

STUDI PERENCANAAN AIR LIMPASAN MENGGUNAKAN TEKNOLOGI *BIOSWALE* DI PERUMAHAN *THE 9 RESIDENCE*, KOTA MALANG

Sela Aulia Sandi¹, Anita Rahmawati² dan Reny Rochmawati³

¹Mahasiswa Teknik Sipil Fakultas Teknik Universitas Islam Malang

Email: 22101051102@unisma.ac.id

²Dosen Teknik Sipil Fakultas Teknik Universitas Islam Malang

Email: anita.rahmawati@unisma.ac.id

³Dosen Teknik Sipil Fakultas Teknik Universitas Islam Malang

Email: renyrochmawati@unisma.ac.id

ABSTRACT

The growth of residential areas increases impervious surfaces and can intensify stormwater runoff, thereby adding pressure to existing drainage systems. This study evaluates the planning of a bioswale as a sustainable stormwater management alternative at The 9 Residence Housing Complex, Lowokwaru District, Malang City. The study used 15 years of annual maximum rainfall data from 2011–2025, land-use data, topographic data, and soil permeability test results. Rainfall frequency analysis was performed using Normal, Log Normal, Gumbel, and Log Pearson Type III distributions, followed by Smirnov–Kolmogorov and Chi-Square goodness-of-fit tests. The selected 2-year design rainfall was 147.57 mm. The rational method produced a peak runoff discharge of 0.7477 m³/s using a combined runoff coefficient of 0.720 and a design intensity of 304.10 mm/h. The required runoff volume was 1,305.29 m³. A trapezoidal bioswale was then designed with a bottom width of 0.70 m, effective depth of 1.00 m, side slope of 1.5:1, freeboard of 0.15 m, Manning roughness coefficient of 0.25, and longitudinal slope of 2%. The calculated hydraulic capacity was 0.7954 m³/s, exceeding the design peak discharge. The mean measured soil permeability was 7.212176 cm/h, while the design infiltration medium was taken as 7 cm/h. The resulting drawdown time was 14.29 h, which is below the recommended 24–72 h range. The results indicate that the proposed bioswale is technically feasible as a complementary component of sustainable stormwater management at the study site.

Keyword: *Bioswale, stormwater runoff, sustainable drainage, design discharge, infiltration.*

1. PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Dalam ilmu Teknik sipil sendiri drainase didefinisikan sebagai suatu tindakan teknis untuk mengurangi kelebihan air pada suatu kawasan tersebut dapat berfungsi dengan baik [1],[5] Sistem drainase yang baik dapat membebaskan kota dari genangan air dan banjir sehingga lingkungan sekitar tidak terganggu dan dapat berfungsi secara optimal

Salah satu pendekatan yang dapat diterapkan adalah konsep drainase berkelanjutan atau ekodrainase. Konsep ini menekankan pengelolaan air hujan sedekat mungkin dengan sumbernya melalui proses menampung, meresapkan, dan mengendalikan aliran sebelum diteruskan menuju sistem drainase atau badan air penerima. Pendekatan

tersebut sejalan dengan konsep pengelolaan sumber daya air secara terpadu yang mengutamakan pemanfaatan air hujan sebagai bagian dari konservasi sumber daya air serta pengurangan beban limpasan menuju daerah hilir [13].

Salah satu bentuk infrastruktur hijau yang dapat diterapkan dalam sistem drainase berkelanjutan adalah *bioswale*. Teknologi *bioswale* merupakan suatu sistem yang dapat berfungsi menyerap dan membawa limpasan air hujan menuju ke saluran pembuangan air (drainase). *Bioswale* berbentuk cekungan landai yang ditanami vegetasi atau semak rumput yang lebat. *Bioswale* sering kali diterapkan di tempat parkir, median jalan, dan samping badan jalan dengan tujuan limpasan air hujan mengalir menuju *bioswale* sehingga

tidak menimbulkan genangan. Limpasan air hujan yang masuk ke *bioswale* tidak langsung menuju ke saluran pembuangan, melainkan air akan diserap oleh vegetasi jalur hijau akan menyaring polutan dalam air dan menyerap air ke dalam tanah. Struktur *bioswale* didesain menggunakan tanah dan kerikil sehingga air hujan dapat terserap ke dalam tanah dengan cepat. Selain itu, *bioswale* dapat didesain dengan memberikan vegetasi terutama yang berakar dalam untuk mempercepat infiltrasi dan mengurangi penyiraman pada vegetasi [11].

Kota Malang merupakan salah satu wilayah perkotaan yang mengalami perkembangan kawasan permukiman. Salah satu kawasan hunian yang berkembang adalah Perumahan *The 9 Residence* yang berada di Kecamatan Lowokwaru, Kota Malang. Kawasan ini memiliki tata guna lahan yang didominasi oleh bangunan rumah tinggal, jaringan jalan lingkungan, dan fasilitas pendukung lainnya. Kondisi tersebut menghasilkan permukaan terbangun yang dapat meningkatkan limpasan air hujan. Berdasarkan kondisi eksisting yang menjadi lokasi penelitian, Perumahan *The 9 Residence* belum menerapkan teknologi *bioswale* sebagai bagian dari sistem pengelolaan limpasan air hujan. Oleh karena itu, diperlukan suatu perencanaan yang dapat menyesuaikan karakteristik kawasan dengan kebutuhan pengelolaan limpasan dan tetap mempertahankan fungsi saluran drainase eksisting sebagai bagian dari sistem drainase kawasan

Penerapan *bioswale* di Perumahan *The 9 Residence* menjadi relevan karena sistem tersebut dapat direncanakan dengan mempertimbangkan kondisi kawasan, debit limpasan, ketersediaan lahan, karakteristik tanah, serta hubungan dengan saluran drainase eksisting. *Bioswale* tidak dimaksudkan untuk menggantikan saluran drainase yang sudah ada, tetapi menjadi salah satu komponen tambahan yang berfungsi mengelola sebagian limpasan air hujan melalui proses penampungan dan infiltrasi. Pendekatan tersebut diharapkan dapat mengurangi beban limpasan yang diteruskan ke saluran drainase sekaligus meningkatkan pemanfaatan air hujan di dalam kawasan. Selain aspek pengendalian

limpasan, penerapan *bioswale* juga dapat memberikan manfaat lingkungan melalui penggunaan vegetasi dan media infiltrasi. Beberapa contoh vegetasi yang dapat diaplikasikan pada *bioswale* meliputi rumput, semak hias, dan rumput vetiver. Jenis-jenis tanaman tersebut berfungsi untuk memperlambat kecepatan aliran air sehingga waktu kontak air dengan tanah menjadi lebih lama. Di sisi lain, media tanam yang terdiri atas lapisan tanah dan kerikil berperan penting dalam mendukung proses *infiltrasi* air hujan ke dalam tanah.

1.2 Rumusan Masalah

Berdasarkan latar belakang yang telah diuraikan, terdapat beberapa masalah utama yang perlu diidentifikasi masalah seperti berikut:

1. Berapakah debit limpasan rencana kala ulang 2 tahun berdasarkan analisis hidrologi pada perumahan *the 9 residence*?
2. Bagaimana perencanaan dimensi *bioswale* yang sesuai berdasarkan debit limpasan rencana dan kondisi eksisting Perumahan *The 9 Residence*?
3. Apakah dimensi *bioswale* yang direncanakan telah memenuhi kebutuhan kapasitas tampungan limpasan air hujan pada Perumahan *The 9 Residence*?

1.3 Tujuan Penelitian

Tujuan direncanakan studi perencanaan *bioswale* adalah sebagai berikut:

1. Menghitung debit limpasan rencana dengan kala ulang 2 tahun berdasarkan analisis hidrologi pada kawasan Perumahan *The 9 Residence*
2. Merencanakan dimensi *bioswale* berdasarkan debit limpasan rencana dan kondisi eksisting kawasan Perumahan *The 9 Residence*
3. Mengevaluasi kesesuaian kapasitas tampungan *bioswale* hasil perencanaan terhadap volume limpasan air hujan pada Perumahan *The 9 Residence* Kota Malang.

1.4 Manfaat Penelitian

Manfaat yang diharapkan dari studi perencanaan *bioswale* pada kawasan

Perumahan *The 9 Residence* Kota Malang adalah sebagai berikut:berikut:

1. Sebagai alternatif pengelolaan limpasan air hujan, melalui perencanaan *bioswale* yang berfungsi sebagai tempat penampungan sementara dan infiltrasi air hujan pada kawasan perumahan.
2. Membantu mengurangi beban limpasan pada sistem drainase eksisting, melalui perencanaan pengelolaan sebagian limpasan air hujan pada kawasan Perumahan *The 9 Residence*.
3. Mendukung penerapan sistem drainase berkelanjutan, dengan memanfaatkan proses penampungan dan infiltrasi air hujan sebagai bagian dari pengelolaan limpasan pada kawasan perumahan.
4. Penelitian ini diharapkan dapat memberikan manfaat baik secara teoritis maupun praktis dalam upaya pengelolaan air limpasan permukaan yang berkelanjutan, serta mendukung pencapaian Sustainable Development Goals (SDGs), khususnya SDG 6 (Air Bersih dan Sanitasi Layak) melalui peningkatan kualitas air, SDG 11 (Kota dan Permukiman yang Berkelanjutan) melalui penerapan infrastruktur hijau untuk mengurangi risiko genangan dan banjir.

1.5 Batasan Masalah

Agar pembahasan pada penelitian studi perencanaan yang direncanakan sesuai fokus permasalahan yang dituju, maka ditetapkan beberapa batasan masalah seperti berikut:

1. Perencanaan *bioswale* difokuskan pada aspek teknis, meliputi penentuan dimensi, kapasitas tampungan, kapasitas infiltrasi, media tanam, dan parameter penampang *bioswale* yang disesuaikan dengan kondisi kawasan penelitian.
2. Penelitian tidak membahas perubahan atau redesain terhadap saluran drainase eksisting. Saluran drainase yang telah ada tetap dipertahankan sebagai bagian dari sistem drainase kawasan.
3. Penelitian tidak memperhitungkan pembuangan dari perumahan.
4. Penelitian tidak melakukan pembangunan fisik *bioswale* maupun pengujian kinerja *bioswale* secara langsung di lapangan.

Hasil penelitian berupa rancangan teknis berdasarkan analisis dan perhitungan

5. Penelitian tidak membahas aspek biaya secara mendalam, termasuk Rencana Anggaran Biaya (RAB) dan analisis ekonomi pembangunan *bioswale*
6. Aspek sosial dan ekonomi masyarakat penghuni perumahan terkait penerimaan dan pemeliharaan *bioswale* tidak menjadi fokus utama dalam penelitian ini.

2. TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Analisis Hidrologi dan Curah Hujan

Analisis hidrologi diperlukan untuk menentukan intensitas dan debit banjir rencana. Apabila pada suatu kawasan terdapat lebih dari satu stasiun pencatat hujan, curah hujan rerata daerah dapat dihitung dengan beberapa metode. Metode Rata-rata $d = \frac{d_1 + d_2 + d_3 + d_n}{n}$ sederhana dan cocok untuk wilayah datar dengan stasiun tersebar merata.

Metode Isohiet $d = \frac{\sum \frac{(d_i - 1 + d_i)}{2} \cdot A_i}{A_n}$

menghubungkan titik-titik dengan tinggi curah hujan yang sama dan memberikan hasil paling teliti pada daerah dengan sebaran stasiun yang kurang merata. Metode Poligon Thiessen $d = \sum_{i=1}^n \frac{A_i \cdot d_i}{A}$ membagi kawasan menjadi poligon-poligon pengaruh setiap stasiun dan banyak digunakan sebagai pembanding meskipun mengasumsikan hujan merata pada tiap poligon [13]. Pada penelitian ini, digunakan data hujan dari satu stasiun terdekat (Stasiun Klimatologi Karangploso) mengingat keterbatasan sebaran stasiun pencatat hujan di sekitar lokasi studi.

Analisis frekuensi curah hujan bertujuan menentukan probabilitas besaran hujan pada masa mendatang berdasarkan beberapa parameter statistik, yaitu standar deviasi (S) = $\frac{\sqrt{\sum (X_i - \bar{X})^2}}{n - 1}$, koefisien keragaman (C_v) = $\frac{S}{\bar{X}}$, koefisien kemencengan (C_s) = $\frac{n \sum (X_i - \bar{X})^3}{(n-1)(n-2)(n-3)S^3}$, dan koefisien kurtosis (C_k), $C_s = \frac{n \sum (X_i - \bar{X})^4}{(n-1)(n-2)(n-3)S^4}$ [13]

Terdapat empat jenis distribusi frekuensi yang umum digunakan di Indonesia dapat dilihat pada tabel 1.

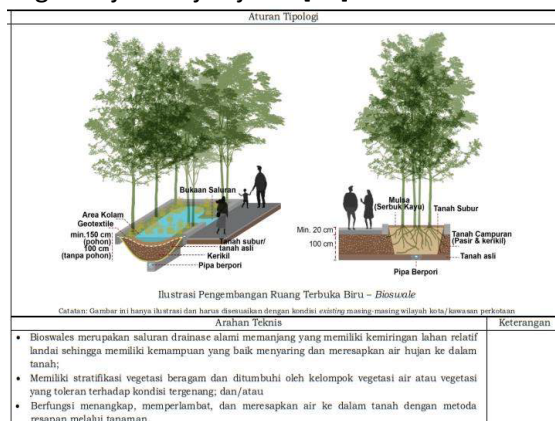
Tabel 1. Syarat Penentuan Jenis Distribusi

Distribusi	Syarat
Normal	Cs = 0
	Ck = 3
Log Normal	Cs = 3Cv + CV ³
	Ck = Cv ⁸ + 6CV ⁶ + 15CV ⁴ + 16CV ² + 3
Gumbel	Cs = 1,14
	Cs = 5,4
Log Pearson Type III	Cs positif atau negatif dan tidak memenuhi semua syarat diatas

Kesesuaian distribusi yang dipilih selanjutnya diuji menggunakan uji Smirnov-Kolmogorov (membandingkan simpangan maksimum data empiris dan teoritis, $\Delta_{maks} < \Delta_{kritis}$) dan uji Chi-Kuadrat (membandingkan χ^2_{hitung} dengan χ^2_{kritis} pada derajat kebebasan dan derajat kepercayaan tertentu).[7]

2.2 Bioswale

Bioswale merupakan suatu sistem yang dapat berfungsi menyerap dan membawa limpasan air hujan menuju ke saluran pembuangan air (drainase). *Bioswale* berbentuk cekungan landai yang ditanami vegetasi atau semak rumput yang lebat. *Bioswale* sering kali diterapkan di tempat parkir, median jalan, dan samping badan jalan dengan tujuan limpasan air hujan mengalir menuju *bioswale* sehingga tidak menimbulkan genangan. Limpasan air hujan yang masuk ke *bioswale* tidak langsung menuju ke saluran pembuangan, melainkan air akan diserap oleh vegetasi jalur hijau jalan.[11]



Gambar 1. Contoh *Bioswale*
Sumber: Permen no.14 2022

Perencanaan *bioswale* mempertimbangkan sepuluh kriteria teknis, yaitu lokasi penempatan yang menerima limpasan permukaan secara langsung, luas daerah tangkapan air (catchment area), kemiringan lahan sekitar 1-5%, kemiringan dasar saluran 1-4%, dimensi penampang (lebar dasar, kedalaman, kemiringan talud, dan freeboard), media tanam berpermeabilitas tinggi, lapisan drainase berupa kerikil/batu pecah, vegetasi yang tahan kondisi basah-kering bergantian, waktu pengosongan (*drawdown time*) kurang dari 24 jam, dan sistem pelimpah (overflow) sebagai pengaman kelebihan debit. Parameter teknis *bioswale* pada penelitian ini mengacu pada Maryland Stormwater Design Manual (2009) dan US EPA Storm Water Technology Fact Sheet: Vegetated Swales (1999), karena belum terdapat SNI yang secara khusus mengatur parameter desain *bioswale*. [8]

Tabel 2. Kriteria Parameter Teknis Perencanaan *Bioswale*

Parameter	Ketentuan
Permeabilitas media (f)	2 - 15 cm/jam
Porositas efektif (n)	0,30 - 0,40
Kemiringan talud (z)	<=3H:1V
Tebal media (hm)	0,45 - 0,90 m
Tebal lapisan kerikil (hk)	0,15 - 0,30 m
Freeboard (fb)	0,10 - 0,15 m
Kekasaran Manning (n)	0,15 - 0,30
Kemiringan dasar (S0)	0,5 - 2 %

Sumber: diadaptasi dari Maryland Stormwater Design Manual (2009) dan US EPA (1999).

2.3 Debit Air Hujan dan Koefisien Pengaliran

Koefisien pengaliran (C) merupakan perbandingan antara jumlah air yang mengalir sebagai limpasan dengan jumlah air hujan yang turun, yang nilainya ditentukan berdasarkan tata guna lahan (Subarkah, 1980). Pada kawasan dengan beberapa jenis tata guna lahan, koefisien pengaliran gabungan dihitung dengan metode luas tertimbang:

$$C = \frac{\sum_{i=1}^n A_i \cdot C_i}{\sum_{i=1}^n A_i}$$

Waktu konsentrasi (tc) yaitu waktu yang diperlukan air hujan mengalir dari titik terjauh menuju outlet dihitung menggunakan Persamaan Kirpich, $t_c = 0,0195 \times L^{0,77} \times i^{-0,385}$,

dengan L adalah panjang lintasan aliran (m) dan S adalah kemiringan rata-rata lintasan (m/m). Intensitas hujan dihitung menggunakan Metode Mononobe, $I = \frac{R}{24} \cdot \left(\frac{24}{tc}\right)^{\frac{2}{3}}$ sedangkan debit puncak rencana untuk daerah tangkapan kecil dihitung dengan Metode Rasional: $Q = 0,278 \cdot C \cdot I \cdot A$ dengan Q adalah debit puncak (m³/detik), C adalah koefisien pengaliran, I adalah intensitas hujan (mm/jam), dan A adalah luas daerah pengaliran (km²). Metode ini dipilih karena daerah tangkapan Perumahan The 9 Residence tergolong kecil (<10 ha) sehingga sesuai kriteria desain hidrologi sistem drainase perkotaan. [13]

2.4 Perencanaan Dimensi Bioswale

Volume limpasan rencana yang harus ditampung dihitung dengan persamaan $Vol = C \cdot R \cdot \frac{A}{1000}$, dengan R adalah curah hujan rencana (mm) dan A adalah luas kawasan (m²). Penampang bioswale umumnya berbentuk trapesium karena memiliki kapasitas tampung lebih besar, stabilitas kemiringan lahan lebih baik, dan memperluas bidang infiltrasi dibandingkan penampang persegi. Parameter geometri dihitung dengan persamaan: lebar permukaan $T = b + 2 \cdot z \cdot h$. Kedalaman total bioswale $H = h + fb$. Luas penampang basah $A = h(b + zh)$, Keliling basah $P = b + 2h\sqrt{1 + z^2}$ jari-jari hidrolis $R = \frac{A}{P}$ dengan T adalah lebar permukaan (m), b lebar dasar (m), z kemiringan talud, h kedalaman efektif (m), H kedalaman total (m), fb freeboard (m), A luas penampang basah (m²), P keliling basah (m), dan R jari-jari hidrolis (m). Kapasitas aliran dihitung dengan Persamaan Manning, $Q = \frac{1}{n} A \cdot R^{2/3} S^{1/2}$ yang hasilnya dibandingkan terhadap debit puncak rencana untuk menentukan kecukupan hidraulik penampang. Volume tampungan efektif dihitung dengan $V = A \cdot L \cdot n$, dengan L adalah panjang bioswale per segmen dan n adalah porositas efektif media. Waktu infiltrasi (drawdown time) dihitung dengan $t = \frac{A}{P}$ dengan h adalah kedalaman genangan (cm) dan f adalah laju infiltrasi media (cm/jam); pedoman Maryland Stormwater Design Manual (2009) merekomendasikan waktu drawdown kurang dari 24 jam.

3. METODOLOGI PENELITIAN

3.1 Lokasi Penelitian

Lokasi penelitian berada di kawasan Perumahan The 9 Residence, Jl. Arumba No. 11, Kelurahan Tunggulwulung, Kecamatan Lowokwaru, Kota Malang, Jawa Timur, dengan luas lahan 12.285 m² yang terdiri dari 112 unit rumah dengan berbagai tipe. Secara geografis, Kecamatan Lowokwaru terletak pada koordinat 7 derajat 56'46" Lintang Selatan (LS) dan 112 derajat 37'18" Bujur Timur (BT), dengan topografi berupa dataran sedang pada ketinggian sekitar 520 m di atas permukaan laut. Perumahan tersebut telah selesai tahap pembangunan dan berfungsi sebagai kawasan hunian dengan pola tata guna lahan permanen, sehingga kondisi eksisting dapat digunakan secara langsung sebagai dasar perencanaan bioswale.

3.2 Data yang Digunakan

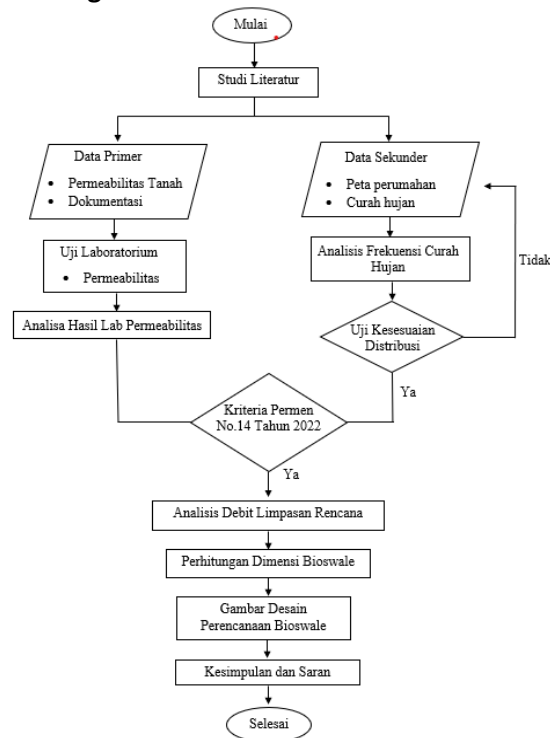
Data-data yang digunakan pada studi perencanaan ini diperoleh dari beberapa sumber, yaitu instansi pemerintahan, proyek pelaksanaan perumahan, dan uji laboratorium, sebagaimana dirangkum pada Tabel 3.

Tabel 3. Data yang Digunakan dalam Penelitian

Data	Sumber
Curah hujan 2011-2025	BMKG Karangploso
Peta kawasan perumahan	Data Perumahan The 9 Residence
Topografi	Data Kawasan/Lapangan
Permeabilitas tanah	Uji laboratorium

Data curah hujan 15 tahun terakhir (2011-2025) diperoleh dari Stasiun Klimatologi Karangploso yang merupakan titik pencatat terdekat dengan lokasi studi, digunakan untuk analisis frekuensi dan penentuan hujan rencana. Data peta perumahan digunakan sebagai dasar analisis luas daerah tangkapan air dan persentase tata guna lahan. Data permeabilitas tanah hasil uji laboratorium (metode constant head/falling head pada tiga titik sampel) digunakan untuk menentukan laju infiltrasi media dan waktu drawdown bioswale. Data-data yang digunakan pada studi perencanaan ini diperoleh dari beberapa sumber, yaitu instansi pemerintahan, proyek pelaksanaan perumahan, dan uji laboratorium, sebagaimana dirangkum pada Tabel 3.

3.3 Bagan Alir Penelitian



Gambar 2. Bagan alir penelitian

4. HASIL DAN PEMBAHASAN PENELITIAN

4.1 Kondisi Daerah Studi

Kecamatan Lowokwaru memiliki jarak sekitar 9 km dari pusat pemerintahan Kota Malang, dengan ketinggian antara 440 m hingga 667 m di atas permukaan laut. Wilayah ini berbatasan dengan Kecamatan Karangploso di sebelah utara, Kecamatan Blimbing di sebelah timur, Kecamatan Klojen di sebelah selatan, dan Kecamatan Dau di sebelah barat. Pada tahun 2025, Kecamatan Lowokwaru memiliki jumlah penduduk sebanyak 163.639 jiwa dengan luas wilayah 2.089.513 ha, sedangkan Kelurahan Tunggulwulung tempat Perumahan The 9 Residence berada memiliki luas wilayah 112.400 ha.

Berdasarkan data topografi lokasi penelitian, elevasi tertinggi kawasan berada pada 528 m dan elevasi terendah pada 525 m, dengan panjang lintasan aliran utama 150 m, sehingga diperoleh kemiringan rata-rata lahan sebesar 2% ($S = \Delta H/L$). Perumahan The 9 Residence memiliki total 112 unit rumah dengan tujuh variasi tipe kavling, yaitu tipe 36, tipe 46, tipe 60, tipe 78, tipe 60 (kavling 84 m²), tipe 85, dan tipe 212, yang mencerminkan komposisi hunian dengan kepadatan bangunan

cukup tinggi pada kawasan seluas 12.285 m².

4.2 Curah Hujan Rancangan

Data curah hujan maksimum tahunan diperoleh dari Stasiun Klimatologi Karangploso periode 2011-2025. Curah hujan tertinggi tercatat pada November 2022 sebesar 458 mm. Ringkasan curah hujan maksimum tahunan disajikan pada Tabel 4.

Tabel 4. Curah Hujan Maksimum Tahunan (2011-2025)

Tahun	Xi (mm)
2011	74
2012	80
2013	84
2014	67
2015	112
2016	96
2017	153
2018	96
2019	214
2020	132
2021	220
2022	458
2023	314
2024	364
2025	412

Dari data tersebut diperoleh rata-rata curah hujan $X = 191,733$ mm dan standar deviasi $S = 133,197$ mm, sehingga koefisien keragaman $C_v = 0,695$, koefisien kemencengan $C_s = 0,945$, dan koefisien kurtosis $C_k = 0,203$. Perbandingan parameter statistik terhadap syarat setiap distribusi disajikan pada Tabel 5.

Tabel 5. Pemilihan Analisis Frekuensi Curah Hujan

Distribusi	Keterangan
Normal	Tidak memenuhi
Log Normal	Tidak memenuhi
Gumbel Tipe I	Tidak memenuhi
Log Pearson III	Memenuhi

Berdasarkan hasil tersebut, distribusi Log Pearson Tipe III dipilih untuk analisis curah hujan rancangan. Logaritma curah hujan rancangan dihitung dengan persamaan $\text{Log } X_T = \text{Log } X + S \cdot G$, dengan $\text{Log } X = 2,190$, $S = 0,290$, dan nilai G diperoleh melalui interpolasi Tabel Nilai G Distribusi Log Pearson Tipe III berdasarkan koefisien kemencengan logaritma $C_s = 0,417$, sebagaimana dirangkum pada Tabel 6.

Tabel 6. Nilai G dan Curah Hujan Rancangan

Kala Ulang (th)	Nilai G
2	-0,069
5	0,815
10	1,318
25	1,885
50	2,269
100	2,627

Hasil antilog dari Log XT pada masing-masing kala ulang menghasilkan curah hujan rancangan sebagaimana telah dirangkum pada Tabel 8. Kesesuaian distribusi kemudian diuji dengan dua metode independen agar hasil analisis frekuensi dapat dipertanggungjawabkan secara statistik.

Uji Smirnov-Kolmogorov, yang membandingkan peluang empiris (persamaan Weibull) dengan peluang teoritis distribusi normal baku, menghasilkan simpangan maksimum $D_{maks} = 0,170$, lebih kecil dari nilai kritis $D_0 = 0,34$ pada $n = 15$ dan derajat kepercayaan $\alpha = 5\%$. Uji Chi-Kuadrat dengan jumlah kelas JK = 5 dan derajat kebebasan DK = 2 menghasilkan $\chi^2_{hitung} = 2,000$, lebih kecil dari $\chi^2_{kritis} = 5,9914$.

Karena $D_{maks} < D_0$ dan $\chi^2_{hitung} < \chi^2_{kritis}$, kedua hasil uji secara konsisten menyatakan bahwa distribusi Log Pearson Tipe III dapat diterima dan layak digunakan sebagai dasar penentuan curah hujan rancangan pada penelitian ini.

4.3 Detail Perhitungan Statistik dan Uji Kesesuaian Distribusi

Tabel 6. Hasil Analisa Statistik Curah Hujan

Tahun	X_i (mm)	$X_i - \bar{X}$
2011	74	-118
2012	80	-113
2013	84	-109
2014	67	-126
2015	112	-81
2016	96	-97
2017	153	-40
2018	96	-97
2019	214	21
2020	132	-61
2021	220	27
2022	458	265
2023	314	121
2024	364	171
2025	412	219

Perhitungan parameter statistik diawali dengan mengurutkan data curah hujan maksimum tahunan (Tabel 4) kemudian menghitung selisih setiap data terhadap nilai rata-rata. Ringkasan hasil perhitungan disajikan pada Tabel 6, hasil pengujian Smirnov-Kolmogorov setiap data disajikan pada Tabel 7.

Dari Tabel 7 diperoleh jumlah kuadrat selisih $S(X_i - \bar{X})^2 = 248.380$, sehingga standar deviasi $S = 133,197$ mm sebagaimana telah digunakan pada sub-bab 4.2. Selanjutnya, setiap data hujan diurutkan dari nilai terbesar ke terkecil untuk dihitung peluang empirisnya menggunakan persamaan Weibull, $P = m/(n+1) \times 100\%$, kemudian dibandingkan dengan peluang teoritis distribusi normal baku $P'(x)$ untuk memperoleh simpangan D pada setiap data, sebagaimana dirangkum pada Tabel 7

Tabel 7. Ringkasan Uji Smirnov-Kolmogorov

Tahun	$P(x <)$ teoritis	D
2022	0,938	0,010
2025	0,875	0,050
2024	0,813	0,127
2023	0,750	0,099
2021	0,688	0,021
2019	0,625	0,052
2017	0,563	0,082
2020	0,500	0,106
2015	0,438	0,133
2016	0,400	0,170
2018	0,313	0,083
2012	0,250	0,096
2013	0,188	0,014
2011	0,125	0,004
2014	0,063	0,038

Nilai simpangan maksimum pada Tabel 10 terjadi pada data tahun 2016 dengan $D = 0,170$, yang masih lebih kecil dari nilai kritis $D_0 = 0,34$, sehingga sejalan dengan kesimpulan pada sub-bab 4.2 bahwa distribusi Log Pearson Tipe III dapat diterima sebagai dasar analisis curah hujan rancangan pada penelitian ini.

Tabel 8. Curah Hujan Rancangan Metode Log Pearson III

Kala Ulang (th)	X_t (mm)
2	147,57
5	266,69
10	373,25
25	544,50
50	704,69
100	893,31

4.4 Permeabilitas Tanah

Hasil uji laboratorium pada tiga titik lokasi diperoleh nilai koefisien permeabilitas rata-rata sebesar 7,212 cm/jam, yang menurut klasifikasi Terzaghi dan Peck (1967) termasuk kategori pasir sedang (medium sand) dengan kemampuan meloloskan air yang tinggi, sehingga sangat mendukung penerapan sistem infiltrasi seperti *bioswale*

4.5 Tata Guna Lahan dan Koefisien Pengaliran

Luas total kawasan Perumahan The 9 Residence adalah 12.285 m² dengan tata guna lahan yang terdiri atas atap rumah, jalan dan area parkir, halaman berupa paving, ruang terbuka hijau, serta fasilitas umum, sebagaimana dirangkum pada Tabel 9.

Tabel 9. Tata Guna Lahan dan Koefisien Limpasan

Tata Guna Lahan	C	Luas (ha)
Atap rumah	0,95	0,4300
Jalan & parkir	0,85	0,3071
Paving	0,70	0,1843
Taman/RTH	0,25	0,2457
Fasilitas umum	0,40	0,0614

Perhitungan Koefisien limpasan gabungan dilakukan dengan metode luas tertimbang menggunakan persamaan

$$C = \frac{\sum_{i=1}^n A_i \cdot C_i}{\sum_{i=1}^n A_i}$$

$$C = \frac{0,8845}{1,2285} = 0,720$$

Dengan demikian diperoleh koefisien limpasan gabungan sebesar 0,720

4.6 Debit Puncak Rencana

Perhitungan waktu konsentrasi dengan Persamaan Kirpich menggunakan panjang lintasan aliran terjauh $L = 150$ m dan kemiringan lahan $S = 0,02$ m/m menghasilkan $t_c = 0,069$ jam (4,17 menit). Intensitas hujan rencana dengan Metode Mononobe menggunakan curah hujan rencana kala ulang 2 tahun $R_{24} = 147,57$ mm menghasilkan:

$$I = \left(\frac{R}{24} \right) \times \left(\frac{R}{t_c} \right)^{\frac{2}{3}}$$

$$= \left(\frac{147,57}{24} \right) \times \left(\frac{24}{0,069} \right)^{\frac{2}{3}}$$

$$= 304,10 \text{ (mm/jam)}$$

Dengan koefisien limpasan gabungan $C = 0,720$ dan luas kawasan $A = 0,012285$ km²,

debit puncak rencana menggunakan Metode Rasional adalah:

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

$$= 0,278 \cdot 0,720 \cdot 304,10 \text{ mm/jam} \cdot 0,012285 \text{ km}^2$$

$$= 0,7477 \text{ m}^3/\text{detik}$$

Volume limpasan rencana yang harus ditampung dihitung sebesar :

$$\text{Vol} = C \cdot R \cdot \frac{A}{1000}$$

$$= 0,720 \cdot 147,57 \cdot \left(\frac{12285}{1000} \right)$$

$$= 1.305,29 \text{ m}^3.$$

Nilai debit dan volume tersebut menjadi acuan utama dalam perencanaan dimensi *bioswale* pada tahap selanjutnya.

4.7 Dimensi Bioswale

Parameter teknis *bioswale* ditetapkan berdasarkan hasil studi literatur dengan mengacu pada Tabel 2, disesuaikan kondisi kawasan penelitian: permeabilitas media tanam 7,00 cm/jam, porositas efektif media $n = 0,40$, kemiringan talud $z = 1,50$, lebar dasar $b = 0,70$ m, kedalaman efektif $h = 1,00$ m, kedalaman genangan (ponding) 0,35 m, freeboard $fb = 0,15$ m, koefisien kekasaran Manning $n = 0,25$, dan kemiringan dasar saluran $SO = 2,00\%$.

Tabel 10. Ringkasan Dimensi dan Kinerja Bioswale

Parameter	Nilai
Debit puncak rencana (Q)	0,7477 m ³ /dt
Lebar dasar (b)	0,70 m
Lebar atas (T)	3,70 m
Kedalaman efektif (h)	1,00 m
Kedalaman total (H)	1,15 m
Kapasitas Manning (Q kap.)	0,7954 m ³ /dt
Volume tampungan/segmen	17,60 m ³
Waktu drawdown	14,29 jam

Bioswale direncanakan menggunakan penampang trapesium sesuai persamaan geometri pada sub-bab 2.5, sehingga diperoleh:

$$T = b + 2 \cdot z \cdot h = 0,70 + (2 \times 1,50 \times 1) = 3,70 \text{ m} ;$$

$$H = h + fb = 1,00 + 0,15 = 1,15 \text{ m} ;$$

$$A = h(b + zh) = 2,200 \text{ m}^2 ;$$

$$P = b + 2h\sqrt{1 + z^2}$$

$$P = 0,70 + 2(1)\sqrt{1 + 1,50^2}$$

$$= 4,306 \text{ m} ;$$

$$R = \frac{A}{P} = 0,511 \text{ m}$$

Nilai jari-jari hidrolik sebesar 0,511 m menunjukkan bahwa penampang trapesium yang direncanakan memiliki efisiensi hidrolik yang cukup baik untuk mengalirkan limpasan menuju outlet.

4.8 Kapasitas Aliran dan Volume Tampungan

Kapasitas aliran dihitung menggunakan Persamaan Manning:

$$Q = \frac{1}{n} A R^{2/3} S^{1/2}$$

$$Q = \frac{1}{0,250} \times 2,200 \times (0,511)^{2/3} \times (0,0200)^{1/2}$$

$$Q = 0,7954 \text{ m}^3/\text{detik}$$

Nilai tersebut dibandingkan terhadap debit puncak rencana hasil analisis hidrologi, $Q_{\text{rencana}} = 0,7477 \text{ m}^3/\text{detik}$, sehingga diperoleh $Q_{\text{kapasitas}} (0,7954 \text{ m}^3/\text{detik}) > Q_{\text{rencana}} (0,7477 \text{ m}^3/\text{detik})$. Dengan demikian, penampang *bioswale* yang direncanakan memenuhi syarat hidraulik dan mampu mengalirkan debit limpasan rencana tanpa menyebabkan luapan, dengan kapasitas sisa sebesar 0,0477 m³/detik sebagai faktor keamanan tambahan.

Volume tampungan efektif dihitung berdasarkan luas penampang tampungan

$$A = \left(\frac{B + T}{2} \right) h$$

$$A = \left(\frac{0,70 + 3,70}{2} \right) 1 = 2,200 \text{ m}^2,$$

porositas efektif media menggunakan persamaan $V = A.L.n$, sehingga diperoleh

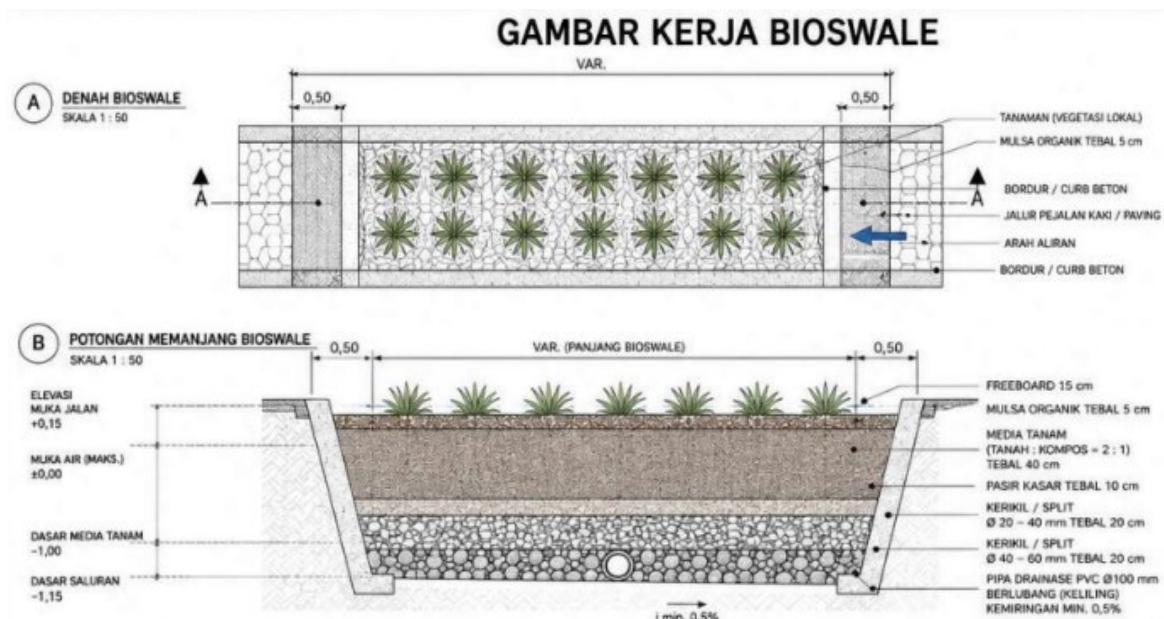
volume tampungan sebesar 17,60 m³ per segmen. Nilai ini menunjukkan bahwa setiap segmen *bioswale* mampu menampung air melalui kombinasi ruang genangan permukaan dan pori media tanam, sehingga jumlah segmen dapat disesuaikan dengan panjang jalan lingkungan dan tata letak kawasan agar total volume tampungan mendekati kebutuhan volume limpasan rencana.

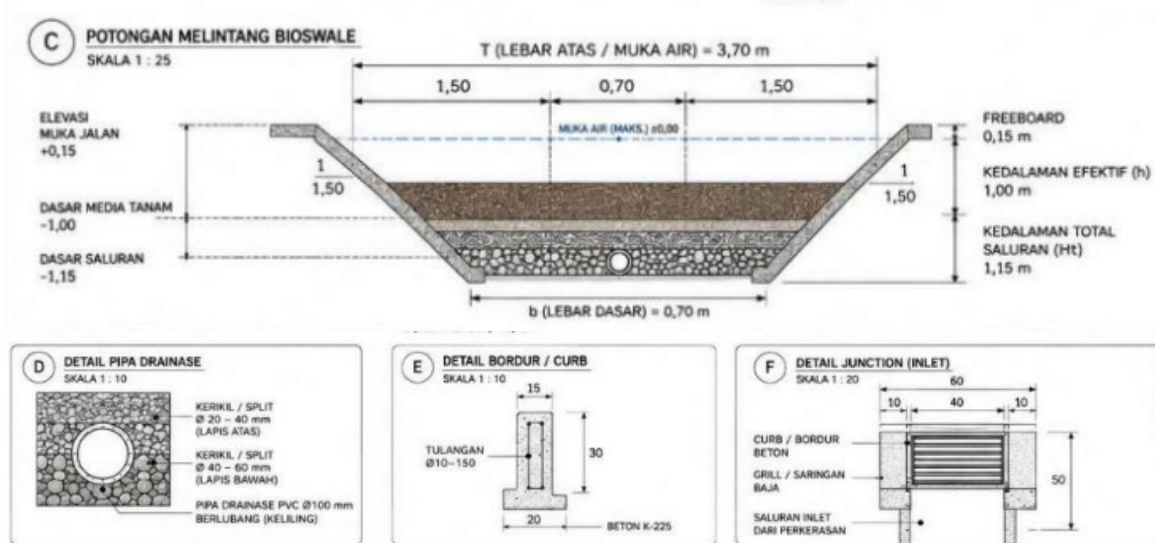
4.9 Waktu Infiltrasi (Drawdown Time)

Evaluasi waktu infiltrasi dilakukan untuk memastikan media filter mampu mengosongkan tampungan sebelum kejadian hujan berikutnya. Berdasarkan kedalaman genangan $h = 100 \text{ cm}$ dan laju infiltrasi media $f = 7 \text{ cm/jam}$, waktu infiltrasi dihitung sebagai berikut: $t = \frac{h}{f} = \frac{100}{7} = 14,29 \text{ jam}$

Hasil tersebut menunjukkan bahwa genangan air pada *bioswale* diperkirakan akan surut dalam waktu 14,29 jam setelah hujan berhenti.

Berdasarkan pedoman *Maryland Stormwater Design Manual* (2009), waktu drawdown yang direkomendasikan adalah kurang dari 24 jam. Dengan waktu infiltrasi sebesar 14,29 jam, *bioswale* yang direncanakan telah memenuhi persyaratan tersebut. Hal ini menunjukkan bahwa media filter memiliki kemampuan infiltrasi yang baik sehingga air tidak tertahan terlalu lama di permukaan.





Gambar 3 .Hasil Perencanaan bioswale

5. PENUTUP

5.1 Kesimpulan

Berdasarkan hasil analisis hidrologi dan perencanaan *bioswale* pada kawasan Perumahan *The 9 Residence*, Kecamatan Lowokwaru, Kota Malang, dapat disimpulkan sebagai berikut:

1. Debit puncak limpasan rencana dengan kala ulang 2 tahun sebesar 0,7477 m³/detik, dengan volume limpasan sebesar 1.305,29 m³.
2. *Bioswale* direncanakan menggunakan penampang trapesium dengan lebar dasar 0,70 m, kedalaman efektif 1,00 m, kemiringan talud 1,5:1, dan freeboard 0,15 m. Kapasitas aliran berdasarkan metode Manning sebesar 0,7954 m³/detik, sehingga memenuhi debit puncak rencana.
3. Waktu *drawdown* yang diperoleh sebesar 14,29 jam, sehingga genangan dapat surut dalam waktu kurang dari 24 jam. Dengan demikian, *bioswale* yang direncanakan dapat digunakan sebagai alternatif pengelolaan limpasan air hujan pada kawasan perumahan *The 9 Residence*.

5.2 Saran

Berdasarkan hasil perencanaan yang telah dilakukan, beberapa saran yang dapat diberikan adalah sebagai berikut:

1. *Bioswale* yang telah direncanakan dapat dipertimbangkan untuk diterapkan pada kawasan Perumahan *The 9 Residence*

sebagai salah satu alternatif pengelolaan limpasan air hujan.

2. Apabila *bioswale* akan direalisasikan, perlu dilakukan penyesuaian kembali terhadap kondisi lapangan, terutama terkait elevasi, arah aliran, ketersediaan lahan, dan hubungan dengan saluran drainase eksisting.
3. Pemeliharaan *bioswale* perlu dilakukan secara berkala dengan menjaga kebersihan saluran, vegetasi, dan media infiltrasi agar fungsi penampungan serta infiltrasi tetap berjalan dengan baik.
4. Untuk penelitian selanjutnya, perencanaan dapat dikembangkan dengan mempertimbangkan aspek biaya pembangunan, pemeliharaan, serta pengujian kinerja *bioswale* secara langsung di lapangan.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] Alasow, N. M., Suprpto, B., & Noerhayati, E. (2019). Studi Evaluasi Drainase Di Kecamatan Kepanjen Kabupaten Malang. Download. Garuda. Kemdikbud. Go. Id, 7(2), 102-107.
- [2] Arifin, S. S. (2022). MODEL PENGEMBANGAN RUANG TERBUKA HIJAU PERKOTAAN: STUDI KASUS KOTA GORONTALO= URBAN GREEN SPACE DEVELOPMENT MODEL: A CASE STUDY OF GORONTALO CITY (Doctoral dissertation, Universitas Hasanuddin).
- [3] Badan Meteorologi, Klimatologi, dan Geofisika, Data curah hujan Stasiun Klimatologi Karangploso, Malang, 2011–2025.

- [4] Badan Standardisasi Nasional, SNI 03-3424-1994: Tata Cara Perencanaan Drainase Permukaan Jalan. Jakarta: BSN, 1994.
- [5] Hamam, W. N., Rokhmawati, A., & Rahmawati, A. (2023). Perencanaan Jaringan Drainase pada Perumahan Permata Garden Regency Kecamatan Junrejo Kota Batu. *Jurnal Rekayasa Sipil (e-journal)*, 13(1), 375-384.
- [6] J. Loebis, Banjir Rencana untuk Bangunan Air. Jakarta: Departemen Pekerjaan Umum, 1992.
- [7] Khoerani, A., Prayogo, R. D. R. B., & Sari, R. R. (2022, August). Perancangan *Bioswale* sebagai Jalur Hijau Jalan Studi Kasus Jalan Soekarno Hatta, Kota Bandung. In *Prosiding Industrial Research Workshop and National Seminar (Vol. 13, No. 01, pp. 190-198)*.
- [8] Maryland Department of the Environment, Maryland Stormwater Design Manual, 2009.
- [9] M. Dinić-Branković, P. Mitković, I. Bogdanović-Protić, M. Igić, and J. Đekić, "*Bioswales as Elements of Green Infrastructure-Foreign Practice and Possibilities of Use in the District of the City of Nis, Serbia*," Serbia, Nov. 2018. <https://www.researchgate.net/publication/335219312>
- [10] *Permen ATR KBPN Nomor 14 Tahun 2022*,
- [11] Simamora dkk., "Pengurangan Limpasan Menggunakan *Bioswale*-Biopori Cocopeat sebagai Cadangan Air RTH Perkotaan," 2022.
- [12] Soewarno. (1995). Hidrologi Aplikasi Metode Statistik untuk Analisa Data Jilid I. Bandung: Nova.
- [13] Suripin. (2004). Sistem Drainase Perkotaan yang Berkelanjutan. Penerbit ANDI, Yogyakarta.
- [14] United States Environmental Protection Agency, Storm Water Technology Fact Sheet: Vegetated Swales, EPA 832-F-99-006, Washington, DC, 1999.