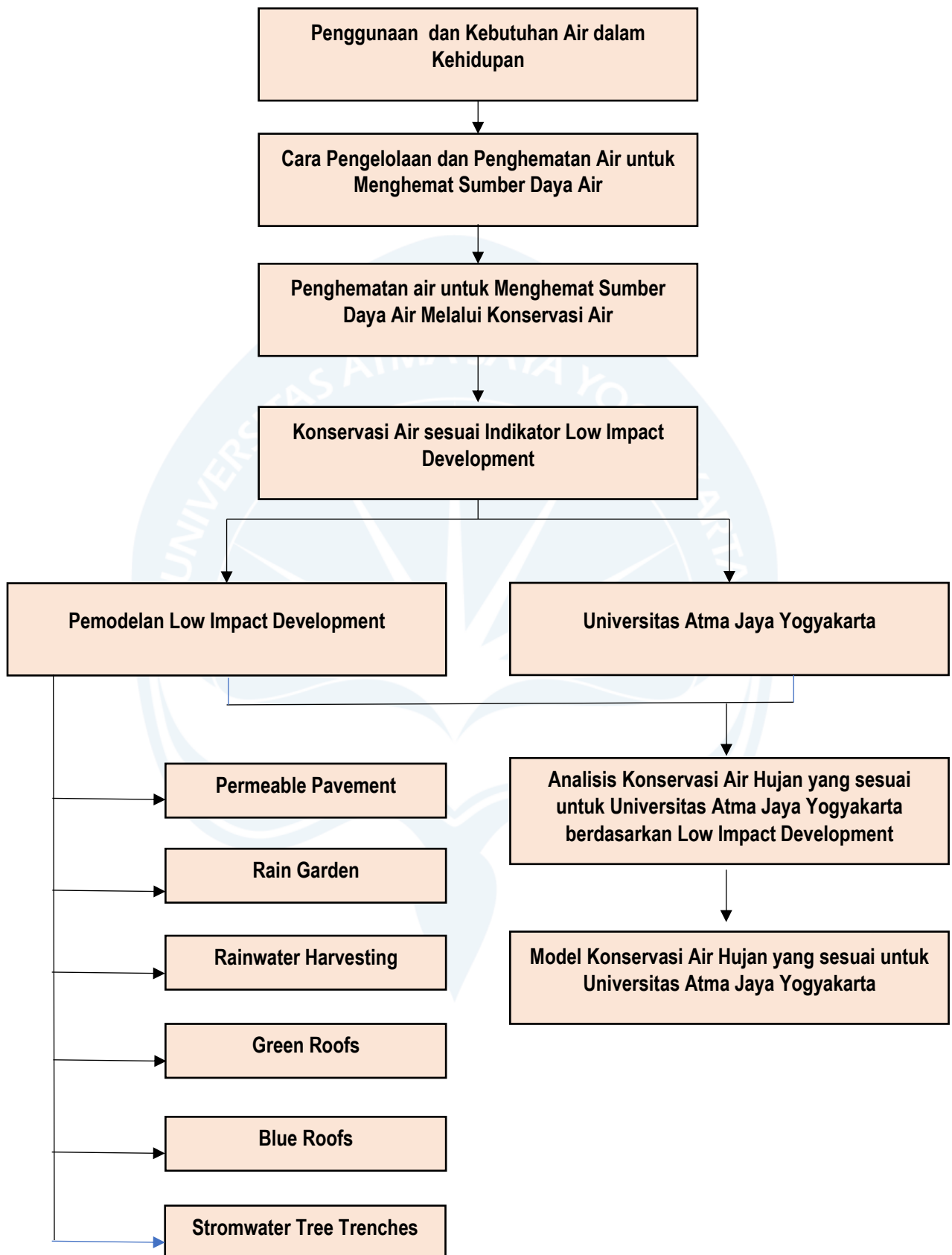


Gambar 3.12.3.3 *Stormwater Tree Pits*

Sumber : (U S Environmental Protection Agency, 2013)

Gambar 3.12.3.3 menjelaskan bahwa *Stormwater Tree Pits* dirancang untuk meningkatkan infiltrasi melalui inlet dan permukaan tembus pandang. Pohon mentranspirasikan air dan mengurangi jumlah air yang masuk membangun sistem manajemen limpasan.

3.13 Kerangka Berpikir



Gambar 3.13 Kerangka Berpikir