

Analisis Desain dan Evaluasi Drainase dengan Metode Rasional dan Kajian Potensi Penerapan Bioswale di Proyek Spring Garden

Yulianti^{a,1}

^aUniversitas Nusa Putra, Jl. Raya Cibolang Kaler No.21, Kecamatan Cisaat, Sukabumi, 43152

¹ yulianti_ts22@nusaputra.ac.id

Diterima; diperbaiki; disetujui

ABSTRACT

Proyek pembangunan kawasan Spring Garden memerlukan sistem tetapi juga mempertimbangkan kondisi topografi sekitar yang berupa lereng. Analisis dilakukan berdasarkan data klimatologi, parameter

pengurangan debit melalui infiltrasi oleh *bioswale* dianalisis secara konseptual berdasarkan literatur dan karakteristik tanah. Data penelitian meliputi data curah hujan maksimum tahunan dari stasiun BMKG Citeko periode 2015-2024, data topografi, dan data sistem drainase eksisting sepanjang 4.823,55 m dengan diameter pipa NRPC 0,6 m. Analisis hidrologi menggunakan metode Log Pearson Type III menghasilkan curah hujan rancangan periode ulang 2 tahun sebesar 107,40 mm dengan intensitas hujan 47 mm/jam dan waktu konsentrasi 0,72 jam. Berdasarkan metode rasional, diperoleh debit limpasan rancangan sebesar 0,56 m³/s untuk area tangkapan seluas 6,99 ha dengan koefisien limpasan gabungan 0,612. Evaluasi kapasitas sistem drainase eksisting menggunakan persamaan Manning menunjukkan kapasitas hidraulik sebesar 0,54 m³/s dengan kecepatan aliran 1,90 m/s, mengindikasikan defisit kapasitas 0,02 m³/s atau 3,6% dari kebutuhan dengan *safety factor* 0,96 (di bawah standar minimum 1,2). Kecepatan aliran 1,90 m/s berada dalam rentang aman (0,6-6,0 m/s) sehingga tidak terdapat masalah sedimentasi maupun erosi pada saluran. Kajian penerapan *bioswale* konvensional dengan fungsi infiltrasi dinyatakan tidak layak untuk lokasi penelitian karena: (1) kemiringan lereng yang tinggi (rata-rata 6-9%) melebihi batas ideal *bioswale* konvensional (1-5%), dan (2) karakteristik tanah *clay shale* dengan laju infiltrasi sangat rendah dan sifat *shrink-swell* yang tinggi berpotensi memperburuk stabilitas lereng jika terjadi penjumlahan tanah. Sebagai solusi untuk meningkatkan keamanan sistem dan mengatasi defisit kapasitas, direkomendasikan sistem *hybrid* berupa: (1) perkuatan struktural lereng menggunakan *soil nailing* atau *retaining wall* sebagai prasyarat utama, (2) sistem drainase permukaan yang efisien untuk mengalirkan air dengan cepat, dan (3) penerapan *bioswale* tipe *conveyance* dengan modifikasi desain menggunakan lapisan kedap (geomembrane HDPE) dan sistem underdrain pada area kaki lereng yang telah distabilkan, yang mampu mengurangi debit limpasan sebesar 10-20% sehingga meningkatkan *safety factor* sistem menjadi 1,13-1,25 dan memberikan ruang aman terhadap kondisi ekstrim.



KATA KUNCI

Bioswale
Drainase
Lereng
Limpasan
Metode Rasional
Stabilitas



ABSTRACT

The Spring Garden development project requires a drainage system that not only meets hydraulic demands but also considers the surrounding sloped topography. The analysis was conducted using climatological data and parameters for runoff reduction through bioswale infiltration, assessed conceptually based on literature and soil characteristics. Research data included maximum annual rainfall records from the BMKG Citeko station for the period 2015–2024, topographic data, and existing drainage system data with a total length of 4,823.55 m using NRPC pipes with a diameter of 0.6 m. Hydrological analysis employing the Log Pearson Type III method produced a 2-year return period design rainfall of 107.40 mm, with a rainfall intensity of 47 mm/hour and a time of concentration of 0.72 hours. Based on the Rational Method, the design runoff discharge was calculated at 0.56 m³/s for a 6.99 ha catchment area with a combined runoff coefficient of 0.612. Evaluation of the existing drainage capacity using Manning's equation indicated a hydraulic capacity of 0.54 m³/s with a flow velocity of 1.90 m/s, revealing a capacity deficit of 0.02 m³/s or 3.6% of the required discharge, with a safety factor of 0.96 (below the minimum standard of 1.2). The flow velocity of 1.90 m/s falls within the safe range (0.6–6.0 m/s), indicating no sedimentation or erosion issues. The assessment of conventional bioswale implementation with an infiltration function was deemed unsuitable for the study area due to (1) steep slopes averaging 6–9%, exceeding the ideal range for conventional bioswales (1–5%), and (2) clay shale soil characteristics with very low infiltration rates and high shrink–swell potential, which could compromise slope stability under saturated conditions. As a solution to enhance system safety and address the capacity deficit, a hybrid system is recommended, consisting of (1) structural slope reinforcement using soil nailing or retaining walls as a primary prerequisite, (2) an efficient surface drainage system to rapidly convey runoff, and (3) the application of a conveyance-type bioswale with design modifications incorporating an impermeable HDPE geomembrane layer and an underdrain system at the stabilized slope toe. This approach is projected to reduce runoff discharge by 10–20%, thereby increasing the system safety factor to 1.13–1.25 and providing a greater margin of safety under extreme conditions.

KATA KUNCI

Bioswale
Drainage
Slope
Runoff
Rational Method
Stability



This is an open-access article under the [CC-BY-SA](#) license

1. Pendahuluan**1.1 Latar Belakang**

Pertumbuhan kawasan permukiman yang bergerak semakin pesat sering kali menimbulkan permasalahan dalam pengelolaan lingkungan, terutama dalam pengendalian limpasan air hujan. Pada wilayah berkontur lereng, risiko seperti erosi, tanah longsor, dan kerusakan saluran akibat aliran permukaan yang tidak terkendali menjadi semakin tinggi. Kecepatan aliran pada lereng meningkat secara signifikan dibandingkan di daerah dataran, sehingga meningkatkan potensi kerusakan tanah dan infrastruktur[1]. Di beberapa wilayah tropis dengan curah hujan tinggi dan topografi miring, laju kehilangan tanah bisa mencapai 50-100 ton/ ha/ tahun [2]. Proyek Spring Garden merupakan salah satu proyek pengembangan permukiman di lahan perbukitan, sehingga memerlukan sistem drainase yang tidak hanya berfungsi mengelola limpasan air hujan, tetapi juga mampu menjaga kestabilan lereng.

Pada umumnya, sistem drainase di kawasan perumahan masih menggunakan pendekatan konvensional yang belum sepenuhnya mempertimbangkan aspek infiltrasi maupun pengendalian kecepatan aliran air. Padahal, kedua faktor tersebut penting untuk meminimalisir risiko terjadinya erosi terutama permukiman di daerah perbukitan. Oleh karena itu, perlu

dilakukan analisis dan evaluasi terhadap efektivitas desain drainase yang ada, sekaligus mengeksplorasi alternatif solusi yang lebih berkelanjutan. Pada evaluasi ini akan dilakukan dengan menggunakan metode rasional, karena metode rasional cukup sederhana dan memiliki relevansi untuk kawasan perumahan yang berukuran kurang dari 200 ha dan keterbatasan data. Selain itu, metode mampu menyediakan parameter desain langsung dengan *output* berupa debit puncak dengan persamaan sederhana[3].

Bioswale adalah salah satu pendekatan yang mulai banyak diterapkan di berbagai kota di dunia mulai menerapkan prinsip *Low Impact Development (LID)* atau *Sustainable Drainage System (SuDS)*, di mana *bioswale* menjadi bagian pentingnya untuk mengelola air hujan secara alami [4]. Menurut *US Environmental Protection Agency (EPA)*, *bioswale* adalah saluran vegetatif yang dirancang untuk mengalirkan, menyaring, dan meresapkan air limpasan permukaan (*runoff*) secara perlahan ke dalam tanah, sekaligus menyaring polutan sebelum masuk ke badan air. *Bioswale* berfungsi memperlambat aliran air, meningkatkan infiltrasi, serta menyaring sedimen dan polutan. Selain itu, tanaman pada *bioswale* juga berfungsi sebagai filter alami untuk menyerap polutan seperti nitrogen, fosfor, dan logam berat dari permukaan jalan atau kawasan permukiman [5]. Meskipun pada umumnya diterapkan di wilayah dataran rendah atau perkotaan, teknologi ini juga berpotensi mendukung stabilitas lereng dengan mengurangi beban saluran drainase dan meningkatkan penyerapan air ke dalam tanah pada lingkungan perumahan.

Berdasarkan latar belakang tersebut, penelitian ini bertujuan untuk menganalisis desain sistem drainase pada proyek *Spring Garden* dengan metode rasional serta mengkaji potensi integrasi *bioswale* sebagai solusi pelengkap yang tidak hanya mengelola limpasan air tetapi juga mendukung stabilitas lereng. Diharapkan, hasil kajian ini dapat menjadi inovasi dan saran dalam pengembangan sistem drainase yang lebih efektif dan berkelanjutan, khususnya untuk kawasan permukiman yang berada di wilayah topografi menengah hingga curam.

Berdasarkan latar belakang tersebut, penelitian ini bertujuan untuk menganalisis desain sistem drainase pada proyek *Spring Garden* dengan metode rasional serta mengkaji potensi integrasi *bioswale* sebagai solusi pelengkap yang tidak hanya mengelola limpasan air tetapi juga mendukung stabilitas lereng. Diharapkan, hasil kajian ini dapat menjadi inovasi dan saran dalam pengembangan sistem drainase yang lebih efektif dan berkelanjutan, khususnya untuk kawasan permukiman yang berada di wilayah topografi menengah hingga curam.

1.2 Tujuan Penelitian

Tujuan khusus dalam penulisan penelitian pada laporan pra-internship ini di antaranya :

1. Menganalisis desain sistem drainase eksisting pada kawasan *Spring Garden*.
2. Mengkaji potensi penerapan teknologi *bioswale* sebagai solusi pelengkap dalam sistem drainase pada lokasi kontur berlereng.
3. Memberikan rekomendasi perencanaan sistem drainase yang lebih berkelanjutan dan adaptif terhadap kondisi topografi curam di kawasan permukiman.

1.3 Manfaat Penelitian

Manfaat penelitian ini meliputi:

1. Mengetahui kapasitas sistem drainase dengan kondisi eksisting dalam mengelola limpasan air hujan di kawasan kontur berlereng.
2. Mengetahui informasi penerapan teknologi *bioswale* dalam sistem drainase pada kontur berlereng.
3. Memberikan rekomendasi dan saran pengembangan sistem drainase yang berkelanjutan dan ramah lingkungan.

1.4 Ruang Lingkup Penelitian

Penelitian ini dibatasi pada:

1. Penelitian ini dibatasi dengan tidak membahas air buangan outlet ke saluran primer.
2. Analisis terhadap sistem drainase eksisting dilakukan berdasarkan data sekunder dan observasi lapangan terbatas.
3. Kajian bioswale terbatas pada studi kelayakan awal berdasarkan kondisi lokasi proyek, tidak mencakup desain teknis detail dan rencana pelaksanaan konstruksi.

2. Landasan Teori

2.1 Sistem Drainase

Drainase adalah sistem yang pengaliran air permukaan untuk mencegah terjadinya genangan atau banjir di suatu area. Pada perkotaan, sistem ini berfungsi untuk mengalirkan air hujan dari suatu tempat ke badan air penerima, seperti sungai, danau, atau laut. Drainase yang efektif harus dapat menampung dan mengalirkan air hujan dengan baik tanpa menimbulkan genangan yang bisa mengganggu aktivitas dan kenyamanan masyarakat.

Menurut Peraturan Menteri Pekerjaan Umum No. 12 Tahun 2014 tentang Drainase Perkotaan, sistem drainase perkotaan terdiri dari beberapa komponen utama[6], yaitu:

1. Saluran drainase, jalur buatan untuk mengalirkan air, dapat berupa saluran terbuka atau tertutup (gorong-gorong).
2. *Inlet*, titik masuk air dari permukaan ke dalam sistem drainase.
3. *Outlet*, titik pembuangan air dari sistem drainase ke badan air penerima.
4. Kolam retensi/ detensi, tempat penampungan sementara untuk mengurangi debit puncak.
5. Pompa, alat untuk memindahkan air pada area yang tidak dapat mengalir secara gravitasi.

Sistem drainase dibedakan menjadi tiga jenis[6] berdasarkan fungsinya:

- Drainase primer adalah saluran drainase utama yang menampung aliran dari drainase sekunder dan tersier, biasanya berupa sungai atau kanal besar yang langsung menuju ke badan air penerima
- Drainase sekunder adalah saluran yang menampung aliran dari drainase tersier dan mengalirkannya ke drainase primer.
- Drainase tersier adalah saluran terkecil yang langsung menerima air hujan dari permukaan dan mengalirkannya ke saluran sekunder.

Buku Referensi Drainase Perkotaan (2018) menguraikan bahwa permasalahan drainase umumnya timbul akibat kombinasi faktor alami dan ulah manusia[6]. Faktor alami dapat berupa karakteristik hujan, topografi, dan kondisi tanah yang memiliki kemampuan resap rendah. Sementara itu, faktor manusia mencakup:

- Perubahan Tata Guna Lahan: Berkurangnya area resap air akibat urbanisasi.
- Sampah: Membuang sampah sembarangan ke saluran drainase yang menyebabkan penyumbatan.
- Kondisi Saluran yang Tidak Memadai: Kapasitas saluran yang sudah tidak mencukupi akibat perkembangan kota.

Dengan demikian, landasan teori drainase tidak hanya mencakup definisi dan

komponen konvensional, tetapi juga berkembang mencakup pendekatan berkelanjutan dan inovasi teknologi. Integrasi antara sistem drainase konvensional (*grey infrastructure*) dengan infrastruktur hijau menjadi kunci dalam menciptakan sistem pengelolaan air hujan yang tangguh dan berkelanjutan di perkotaan. Semoga tambahan landasan teori ini bermanfaat untuk laporan Anda. Jika diperlukan penjelasan lebih mendalam pada salah satu poin, misalnya mengenai perhitungan teknis debit air hujan, jangan ragu untuk menanyakannya lebih lanjut.

2.2 Metode Rasional

Metode Rasional adalah salah satu cara yang paling sering diterapkan untuk menghitung debit limpasan air hujan, terutama pada wilayah tangkapan yang tidak terlalu besar (kurang dari 300 hektar atau 3 km²)[7]. Metode ini berlandaskan pada anggapan bahwa ketika intensitas hujan konstan, maka akan tercipta limpasan maksimum saat seluruh wilayah tangkapan ikut berpartisipasi dalam aliran.

2.2.1 Persamaan Metode Rasional

Rumus dasar Metode Rasional[8] adalah:

$$Q = 0,278 \times C \times I \times A$$

Dimana:

Q = Debit puncak limpasan (m³/detik)

C = Koefisien limpasan (*run-off coefficient*)

I = Intensitas hujan (mm/jam)

A = Luas daerah tangkapan air (km²)

0,278 = Faktor konversi satuan

2.2.2 Koefisien Limpasan (C)

Koefisien limpasan (C) adalah angka yang menunjukkan perbandingan antara besarnya limpasan dengan besarnya curah hujan.

Nilai C dipengaruhi oleh beberapa faktor antara lain:

- Jenis permukaan tanah (permeabilitas)
- Kemiringan lahan
- Vegetasi penutup tanah
- Jenis tata guna lahan

Nilai koefisien limpasan berkisar antara 0 hingga 1, dimana:

- Nilai mendekati 0 = sebagian besar air meresap ke dalam tanah (permeabel)
- Nilai mendekati 1 = sebagian besar air menjadi limpasan (kedap air)

Tabel nilai koefisien[8] limpasan untuk berbagai jenis permukaan:

Jenis Permukaan	Nilai C
Atap bangunan	0,75 - 0,95
Jalan aspal/beton	0,70 - 0,95
Jalan berbatu	0,40 - 0,70
Perkerasan bata	0,50 - 0,70
Area parkir	0,75 - 0,85
Taman/kebun	0,05 - 0,25
Tanah kosong	0,10 - 0,30
Perumahan padat	0,40 - 0,60
Perumahan sedang	0,30 - 0,50
Perumahan jarang	0,25 - 0,40

Untuk daerah tangkapan dengan berbagai jenis permukaan, koefisien limpasan gabungan dihitung dengan persamaan:

$$C_{\text{gabungan}} = (C_1 \times A_1 + C_2 \times A_2 + \dots + C_n \times A_n) / A_{\text{total}}$$

2.2.3 Intensitas Hujan (I)

Intensitas hujan adalah jumlah hujan yang jatuh per satuan waktu, biasanya dinyatakan dalam satuan mm/jam[9]. Intensitas hujan untuk perhitungan drainase ditentukan berdasarkan:

1. Periode ulang (return period), interval waktu rata-rata dimana suatu kejadian hujan dengan intensitas tertentu akan terulang kembali. Untuk drainase perkotaan, periode ulang yang umum digunakan adalah 2, 5, 10, atau 25 tahun.

2. Durasi hujan (duration), lamanya hujan berlangsung, biasanya disamakan dengan waktu konsentrasi (tc).
3. Waktu konsentrasi (tc), waktu yang diperlukan air hujan untuk mengalir dari titik terjauh dalam daerah tangkapan ke titik yang ditinjau.

Intensitas hujan dapat dihitung menggunakan rumus Mononobe:

$$I = (R_{24} / 24) \times (24 / tc)^{(2/3)}$$

Dimana:

- I = Intensitas hujan (mm/jam)
- R_{24} = Curah hujan maksimum harian untuk periode ulang tertentu (mm)
- tc = Waktu konsentrasi (jam)

Waktu konsentrasi (tc) dihitung dengan menjumlahkan waktu inlet (t_o) dan waktu aliran dalam saluran (t_f):

$$tc = t_o + t_f$$

Waktu inlet (t_o) dapat dihitung dengan rumus Kirpich:

$$t_o = 0,0195 \times L^{0,77} \times S^{(-0,385)}$$

Dimana:

- t_o = Waktu inlet (menit)
- L = Panjang aliran permukaan (m)
- S = Kemiringan rata-rata (m/m)

2.3 Analisis Frekuensi Curah Hujan

Analisis frekuensi hujan bertujuan untuk menghitung seberapa besar curah hujan yang dirancang berdasarkan periode pengulangan yang ditentukan. Data yang digunakan untuk curah hujan adalah data maksimum tahunan selama periode pengamatan yang cukup lama (minimal 10 tahun).

2.2.1 Metode Distribusi Probabilitas

Beberapa metode distribusi probabilitas yang umum digunakan:

1. Distribusi Normal digunakan untuk data yang terdistribusi simetris di sekitar nilai rata-rata.
2. Distribusi Log Normal digunakan ketika logaritma dari data mengikuti distribusi normal.

3. Distribusi Gumbel digunakan untuk analisis hidrologi, terutama untuk data hujan ektrim.
4. Distribusi Log Pearson Type III memberikan fleksibilitas lebih tinggi dengan mempertimbangkan koefisien kemencengan (skewness).

2.2.2 Uji Kecocokan Distribusi

Untuk menentukan distribusi yang paling sesuai dengan data, dilakukan uji kecocokan menggunakan:

1. Uji Chi-Kuadrat (Chi-Square Test) untuk membandingkan frekuensi observasi dengan frekuensi teoretis.
2. Uji Smirnov-Kolmogorov membandingkan distribusi frekuensi kumulatif data observasi dengan distribusi teoretis.

Distribusi yang dipilih adalah yang memiliki nilai deviasi terkecil dari kedua uji tersebut.

2.4 Desain Saluran Drainase

2.2.1 Prinsip Desain Saluran

Saluran drainase dirancang untuk mengalirkan air hujan dengan lancar tanpa menimbulkan luapan atau erosi. Prinsip dasar desain saluran meliputi:

1. Kapasitas hidraulik yang memadai, saluran harus mampu menampung debit rancangan
2. Kecepatan aliran terkontrol yang tidak terlalu lambat yang menyebabkan sedimentasi atau terlalu cepat yang menyebabkan erosi
3. *Freeboard* atau ruang bebas di atas muka air cukup untuk keamanan
4. Pemilihan material sesuai yang tahan terhadap kondisi lingkungan

2.2.2 Persamaan Manning

Kecepatan aliran dalam saluran dihitung menggunakan persamaan Manning:

$$V = (1/n) \times R^{(2/3)} \times S^{(1/2)}$$

Dimana:

V = Kecepatan aliran (m/detik)

n = Koefisien kekasaran Manning

R = Jari-jari hidrolik = A/P (m)

S = Kemiringan dasar saluran (m/m)

A = Luas penampang basah (m^2)

P = Keliling basah (m)

Debit aliran:

$$Q = A \times V$$

2.2.3 Kriteria Desain

Kecepatan minimum: 0,3 - 0,6 m/detik (mencegah sedimentasi)

Kecepatan maksimum:

- Saluran tanah: 0,6 - 1,0 m/detik
- Saluran pasangan batu: 2,0 - 3,0 m/detik
- Saluran beton: 3,0 - 6,0 m/detik

Freeboard: 20% - 30% dari kedalaman air atau minimum 20 cm

Koefisien kekasaran Manning (n):

- Saluran beton: 0,011 - 0,015
- Saluran pasangan batu: 0,020 - 0,030
- Saluran tanah bersih: 0,020 - 0,030
- Saluran tanah dengan rumput: 0,030 - 0,040

2.5 Low Impact Development (LID)

Low Impact Development (LID) adalah pendekatan perencanaan dan desain lahan yang bertujuan untuk mengelola limpasan air hujan dengan meniru kondisi hidrologi pra-pengembangan. Konsep LID mengintegrasikan praktik-praktik pengelolaan air hujan yang bersifat desentralisasi, berskala kecil, dan berbasis alam untuk mengurangi volume limpasan, memperbaiki kualitas air, dan meningkatkan infiltrasi.

Prinsip-prinsip LID meliputi:

1. Konservasi fitur alami mempertahankan vegetasi, tanah, dan pola drainase alami sebanyak mungkin.
2. Minimalisasi permukaan kedap air untuk mengurangi luas area yang tidak dapat menyerap air seperti aspal dan beton.
3. Pengelolaan pada sumber menangani limpasan air hujan di lokasi timbulnya untuk mencegah akumulasi volume besar.
4. Distribusi terpadu menggunakan beberapa praktik kecil yang tersebar di seluruh lokasi daripada satu fasilitas besar.
5. Pendekatan multifungsi untuk mengintegrasikan pengelolaan air hujan dengan lansekap, rekreasi, habitat, dan fungsi lainnya.

Dalam praktiknya LID mencakup beberapa teknik yang salah satunya adalah bioswale, antara lain:

1. Bioretention Cell / Rain Garden Area depresi yang ditanami vegetasi untuk menangkap, menyaring, dan menginfiltrasikan limpasan air hujan. Terdiri dari lapisan tanah khusus dengan media yang memiliki permeabilitas tinggi.
2. Green Roof Atap bangunan yang ditanami vegetasi untuk menahan dan menyerap air hujan, mengurangi limpasan dan memberikan isolasi termal.
3. Permeable Pavement Perkerasan yang memungkinkan air meresap ke dalam tanah melalui pori-pori atau celah antar material.
4. Rain Barrel / Cistern Sistem penampungan air hujan dari atap untuk digunakan kembali atau dilepaskan secara perlahan.
5. Infiltration Trench Parit yang diisi dengan material porous (kerikil) untuk menginfiltrasikan air ke dalam tanah.
6. Vegetated Swale / Bioswale Saluran dangkal bervegetasi untuk mengalirkan, menyaring, dan menginfiltrasikan limpasan air hujan secara perlahan.

2.6 Bioswale

Bioswale adalah saluran drainase dangkal yang bervegetasi, dirancang untuk mengalirkan, menangkap, mengolah, dan menginfiltrasikan limpasan air hujan secara perlahan. Berbeda dengan saluran drainase konvensional yang hanya berfungsi sebagai sistem *konveyans*, bioswale menggabungkan fungsi transportasi air dengan pengolahan kualitas air melalui proses alami.

Fungsi utama bioswale meliputi:

1. *Konveyans*, mengalirkan air hujan dengan kecepatan yang terkontrol
2. Filtrasi, menyaring sedimen dan polutan melalui media tanah dan vegetasi
3. Infiltrasi, meresapkan air ke dalam tanah untuk mengisi ulang air tanah
4. Evapotranspirasi, mengurangi volume air melalui penguapan dan transpirasi tanaman agar tersimpan ke dalam *ground water*.
5. Pengolahan biologis, menguraikan polutan melalui aktivitas mikroorganisme dan *uptake* tanaman

Bioswale memiliki beberapa komponen utama di dalam sistemnya sebagai berikut:

1. Vegetasi Tanaman yang dipilih harus memenuhi kriteria:
 - Toleran terhadap genangan sesaat dan periode kering
 - Memiliki sistem akar dalam untuk meningkatkan infiltrasi
 - Tahan terhadap kecepatan aliran air
 - Mampu menyerap polutan
 - Estetis dan mudah pemeliharaan
 - Sesuai dengan iklim lokal

2. Media Tanah Campuran tanah khusus yang memiliki permeabilitas tinggi (infiltrasi minimum 13 mm/jam). Komposisi tipikal: pasir 50-60%, tanah lempung 20-30%, dan kompos organik 20-30%.
3. Lapisan Drainase Agregat kasar (diameter 20-40 mm) dengan ketebalan 15-30 cm di bawah media tanah untuk memfasilitasi drainase dan penyimpanan sementara.
4. *Underdrain* (Opsional) Sistem pipa berlubang (*perforated pipe*) yang dipasang dalam lapisan drainase untuk mengalirkan air jika infiltrasi ke tanah asli terbatas. *Underdrain* terhubung ke sistem drainase konvensional.
5. Inlet dan Outlet
 - Inlet: Titik masuk air dari area tangkapan, dapat berupa curb cut, drop inlet, atau sheet flow
 - Outlet: Struktur pembuangan kelebihan air, dapat berupa weir, orifice, atau overflow pipe
6. *Check Dam/ Weir* Struktur penghalang melintang untuk:
 - Memperlambat kecepatan aliran
 - Menciptakan zona genangan (*ponding zone*)
 - Meningkatkan infiltrasi
 - Mencegah erosi pada kemiringan curam

Dalam mekanisme kerjanya bioswale bekerja melalui serangkaian proses fisik, kimia dan biologis:

1. Proses Fisik:
 - Sedimentasi, partikel tersuspensi mengendap karena perlambatan aliran
 - Filtrasi, air meresap melalui media tanah yang menyaring partikel halus
 - Infiltrasi, air yang tersaring meresap ke dalam tanah asli
2. Proses Kimia:
 - Adsorpsi, polutan menempel pada permukaan partikel tanah dan organik
 - Ion *exchange*, pertukaran ion antara polutan dan media tanah
 - Presipitasi, pembentukan endapan dari polutan terlarut
3. Proses Biologis:
 - *Uptake* tanaman, tanaman menyerap *nutrient* dan logam dari air
 - Degradasi mikroba, mikroorganisme menguraikan polutan organik
 - Evapotranspirasi, penguapan air melalui tanah dan tanaman

3. Metodologi Penelitian

3.1. Lokasi Penelitian

Studi kasus penelitian dilaksanakan di proyek Spring Garden yang merupakan percabangan dari proyek klaster Spring City. Proyek ini beralamatkan di Bojong Koneng, Kec. Babakan Madang, Kabupaten Bogor, Jawa Barat, CV4V+P5. Lokasi ditampilkan lebih jelas dengan gambar berikut.

3.2. Teknik Pengumpulan data

Pengumpulan data penelitian terbagi menjadi dua jenis, yaitu data primer dan data sekunder.

3.2.1 Data Primer

Data primer merupakan data yang didapatkan dari hasil observasi langsung di lapangan

- a. Data hasil observasi secara langsung berupa jenis, dimensi, dan kondisi drainase yang telah terpasang.
- b. Dokumentasi kondisi ataupun pekerjaan yang masih berlangsung.

3.2.2 Data Sekunder

Data Sekunder adalah data yang diperoleh dari instansi terkait berupa, data hidrologi seperti data curah hujan, dan sebagainya. Data-data yang akan digunakan dalam penelitian, yaitu;

- a. Studi literatur penelitian terdahulu mengenai penelitian terkait.
- b. Data curah hujan yang berasal dari stasiun pos curah hujan yang berpengaruh pada daerah Sentul.
- c. Peta topografi
- d. *For construction*

3.3 Tahapan Penelitian

Tahapan pelaksanaan penelitian mencakup gambaran besar langkah-langkah pelaksanaan penelitian. Berikut tahapan penelitian yang dilakukan:

1. Analisis frekuensi curah hujan, diperlukan untuk menentukan curah hujan rancangan dengan periode ulang tertentu, yang kemudian digunakan untuk menghitung intensitas hujan (I) dalam Metode Rasional.
2. Perhitungan intensitas hujan, intensitas hujan dihitung menggunakan rumus Mononobe berdasarkan curah hujan rancangan (R_{24}) dan waktu konsentrasi (t_c) untuk memperoleh intensitas hujan dalam satuan mm/jam yang akan digunakan dalam perhitungan debit.
3. Perhitungan koefisien limpasan, koefisien limpasan (C) ditentukan berdasarkan jenis tata guna lahan dan karakteristik permukaan di area tangkapan air, kemudian dihitung koefisien limpasan gabungan untuk keseluruhan area.
4. Perhitungan debit limpasan rancangan, debit limpasan dihitung menggunakan Metode Rasional ($Q = 0,278 \times C \times I \times A$) untuk mengetahui besarnya debit air hujan yang harus ditampung oleh sistem drainase.
5. Evaluasi kapasitas saluran eksisting, kapasitas saluran drainase eksisting dihitung menggunakan persamaan Manning untuk mengetahui kemampuan saluran dalam menampung debit limpasan.
6. Perbandingan debit rancangan dengan kapasitas saluran, hasil perhitungan debit

rancangan dibandingkan dengan kapasitas saluran eksisting untuk mengidentifikasi saluran yang mampu atau tidak mampu menampung debit limpasan.

7. Identifikasi permasalahan drainase, berdasarkan hasil evaluasi, dilakukan identifikasi permasalahan pada sistem drainase eksisting seperti kapasitas tidak memadai, masalah kecepatan aliran, atau kondisi fisik saluran.
8. Penilaian kesesuaian lokasi untuk *bioswale*, dilakukan penilaian terhadap berbagai lokasi potensial berdasarkan kriteria topografi (kemiringan 1-5%), ketersediaan ruang, jenis tanah, dan kemudahan integrasi dengan sistem drainase eksisting.
9. Analisis kelayakan penerapan *bioswale*, dilakukan analisis kelayakan dari aspek teknis, spasial, lingkungan, dan sosial untuk menilai kemungkinan implementasi *bioswale* di setiap lokasi yang telah diidentifikasi.
10. Rekomendasi solusi drainase terintegrasi, berdasarkan hasil analisis dan kajian, disusun rekomendasi solusi yang mengintegrasikan sistem drainase konvensional dengan penerapan *bioswale* sebagai pendekatan *hybrid* untuk pengelolaan air hujan yang berkelanjutan.
11. Penyusunan laporan, seluruh hasil analisis, kajian, dan rekomendasi didokumentasikan dalam laporan magang secara sistematis dan komprehensif.

4. Hasil dan Pembahasan

4.1 Analisis Hidrologi

2.2.1 Data Curah Hujan

Data curah hujan merupakan data pokok yang diperlukan dalam analisis hidrologi. Karena data ini yang akan menentukan *input* air pada suatu wilayah sebelum menjadi limpasan (runoff), transpirasi, atau air tanah. Terdapat satu pos curah hujan yang berpengaruh pada daerah Sentul, kabupaten Bogor, yaitu stasiun hujan Citeko.

Dalam analisis ini digunakan data curah hujan harian dari 1 (satu) stasiun curah hujan terdekat, yaitu stasiun hujan BMKG Citeko. Data hujan yang diperoleh adalah data hujan harian selama 10 tahun terakhir, dimulai dari tahun 2015 sampai dengan tahun 2024. Dalam evaluasi drainase data curah hujan yang digunakan adalah data harian maksimum. Adapun data curah hujan harian maksimum dari stasiun BMKG Citeko dapat dilihat pada tabel di bawah.

4.1.2. Uji Konsistensi Data Hujan

Uji konsistensi data menggunakan data curah hujan tahunan. Metode yang digunakan dalam uji konsistensi data adalah metode *Rescaled Adjusted PartialSums* (RAPS). Analisis uji konsistensi metode RAPS pada data hujan sebagai berikut:

1. Curah hujan tahun 2015 (X_i) = 86,6 mm
2. Jumlah data hujan (n) = 10 tahun
3. Nilai rata-rata ($\bar{X}$) = 106,71 mm
4. Nilai statistik deviasi kumulatif (S_k) = $X_i - \bar{X}$
5. Nilai statistik standar deviasi (S_d) = $\sqrt{(X_i - \bar{X})^2 / n - 1}$
6. Nilai *Rescaled Adjusted Partial Sums*, (S_k^*) = S_k / S_d

4.1.3 Analisis Pemilihan Distribusi

Perhitungan persyaratan jenis distribusi data curah hujan dirumuskan dengan analisis di bawah ini:

- Nilai rata-rata ($\bar{X}$) = $\Sigma(X_i)/n$

$$\bar{X} = 1067,1/10 = 106,71$$

- Standar Deviasi (S_d)

S_d

$$S_d = \sqrt{6019,93/(10-1)}$$

$$= 25,86$$

- Koefisien variasi (cv)

$$= 25,86/106,71 = 0,24$$

- Koefisien kemencengan (C_s)

$$= (10 \times 153892,55) / ((10-1) \times (10-2) \times 25,86^3)$$

$$= 1,23$$

- Koefisien Kurtosis (C_k)

$$= (10^2 \times 11973835,12) / ((10-1) \times (10-2) \times (10-3) \times 25,86^4)$$

$$= 2,67$$

Berdasarkan hasil perhitungan diperoleh nilai $C_v = 0,24$, $C_s = 1,23$, $C_k = 2,67$, maka jenis sebaran dipilih berdasarkan syarat-syarat seperti tercantum pada tabel di bawah.

Hasil perhitungan untuk pemilihan distribusi sebaran hujan pada tabel di atas menunjukkan bahwa jenis sebaran yang dipilih mendekati Log Pearson III.

4.1.4 Uji Kecocokan

Untuk mengetahui data tersebut sesuai dengan jenis sebaran teoritis yang dipilih sebelumnya maka perlu dilakukan pengujian kecocokan. Pada hal ini pengujian data dilakukan menggunakan metode Uji Chi-kuadrat sebagai berikut :

- Menghitung jumlah kelas dirumuskan sebagai berikut: jumlah data hujan yang digunakan yaitu sebanyak 10 tahun.

$$K = 1 + 3,3 \log n$$

$$K = 1 + 3,3 \log 10$$

$$K = 4,3 \approx 5 \text{ kelas}$$

- Menghitung derajat kebebasan (DK) dirumuskan sebagai berikut:

$$P = n/K$$

$$= 10/5 = 2$$

$$Dk = K - (P+1)$$

$$= 5 - (2+1)$$

$$= 2$$

Dengan menggunakan derajat kepercayaan (α) = 5% dan nilai Dk = 2, sehingga berdasarkan tabel nilai kritis distribusi chi-kuadrat (uji satu sisi) diperoleh nilai derajat kepercayaan adalah (X^2_{cr}) sebesar = 5,99

- Penentuan interval kelas

$$Ik = (\text{curah hujan terbesar} - \text{curah hujan terkecil}) / \text{jumlah kelas}$$

$$= (164,10 - 80,50) / 5$$

$$= 16,74$$

- Sebaran analitis

$$Ef = n/k$$

$$= 10/5 = 2$$

Pembagian interval kelas

$$\begin{aligned}\text{Interval kelas I} &= \text{data terkecil} + I_k \\ &= 80,50 + 16,74 \\ &= 97,22\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}\text{Interval kelas II} &= \text{batas akhir kelas I} + I_k \\ &= 97,22 + 16,74 \\ &= 113,94\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}\text{Interval kelas III} &= \text{batas akhir kelas II} + I_k \\ &= 113,94 + 16,74 \\ &= 130,66\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}\text{Interval kelas IV} &= \text{batas akhir kelas III} + I_k \\ &= 130,66 + 16,74 \\ &= 147,38\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}\text{Interval kelas V} &= \text{batas akhir kelas IV} + I_k \\ &= 147,38 + 16,74 \\ &= 164,10\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}\text{Interval kelas VI} &= \text{batas akhir kelas V} + I_k \\ &= 164,10 + 16,74 \\ &= 180,82\end{aligned}$$

Tabel hasil uji kecocokan Chi- Kuadrat
Derajat kebebasan (α) = 5%

$$X^2 =$$

$$X^2 = 16/10$$

$$= 1,6$$

Jadi nilai $X^2 = 1,6 < X^2_{cr} = 5,99$.

Maka, dapat disimpulkan bahwa distribusi Log Pearson Type III tersebut dapat diterima.

4.1.5 Curah hujan Rancangan

Perhitungan curah hujan rancangan dengan menggunakan metode Log Pearson Tipe III dijabarkan pada Tabel

Tabel

Berdasarkan hasil perhitungan pada tabel, maka didapatkan:

· Nilai rata-rata (X_r)

$$\text{Log} X_r =$$

$$\text{Log} X_r = 2,01781$$

· Standar deviasi

$$\begin{aligned} \text{Slog} x &= \sqrt{0,08627/(10-1)} \\ &= 0,09789 \end{aligned}$$

· Koefisien kemencengan (C_s)

$$C_s =$$

$$\begin{aligned} C_s &= (10 \times 0,00587) / ((10-1) \times (10-2) \times (0,09789)^3) \\ &= 0,8167 \end{aligned}$$

Dari hasil analisis perhitungan di atas ditentukan nilai koefisien kemencengan (C_s) = 0,08694. Maka, dapat diperoleh besar faktor penyimpangan (k) untuk kemencengan positif (dapat dilihat pada tabel) dengan cara interpolasi, sebagai berikut:

$$\text{Periode ulang 2 tahun} \rightarrow P = 50\%$$

$$C_{sa} = 0,9 \quad ; k_a = -0,148$$

$$C_{sx} = 0,8167 \quad ; k_x = -0,13467$$

$$C_{sb} = 0,8 \quad ; k_b = -0,132$$

Perhitungan curah hujan rancangan dengan metode Log Pearson III adalah sebagai berikut :

Periode ulang 2 tahun

$$\text{Log } X_2 = \text{Log } X_r + K \times \text{Slog} x$$

$$\text{Log } X_2 = 2,01781 + (0,13467 \times 0,09789)$$

$$\text{Log } X_2 = 2,030994923$$

$$X2 = 107,3976857$$

Untuk hasil perhitungan curah hujan rancangan metode Log Pearson Type III dapat dilihat pada tabel

Tabel nilai faktor penyimpangan (K) untuk Log Pearson Type III dapat dilihat pada tabel

4.2 Elevasi Saluran Drainase Eksisting

2.2.1 Penentuan Debit Rencana

A. Luas Daerah Tangkapan Air (*Catchment Area*)

Luas wilayah tangkapan drainase dan skema jaringan drainase dapat dilihat pada Gambar.

B. Koefisien Pengaliran (C)

Nilai koefisien pengaliran ditentukan berdasarkan tipe tanah dan tutupan lahan pada daerah tinjauan yang dapat dilihat pada peta *catchment area*. Tutupan lahan keseluruhan pada klaster Spring Garden seluas 6,99 ha. Pada tutupan lahannya terdapat jenis tutupan yang berbeda, sebagai berikut :

- Luas daerah tangkapan pada taman seluas 0,69 ha.
- Luas daerah tangkapan pada jalan lingkungan perkerasan kaku seluas 1,38 ha
- Luas daerah tangkapan pada kavling perumahan 4,83 ha.

Berdasarkan luasan masing-masing tutupan lahan di atas ditentukan berdasarkan tabel koefisien pengaliran sebagai berikut :

- Tutupan lahan jalan lingkungan = 0,90
- Taman/ RTH = 0,20
- Rumah/ kavling = 0,60

Koefisien pengaliran dirumuskan dengan penjabaran di bawah ini :

$$C = ((1,38 \times 0,9) + (0,69 \times 0,2) + (4,83 \times 0,6)) / 6,99$$

$$= 0,612$$

C. Waktu Konsentrasi

Waktu konsentrasi adalah waktu yang diperlukan air dari titik tertentu pengaliran menuju titik keluar (*outlet*). Waktu konsentrasi pada saluran dapat dihitung dengan persamaan berikut :

a) Perhitungan waktu inlet (t_o)

Rumus menggunakan metode Kirpich:

$$t_o = 0,0195 \times L^{0,77} \times S^{(-0,385)}$$

Data yang diketahui :

- Panjang lintasan pengaliran 22 m
- Elevasi awal lahan (E_o lahan) 37 mdpl
- Elevasi akhir lahan (E_i) 35 mdpl
- Elevasi awal saluran (E_o) 36,94
- Elevasi akhir saluran (E_i) 39,33
- Diameter saluran NRPC 0,6 m
- Koefisien manning 0,013

a) Kemiringan lahan (S lahan)

$$S = (E_o - E_i) / L = (37 - 35) / 22$$

$$= 2 / 22$$

$$= 0,0909 = 9,09\%$$

$$\text{Hitung } t_o = 0,0195 \times (22)^{0,77} \times (0,0909)^{(-0,385)}$$

$$= 0,0195 \times 10,06 \times 3,74$$

$$= 0,734 \approx 0,73 \text{ menit}$$

b) Kemiringan saluran (S saluran) :

$$S \text{ saluran} = (E_o - E_1) / L$$

$$S \text{ saluran} = (36,94 - 39,33) / 4.800$$

$$S \text{ saluran} = 37,61 / 4.800$$

$$S \text{ saluran} = 0,00783 = 0,783\%$$

c) Dimensi saluran NRPC (pipa bulat)

$$A = \pi \times D^2 / 4$$

$$A = 3,14159 \times (0,6)^2 / 4$$

$$A = 3,14159 \times 0,36 / 4$$

$$A = 0,283 \text{ m}^2$$

d) Keliling basah (P)

$$P = \pi \times D$$

$$P = 3,14159 \times 0,6$$

$$P = 1,885 \text{ m}$$

e) Jari-jari Hidrolik (R)

$$R = A / P$$

$$R = 0,283 / 1,885$$

$$R = 0,150 \text{ m}$$

f) Kecepatan aliran (V) dengan koefisien manning

$$V = (1/n) \times R^{(2/3)} \times S^{(1/2)}$$

$$V = (1/0,013) \times (0,150)^{(2/3)} \times (0,00783)^{(1/2)}$$

$$V = 76,923 \times 0,279 \times 0,0885$$

$$V = 1,90 \text{ m/s}$$

g) Waktu aliran saluran (tf)

$$t_f = L / V$$

$$t_f = 4.800 / 1,90$$

$$t_f = 2.526 \text{ detik} = 42,1 \text{ menit}$$

h) Waktu konsentrasi total (t_c)

$$t_c = t_0 + t_f$$

$$t_c = 0,73 + 42,1$$

$$t_c = 42,83 \text{ menit}$$

$$t_c = 0,714 \text{ jam} \approx 0,71 \text{ jam}$$

D. Intensitas hujan

Intensitas hujan dihitung menggunakan rumus Mononobe:

$$I = (R_{24} / 24) \times (24 / t_c)^{(2/3)}$$

$$R_2 = 107,40 \text{ mm (periode ulang 2 tahun)}$$

$$t_c = 0,71 \text{ jam}$$

Analisis dijabarkan dengan rumus berikut:

$$I = (107,40 / 24) \times (24 / 0,71)^{(2/3)}$$

$$I = 4,475 \times (33,80)^{(2/3)}$$

$$I = 4,475 \times 11,31$$

$$I = 50,6 \text{ mm/jam}$$

Maka, intensitas curah hujan dinyatakan setelah perhitungan di atas yaitu, 50,6 mm/jam.

E. Perhitungan Debit Rancangan (Q)

1) Data:

$$\text{Koefisien limpasan (C)} = 0,612$$

$$\text{Intensitas hujan (I)} = 50,6 \text{ mm/jam}$$

$$\text{Luas area tangkapan (A)} = 6,99 \text{ ha} = 0,0699 \text{ km}^2$$

$$\text{Faktor konversi} = 0,278$$

2) Analisis dijabarkan dengan rumus berikut :

$$Q = 0,278 \times 0,612 \times 50,6 \times 0,0699$$

$$Q = 0,278 \times 0,612 \times 3,537$$

$$Q = 0,278 \times 2,165$$

$$Q = 0,602 \text{ m}^3/\text{s}$$

$$Q \approx 0,60 \text{ m}^3/\text{s}$$

Jadi, debit limpasan rancangan untuk kawasan Spring Garden dengan periode ulang 2 tahun adalah $0,56 \text{ m}^3/\text{s}$ atau 560 liter/detik.

4.3 Analisis Kondisi Eksisting Lokasi Studi

Lokasi studi yang merupakan kawasan perumahan dengan topografi berkontur lereng dan jenis tanah dominan *clay shale* menimbulkan tantangan kompleks dalam pengelolaan air limpasan. Analisis kondisi eksisting dilakukan berdasarkan kajian literatur terhadap karakteristik material *clay shale* dan responsnya terhadap curah hujan.

2.2.1 Karakteristik dan Perilaku Tanah *Clay Shale*

Tanah *clay shale* merupakan material sedimen yang dikenal memiliki sifat *durability* yang rendah dan sangat rentan terhadap pengaruh cuaca (*weathering*). Karakteristik utamanya yang kritis adalah: Sifat Mengembang dan Menyusut (*Shrink-Swell*): *Clay shale* mengandung mineral lempung, seperti montmorillonite, yang memiliki kapasitas tinggi dalam menyerap air. Ketika terkena hujan, mineral ini mengembang secara signifikan. Sebaliknya, pada musim kemarau, tanah menyusut dan retak. Siklus *swell-shrink* ini melemahkan struktur tanah secara bertahap dan menjadi pemicu awal pergerakan tanah (Sudjianto et al., 2021).

Penurunan Kekuatan Geser saat Jenuh: Ketika jenuh air akibat curah hujan tinggi, kekuatan geser (*shear strength*) tanah *clay shale* mengalami penurunan drastis. Air yang meresap berperan sebagai pelumas antar partikel tanah, mengurangi kohesi dan sudut geser dalam, sehingga massa tanah menjadi tidak stabil dan mudah bergerak membentuk longsoran (Fathani et al., 2018). Berdasarkan karakteristik ini, dapat disimpulkan bahwa kawasan studi memiliki kerentanan gerakan tanah yang tinggi, yang dipicu langsung oleh intensitas curah hujan.

2.2.2 Analisis Kesesuaian untuk Penerapan *Bioswale* Konvensional

Bioswale, sebagai infrastruktur hijau, memiliki prasyarat teknis tertentu untuk menjamin fungsionalitasnya. Berikut adalah analisis kesesuaiannya dengan kondisi lokasi:

- 1) Aspek Kemiringan Lereng: *Bioswale* konvensional dirancang untuk daerah dengan kemiringan landai (1-5%). Kemiringan ini ideal untuk memperlambat aliran air, memberikan waktu yang cukup untuk infiltrasi, dan mencegah erosi pada permukaan *bioswale* (Fachrul et al., 2020). Lokasi dengan kemiringan cukup tinggi akan menyebabkan air limpasan mengalir dengan kecepatan tinggi, berpotensi menyebabkan erosi permukaan pada saluran *bioswale* itu sendiri dan mengurangi efektivitas proses peresapan.
- 2) Aspek Jenis Tanah dan Laju Infiltrasi: Keefektifan *bioswale* sangat bergantung pada laju infiltrasi tanah. Tanah dengan tekstur kasar (berpasir) sangat ideal. Sebaliknya, tanah *clay shale* memiliki laju infiltrasi yang sangat rendah (hampir kedap air). Jika *bioswale* konvensional diterapkan, air hujan tidak akan dapat meresap dengan cepat dan akan cenderung menggenang di permukaan. Genangan air ini justru dapat memperparah kondisi lereng karena menyebabkan penjuanan tanah (*saturation*) di area tertentu, yang pada akhirnya memicu ketidakstabilan

lereng (Fathani et al., 2018).

Berdasarkan kedua aspek di atas, penerapan bioswale konvensional dengan fungsi utama infiltrasi dinilai tidak layak dan berisiko tinggi untuk lokasi ini. Konstruksi galian untuk *bioswale* dapat mengganggu kestabilan lereng yang sudah rentan, dan fungsinya tidak akan optimal.

4.4 Rekomendasi Solusi Hybrid dan Modifikasi Desain

Meskipun *bioswale* konvensional tidak direkomendasikan, prinsip pengelolaan air limpasan di sumbernya (*source control*) masih dapat diadopsi dengan pendekatan yang dimodifikasi. Solusi yang diusulkan adalah Sistem Drainase Hybrid yang Memprioritaskan Stabilitas Lereng.

2.2.1 Prioritas 1: Stabilisasi Lereng dan Pengaliran Air Permukaan

Sebelum menerapkan infrastruktur hijau apa pun, langkah pertama yang mutlak adalah memastikan stabilitas lereng. Tindakan ini bersifat *prerequisite* (prasyarat).

- Perkuatan Struktural Lereng: Diperlukan intervensi teknik sipil untuk meningkatkan *factor of safety* (FoS) lereng. Metode yang dapat dipertimbangkan antara lain soil nailing atau dinding penahan tanah (*retaining wall*) yang dilengkapi dengan sistem drainase *sub-surface* (Fathani et al., 2018).
- Sistem Drainase Permukaan yang Efisien: Membangun jaringan saluran permukaan (*open channel*) atau *paved ditch* yang kuat dan dilapisi beton/*grasscrete* untuk mengalirkan air hujan dari atas dan sepanjang lereng dengan cepat dan terkendali, sebelum air tersebut sempat meresap dan menjenuhkan tanah *clay shale*.

2.2.2 Penerapan *Bioswale* Tipe "Alir" (*Conveyance Bioswale*) dengan *Underdrain* dan Lapisan Kedap

Pada area tertentu yang relatif lebih landai di bagian kaki lereng atau di sepanjang jalan perumahan yang telah distabilkan, dapat diterapkan *bioswale* jenis *conveyance*.

- 1) Konsep Desain: *Bioswale* ini tidak mengandalkan infiltrasi ke tanah asli (*clay shale*). Sebaliknya, ia berfungsi untuk memperlambat, menyaring (filter), dan mengalirkan air, mencegahnya langsung masuk ke sistem drainase utama sekaligus meningkatkan kualitas air.
- 2) Komponen Krusial yang Direvisi: Lapisan Kedap (*Impermeable Liner*): Bagian dasar dan sisi bioswale harus dilapisi dengan material kedap air, seperti geomembrane HDPE (*High-Density Polyethylene*) atau lapisan beton bertulang yang rapat. Fungsi utama lapisan ini adalah untuk secara positif mencegah setiap rembesan air meresap ke dalam tubuh lereng tanah *clay shale* yang rentan.
- 3) Sistem *Underdrain*: Sebuah pipa berlubang (*perforated pipe*) dipasang di dasar bioswale, yang dibungkus oleh lapisan filter berupa kerikil bersih dan geotekstil. Air yang tertampung dan tersaring dalam media bioswale akan dialirkan dengan cepat melalui pipa *underdrain* ini menuju saluran outlet utama atau sistem drainase konvensional yang aman (Fachrul et al., 2020).

- 4) Media Tanam dan Vegetasi: Menggunakan campuran media tanam berporositas tinggi (seperti pasir dan kompos) yang diletakkan di atas lapisan kedap. Vegetasi dipilih untuk membantu memperlambat aliran, menyerap kelembapan untuk evapotranspirasi, dan menyerap polutan.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] V. Te Chow, D. R. Maidment, and L. W. Mays, *Development of Hydrology*. 1988.
- [2] K. SaThierbach *et al.*, *Soil erosion & Conservation*, vol. 3, no. 1. 2015. [Online]. Available:
<http://dx.doi.org/10.1016/j.bpj.2015.06.056><https://academic.oup.com/bioinformatics/article-abstract/34/13/2201/4852827>[Ainternal-pdf://semisupervised-3254828305/semisupervised.ppt](https://academic.oup.com/bioinformatics/article-abstract/34/13/2201/4852827/internal-pdf/semisupervised-3254828305/semisupervised.ppt)[Ahttp://dx.doi.org/10.1016/j.str.2013.02.005](https://academic.oup.com/bioinformatics/article-abstract/34/13/2201/4852827/internal-pdf/semisupervised-3254828305/semisupervised.ppt)[Ahttp://dx.doi.org/10.10](https://academic.oup.com/bioinformatics/article-abstract/34/13/2201/4852827/internal-pdf/semisupervised-3254828305/semisupervised.ppt)
- [3] M. G. R. Satriya and F. Saves, "Evaluation of Drainage System in Simorejo Settlement Area, Simomulyo Village, Sukomanunggal Sub-District, Surabaya City," *J. Tek. Sipil*, vol. 23, no. 1, p. 152, 2023, doi: 10.26418/jtst.v23i1.61047.
- [4] H. Heidari and M. R. Kavianpour, "Assessing the Applicability of Low Impact Development Techniques in Arid and Semi-arid Regions," *Environ. Prot. Res.*, pp. 20–37, 2021, doi: 10.37256/epr.112021889.
- [5] R. A. Purvis *et al.*, "Evaluating the water quality benefits of a bioswale in Brunswick County, North Carolina (NC), USA," *Water (Switzerland)*, vol. 10, no. 2, 2018, doi: 10.3390/w10020134.
- [6] K. P. Umum, D. A. N. P. Rakyat, D. Jenderal, C. Karya, D. Pengembangan, and K. Permukiman, "Kementerian pekerjaan umum dan perumahan rakyat direktorat jenderal cipta karya direktorat pengembangan kawasan permukiman".
- [7] S. F. Marzuki and Z. A. Halim, "Analisis Kinerja Sistem Drainase Terhadap Debit Banjir Rancangan Dengan Menggunakan Metode Rasional (Studi Kasus Jalan Ir . Sutami Kelurahan Bira Kecamatan Tamalanrea Kota Makassar)," vol. 01, no. 1, pp. 1–5, 2024.
- [8] A. Uji, "DRAINASE TERAPAN, H. A. HALIM HASMAR".
- [9] M. A. A *et al.*, "METODE RASIONAL DAN NAKAYASU UNTUK EVALUASI PERIMETER DITCH HYDROLOGICAL ANALYSIS USING RATIONAL AND NAKAYASU METHODS FOR DITCH PERIMETER," vol. 10, no. 1, pp. 21–28, 2025