Jurnal Teknologi dan Rekayasa Sumber Daya Air Vol. 7 No. 1 (2027) 77 - 89
© Departemen Teknik Pengairan, Fakultas Teknik, Universitas Brawijaya

JTRESDA

Journal homepage: https://jtresda.ub.ac.id/
p-ISSN : 2798-2386 I e-ISSN : 2798-3420

Upaya Pengendalian Genangan Berbasis *Ecodrain* Pada Kawasan Desa Kedawung dan Ketanggungan Kecamatan Ketanggungan Kabupaten Brebes

Ecodrain-based Flood Control Efforts in the Villages of Kedawung and Ketanggungan Ketanggungan Subdistrict, Brebes Regency

Egar Baehaqi Lizarazu[1]*, **Sumiadi**[1], **Muhammad Nurjati Hidayat**[1]

Departemen Teknik Pengairan, Fakultas Teknik, Universitas Brawijaya Jalan MT. Haryono No.167, Malang, 65145, Indonesia

Korespondensi Email :
egarbaehaqi12@gmail.com

DOI:
https://doi.org/10.21776/ub.jtresda.2027.7.1.7

Kata kunci: Genangan, Drainase, Ecodrainage, Sumur Resapan, SWMM, Rencana Anggaran Biaya.

Keywords: *Puddles, Drainage, Ecodrainage, Infiltration Wells, SWMM, Cost Estimate.*

Article history:
Received: 22-07-2026
Accepted: 22-9-2026

Abstrak: Perubahan tata guna lahan yang semula ruang terbuka hijau menjadi kawasan pemukiman di kawasan Desa Kedawung dan Desa Ketanggungan, Kecamatan Ketanggungan, Kabupaten Brebes, telah menurunkan laju infiltrasi tanah dan meningkatkan volume limpasan permukaan. Genangan lokal setinggi 15 cm hingga 20 cm terjadi di pemukiman warga akibat buruknya sistem drainase lokal dan tingginya curah hujan. Evaluasi kapasitas tampung sistem drainase eksisting terhadap beban debit banjir rancangan kala ulang 5 tahun dalam penelitian ini disimulasikan secara digital menggunakan perangkat lunak SWMM 5.2, lalu merencanakan penerapan konsep *ecodrainage* yaitu berupa sumur resapan dan melakukan rehabilitasi saluran, serta menghitung Rencana Anggaran Biaya (RAB) yang diperlukan. Alur metodologi penelitian yang dilakukan dimulai dari analisis hidrologi untuk mencari nilai debit rencana, dilanjutkan analisis hidrolika untuk mengecek kondisi kapasitas saluran drainase eksisting di lapangan, dan disimulasikan menggunakan software EPA SWMM versi 5.2. Didapatkan kesimpulan terdapat 9 saluran drainase dari total 25 saluran yang terindikasi tidak aman dan meluap dengan rasio ketinggian antara 0,8 - 1,0 (meluap penuh). Penanganan dilakukan dengan rehabilitasi saluran (pelebaran dimensi saluran) sedalam 0,1 m dan 0,2 m pada saluran drainase primer dan sekunder. Sumur resapan direncanakan sebanyak 19 unit dengan dimensi Ø 1 m dan kedalaman 5 m. Hasil simulasi menunjukkan bahwa penambahan sumur resapan mampu sepenuhnya mengatasi permasalahan saluran dalam menangani genangan.

Abstract: *Land-use changes from green open spaces to residential areas in the villages of Kedawung and Ketanggungan, Ketanggungan Subdistrict, Brebes Regency, have reduced soil infiltration rates and increased surface runoff volume. Localized flooding*

**Penulis korespondensi: egarbaehaqi12@gmail.com*

ranging from 15 cm to 20 cm in height occurred in residential areas due to poor local drainage systems and high rainfall. This study aims to evaluate the capacity of the existing drainage system to accommodate a 5-year return period design flood discharge using Storm Water Management Model (SWMM) version 5.2 software, plan the implementation of the ecodrainage concept in the form of infiltration wells along with channel rehabilitation, and calculate the required Cost Estimate (RAB). The research methodology included a hydrological analysis to determine the design flow rate, a hydraulic analysis to evaluate the capacity of existing channels, and drainage system modeling using EPA SWMM 5.2 software. The result is, out of a total of 25 drainage channels, nine were identified as unsafe and prone to overflowing, exhibiting water-level ratios between 0.8 and 1.0 (indicating full capacity). Remedial measures involved rehabilitating the channels specifically by increasing their dimensions with depth adjustments of 0.1 m and 0.2 m for primary and secondary channels, respectively. Plans included the installation of 19 infiltration wells, each with a diameter of 1 m and a depth of 5 m. Simulation results demonstrated that the addition of these infiltration wells effectively resolved the drainage issues regarding inundation.

1. Pendahuluan

Ketika lahan hijau diubah menjadi area kedap air, kemampuan infiltrasi tanah akan turun drastis. Efeknya, air hujan sulit meresap dan membuat volume limpasan permukaan meningkat tajam, sehingga volume air permukaan (*run-off*) melonjak saat hujan deras terjadi [1]. Dalam merencanakan infrastruktur suatu wilayah, sistem drainase menjadi komponen yang paling vital. Terlihat masih banyak masalah genangan di area perkotaan, menjadi indikator bahwa kapasaitas saluran drainase sudah tidak memadai. Ditambahnya ruang terbuka hijau atau kawasan resapan air yang semakin menyempit karena tertutup bangunan [2].

Jumlah penduduk Kecamatan Ketanggungan telah melampaui angka 150 ribu jiwa. Secara umum, Kabupaten Brebes memiliki laju pertumbuhan penduduk di kisaran 0,70% hingga 0,90% per tahun. Ketanggungan sebagai salah satu kecamatan penyangga ekonomi di Brebes Barat cenderung mengikuti angka pertumbuhan ini. Kecamatan Ketanggungan termasuk wilayah yang cukup padat karena perannya sebagai titik temu jalur transportasi (pertigaan Ketanggungan) yang menghubungkan jalur Pantura dan jalur tengah menuju Purwokerto [3].

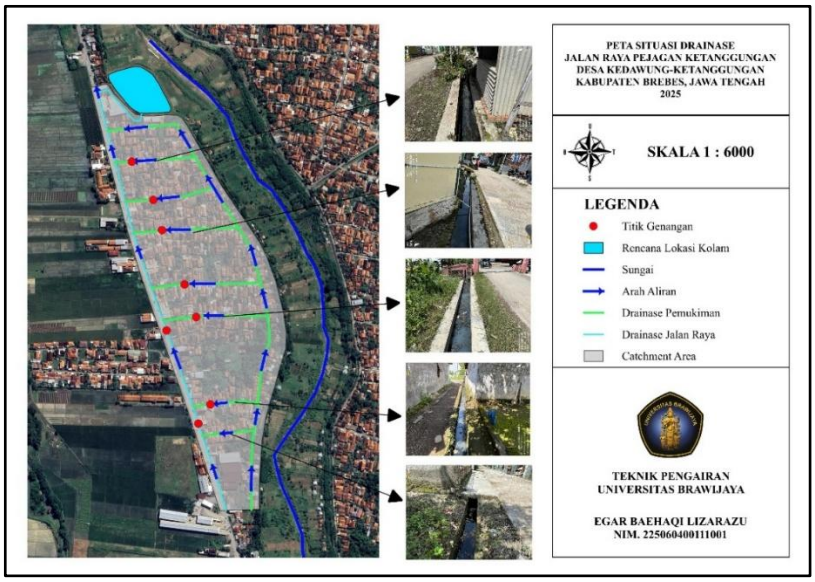
Sistem drainase Desa Kedawung dilengkapi dengan outlet berupa kolam detensi sebagai tempat penampungan air sementara. Namun, masalah genangan tetap saja muncul di daerah pemukiman warga padat penduduk. Menurut kesaksian warga, terdapat beberapa titik genangan air yang muncul, dengan ketinggian berkisar antara 15 cm hingga 20 cm. Masalah ini diperparah oleh curah hujan yang tinggi, sistem pengaliran lingkungan yang buruk, serta kapasitas sistem drainase eksisting yang tidak memadai dalam menampung dan mengalirkan limpasan air hujan menuju outlet pembuangan. Akibatnya, air tertahan di area pemukiman dan memicu genangan yang mengganggu aktivitas harian warga.

Berdasarkan hal itu, maka diperlukan solusi untuk mengatasi genangan yang disebabkan oleh faktor teknis dengan cara melakukan evaluasi dimensi saluran dan merencanakan solusi berbasis ecodrainage berupa resapan air yang dimodelkan dengan bantuan software *Storm Water Management Model* (SWMM).

2. Bahan dan Metode

2.1 Lokasi Studi

Penelitian ini dipusatkan pada lingkungan permukiman terintegrasi di Desa Kedawung dan Desa Ketanggungan, Kecamatan Ketanggungan, Kabupaten Brebes, Provinsi Jawa Tengah. Secara astronomis, batas wilayah kajian terbentang pada koordinat $6°56'0''^{LS} - 6°58'0''^{LS}$ dan $108°53'0''^{BT} - 108°54'0''^{BT}$ ($6°54'59''^{LS}$ dan $108°53'27''^{BT}$). Wilayah ini berbatasan dengan Kecamatan Tanjung di sektor utara, wilayah induk Ketanggungan di sektor selatan, Kecamatan Kersana di batas barat, serta Kecamatan Larangan di sisi timur. Daerah Tangkapan Air (DTA) yang ditelaah mencakup cakupan seluas 20 Ha berkarakteristik lereng sangat landai ($S < 1\%$), yang secara hidraulis menyebabkan kelambatan transmisi aliran gravitasi dan memicu hambatan pengaliran hingga memicu genangan lokal setinggi 15--20 cm **[**3**]**. Orientasi geografis dan denah skematik sistem drainase wilayah studi diilustrasikan pada Gambar 1.



Gambar 1. Lokasi Daerah Studi dan Situasi Jaringan Drainase

2.2 Data dan Alat Penelitian

2.2.1 Data Penelitian

Guna mendukung validitas pemodelan matematis, penelitian ini menghimpun sekumpulan data primer dan sekunder yang komprehensif. Masukan hidrologis diperoleh dari rekaman presipitasi harian maksimum tahunan sepanjang 10 tahun (rentang 2016–2025) dari Stasiun Penakar Hujan Ketanggungan, yang divalidasi melalui Balai Besar Wilayah Sungai (BBWS) Cimanuk-Cisanggarung bersama Dinas Pengelolaan Sumber Daya Air dan Penataan Ruang (DPSDAPR) Kabupaten Brebes. Inventarisasi geometri saluran eksisting dilakukan lewat pengukuran terestris mendalam pada 25 ruas conduit, meliputi dimensi lebar dasar (B), tinggi basah saluran (H), jagaan bebas (*freeboard*), kemiringan memanjang (S), serta kondisi material pasangan batu atau tanah. Konfigurasi topografi lahan diekstraksi dari data *Digital Elevation Model Nasional* (DEMNAS) beresolusi spasial tinggi guna menganalisis batas tangkapan air dan arah lintasan aliran limpasan, sementara peta tata guna lahan hasil interpretasi citra satelit dimanfaatkan untuk menghitung koefisien pengaliran gabungan (C) dan fraksi area kedap air (*imperviousness*) [1], [4].

2.2.2 Alat Penelitian

Peralatan yang digunakan dalam penelitian ini diklasifikasikan menjadi perangkat keras (*hardware*) dan perangkat lunak (*software*) dengan fungsi operasional sebagai berikut. Perangkat keras terdiri atas meteran rol ukur yang digunakan untuk mengukur dimensi geometris penampang saluran drainase eksisting; kamera dan *Global Positioning System* (GPS) ponsel cerdas yang digunakan untuk mendokumentasikan kondisi fisik saluran, titik sumbatan sedimen atau sampah, lokasi genangan aktual, serta merekam koordinat geografis titik *junction*; dan *personal computer*

(PC) yang digunakan sebagai sarana komputasi pengolahan data. Perangkat lunak yang digunakan mencakup Microsoft Excel dan Word untuk tabulasi data hidrologi, perhitungan uji statistik, analisis Rencana Anggaran Biaya (RAB), dan penulisan laporan; Google Earth Pro dan QGIS/ArcGIS Pro yang digunakan untuk delineasi batas daerah tangkapan air (*catchment area*), analisis elevasi kontur, verifikasi tutupan lahan spasial, serta pembuatan tata letak peta tematik berstandar kartografi; AutoCAD yang digunakan untuk memvisualisasikan dan menggambar desain penampang melintang (*cross-section*) saluran eksisting versus rencana rehabilitasi serta detail konstruksi sumur resapan; dan *Storm Water Management Model* (EPA SWMM versi 5.2) sebagai perangkat lunak utama dalam simulasi hidrodinamika pengaliran drainase satu dimensi, evaluasi kapasitas tampung saluran, identifikasi titik genangan (*node flooding*), serta pemodelan skenario mitigasi banjir berbasis *Low Impact Development* (LID) dan kolam detensi [5], [6].

Instrumen penelitian dikelompokkan ke dalam sarana perangkat keras (*hardware*) dan piranti lunak (*software*). Fasilitas perangkat keras mencakup pita ukur baja (meter roll) untuk verifikasi dimensi fisik penampang saluran; piranti *Global Positioning System* (GPS) dan kamera digital untuk merekam koordinat absolut simpul *junction* serta dokumentasi visual endapan sedimen dan titik luapan; serta seperangkat komputer berkinerja tinggi sebagai sentral komputasi numerik. Adapun spektrum perangkat lunak yang dioperasikan meliputi Microsoft Excel dan Microsoft Word guna tabulasi matematis dan pelaporan teknis; Google Earth Pro serta QGIS/ArcGIS dalam proses batas delineasi hidrologis DTA dan pemetaan kartografi; AutoCAD untuk penyusunan gambar detail teknik penampang melintang (*cross-section*) saluran dan desain sumur resapan; serta *software* EPA SWMM 5.2 sebagai simulator utama dalam memodelkan dinamika hidraulika tak tunak, mendeteksi genangan simpul (*node flooding*), serta menyimulasikan efektivitas infrastruktur ekodrainase [5], [6].

2.3 Metode

2.3.1 Analisis Hidrologi

Rangkaian telaah hidrologi ditujukan untuk mengestimasi besaran presipitasi ekstrem dan hidrograf limpasan rencana sebagai parameter pembebanan hidraulika saluran. Evaluasi mutu data hujan harian maksimum diawali melalui uji konsistensi *Rescaled Adjusted Partial Sums* (RAPS) untuk menjamin data bersifat homogen dan bebas dari bias pengukuran lingkungan stasiun penakar [7], [8]. Perhitungan hujan rancangan kala ulang 2, 5, dan 10 tahun dijalankan via analisis frekuensi statistik dengan menguji keselarasan sebaran metode Gumbel Tipe I dan Log Pearson Tipe III [1], [4], [9]. Keabsahan pemilihan fungsi probabilitas teoretis diuji secara parametrik dan non-parametrik memakai uji kecocokan Smirnov-Kolmogorov serta Chi-Square [7]. Besaran curah hujan rancangan kala ulang terpilih (kala ulang 5 tahun) selanjutnya didistribusikan ke dalam hietograf hujan jam-jaman berdurasi 6 jam melalui persamaan empiris Mononobe [2], yang difungsikan sebagai masukan data deret waktu (*time series*) pada komponen *Rain Gage* pemodelan SWMM.

2.3.2 Pemodelan *Software* SWMM

Simulasi numerik hidrodinamika pengaliran air diselesaikan menggunakan EPA SWMM 5.2 dengan modul *Dynamic Wave Routing*, yang secara simultan memecahkan persamaan kontinuitas dan momentum diferensial parsial Saint-Venant 1D sehingga mampu memodelkan fenomena aliran tak tunak (*unsteady flow*), efek pembendungan (*backwater*), serta hambatan gesek saluran [5], [6]. Skema jaringan dipetakan ke dalam 1 *rain gage*, 25 *subcatchment* (20 Ha), 25 *junction*, 25 *conduit*, 1 kolam detensi (*storage unit*), dan 1 saluran pembuang akhir (*outfall*). Kalibrasi kinerja model dievaluasi terhadap debit observasi langsung di saluran C25 memakai indeks statistik *Root Mean Square Error* (RMSE) guna menjamin akurasi representasi hidraulika [10].

Pengendalian genangan dirancang lewat sinergi perbaikan struktur hidrolika dan rekayasa ekodrainase ramah lingkungan. Perbaikan struktur difokuskan pada pendalaman penampang basah $(0{,}10 - 0{,}20\ \text{m})$ dan pelapisan plesteran acian semen halus untuk mereduksi angka kekasaran Manning (n). Sementara itu, skema ekodrainase diwujudkan lewat pembangunan 19 unit sumur resapan (*infiltration trench*) yang dirancang mengacu pada standar teknis SNI 03-2453-2002 [11] berdiameter 1,0 m, kedalaman 5,0 m, dan permeabilitas tanah 36 mm/jam yang dimodelkan pada menu *LID Control* SWMM 5.2.

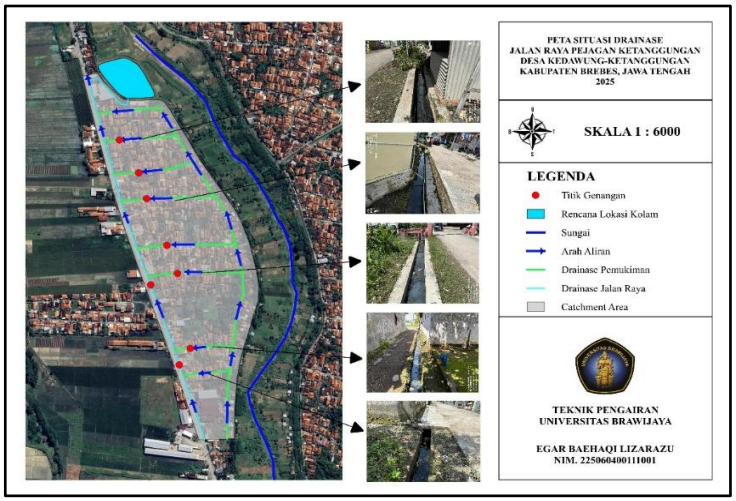
2.3.3 Penangan Genangan dengan sumur resapan

Perencanaan pengendalian genangan dirancang melalui integrasi tindakan struktural dan pendekatan ekologis berwawasan lingkungan (*ecodrainage*). Penanganan struktural dilakukan dengan merehabilitasi dimensi penampang basah saluran yang meluap melalui pendalaman penampang (*dredging and deepening*) sebesar 0,10–0,20 m serta perbaikan dinding saluran menggunakan pasangan batu kali berplester acian halus guna menurunkan koefisien kekasaran Manning ($n = 0{,}015$) sehingga kapasitas pengaliran meningkat. Pendekatan ekologis diterapkan menggunakan konsep *Low Impact Development* (LID) berupa sumur resapan (*Infiltration Trench*) pada modul *LID Control* SWMM 5.2 yang diselaraskan dengan standar SNI 03-2453-2002 [11]. Sebanyak 19 unit sumur resapan direncanakan pada 5 ruas jalan kritis dengan parameter teknis meliputi diameter 1,0 m, kedalaman 5,0 m, koefisien permeabilitas tanah (*seepage rate*) sebesar 36 mm/jam, dan *void ratio* media filter sebesar 0,50. Di samping itu, kolam detensi eksisting di Desa Kedawung seluas 6.564,61 m² dengan kedalaman efektif 1,0 m dan dimensi inlet 1,60 m × 1,15 m dimodelkan sebagai fasilitas tampungan sementara guna memotong puncak debit banjir sebelum dialirkan ke badan air penerima. Simulasi pascapenanganan dijalankan kembali untuk memastikan seluruh saluran memiliki rasio ketinggian muka air di bawah 1,00 (bebas dari luapan genangan).

3. Hasil dan Pembahasan

3.1 Daerah Tangkapan Air (DTA)

Kawasan daerah tangkapan air (*catchment area*) pada penelitian ini mencakup area permukiman Desa Kedawung dan Desa Ketanggungan, Kecamatan Ketanggungan, Kabupaten Brebes. Delineasi batas daerah tangkapan air ditentukan berdasarkan integrasi data peta penggunaan lahan, peta topografi elevasi *Digital Elevation Model Nasional* (DEMNAS), serta hasil pengukuran terestris dan survei orientasi lapangan. Melalui proses digitasi spasial, daerah tangkapan air seluas 20 Ha didiskretisasi menjadi 25 subdaerah tangkapan air (*subcatchment*) mikro yang diberi kode S1 hingga S25. Masing-masing subdaerah tangkapan air memiliki luasan, kemiringan lahan, serta karakteristik tutupan lahan yang menyumbangkan debit limpasan permukaan menuju ruas saluran drainase C1 sampai C25. Peta tata letak daerah tangkapan air beserta pembagian 25 subdaerah tangkapan air disajikan pada Gambar 2.



Gambar 2. Peta Daerah Tangkapan Air pada Lokasi Studi

3.2 Analisis Hidrologi

3.2.1 Stasiun Hujan

Analisis hidrologi pada penelitian ini memanfaatkan data pencatatan curah hujan harian maksimum tahunan dari Stasiun Hujan Ketanggungan yang dikelola oleh Dinas Pengelolaan Sumber Daya Air dan Penataan Ruang (DPSDAPR) Kabupaten Brebes dan Balai Besar Wilayah Sungai (BBWS) Cimanuk-Cisanggarung. Stasiun Hujan Ketanggungan terletak pada koordinat geografis

6°55′57,40″ LS dan 108°53′8,23″ BT. Rentang data hujan yang dianalisis mencakup periode sepuluh tahun terakhir dari tahun 2016 hingga 2025, sebagaimana dirangkum pada Tabel 1. Berdasarkan data historis tersebut, curah hujan harian maksimum tertinggi tercatat sebesar 200,0 mm pada tahun 2018, sedangkan curah hujan terendah tercatat sebesar 85,0 mm pada tahun 2019, dengan nilai curah hujan harian rata-rata sebesar 128,8 mm.

Tabel 1: Curah Hujan Maksimum Tahunan

No.	Tahun	Hujan Harian Maksimum (mm)
1	2016	125
2	2017	175
3	2018	200
4	2019	85
5	2020	160
6	2021	125
7	2022	92
8	2023	95
9	2024	125
10	2025	106

3.2.2 Uji Konsistensi Data

Pengujian konsistensi data curah hujan harian maksimum Stasiun Ketanggungan dilakukan untuk membuktikan homogenitas data serta memastikan ketiadaan pergeseran nilai akibat kesalahan alat ukur maupun perubahan lingkungan stasiun [7]. Pengujian dilakukan menggunakan metode statistik *Rescaled Adjusted Partial Sums* (RAPS). Berdasarkan hasil perhitungan yang disajikan pada Tabel 2, diperoleh nilai statistik hitung $Q/\sqrt{n} = 0{,}621$ dan $R/\sqrt{n} = 1{,}003$. Nilai-nilai statistik hitung ini berada jauh di bawah nilai batas kritis tabel RAPS untuk jumlah data n = 10, baik pada derajat kepercayaan 5% ($Q/\sqrt{n_{\text{kritis}}} = 1{,}21$ dan $R/\sqrt{n_{\text{kritis}}} = 1{,}41$) maupun pada derajat kepercayaan 1% ($Q/\sqrt{n_{\text{kritis}}} = 1{,}29$ dan $R/\sqrt{n_{\text{kritis}}} = 1{,}38$). Dengan demikian, deret data curah hujan Stasiun Ketanggungan dinyatakan konsisten, homogen, dan sah untuk digunakan dalam analisis hidrologi lanjutan tanpa memerlukan koreksi data.

Tabel 2: Kesimpulan Hasil Uji Konsistensi Data

α	$Q/n^{0.5}$	$R/n^{0.5}$	Keterangan
1%	1,29	1,38	data konsisten
5%	1,14	1,28	data konsisten

3.2.3 Analisa Curah Hujan Rancangan

Penetapan curah hujan rancangan dilakukan dengan membandingkan kecocokan statistik model Distribusi Gumbel Tipe I dan Log Pearson Tipe III (Tabel 3) [1], [4], [9]. Pada model Log Pearson Tipe III, diperoleh presipitasi rancangan periode ulang 2 tahun sebesar $R_2 = 102{,}84$ mm, periode 5 tahun sebesar $R_5 = 127{,}76$ mm, dan periode 10 tahun sebesar $R_{10} = 143{,}21$ mm. Mengacu pada pedoman teknis Permen PU No. 12/PRT/M/2014 untuk drainase permukiman kota kecil dengan luas DTA < 10 Ha [4], presipitasi kala ulang 5 tahun ($R_5 = 127{,}76$ mm) ditetapkan sebagai dasar perancangan hidraulika saluran.

Tabel 3: Pemilihan Distribusi Data Hujan

Kala Ulang [Tr] (Tahun)	Pr (%)	K	$K.Sd_{\text{Log R}}$	Log $R_{\text{rancangan}}$	$R_{\text{rancangan}}$ (mm)
2	50	-0,062	-0,0077	2,086	121,85
5	20	0,819	0,1019	2,195	156,83
10	10	1,315	0,1637	2,257	180,80

3.2.4 Uji Kesesuaian Distribusi

Untuk menguji keabsahan pemilihan persamaan distribusi probabilitas teoritis terhadap sebaran data empiris di lapangan, dilakukan uji kesesuaian distribusi menggunakan metode Smirnov-Kolmogorov dan Chi-Square [1], [7]. Rekapitulasi hasil pengujian kesesuaian distribusi disajikan

pada Tabel 4. Pada uji Smirnov-Kolmogorov dengan derajat kepercayaan $\alpha = 5\,\%$, diperoleh nilai selisih peluang maksimum $D_{\text{hitung}} = 0{,}10$, yang bernilai jauh lebih kecil daripada nilai kritis $D_{\text{kritis}} = 0{,}41$ ($D_{\text{hitung}} < D_{\text{kritis}}$). Pada uji Chi-Square dengan derajat kebebasan $dk = 1$, diperoleh nilai $\chi^2_{\text{hitung}} = -2{,}80$, yang berada jauh di bawah nilai batas kritis $\chi^2_{\text{kritis}} = 3{,}841$ pada $\alpha = 5\,\%$. Berdasarkan hasil kedua uji tersebut, Distribusi Log Pearson Tipe III dinyatakan diterima secara statistik dan dipilih sebagai model sebaran curah hujan rancangan karena memiliki fleksibilitas tinggi tanpa batasan nilai koefisien kemencengan (*skewness*).

Tabel 4: Rekapitulasi Hasil Uji Kesesuaian Distribusi

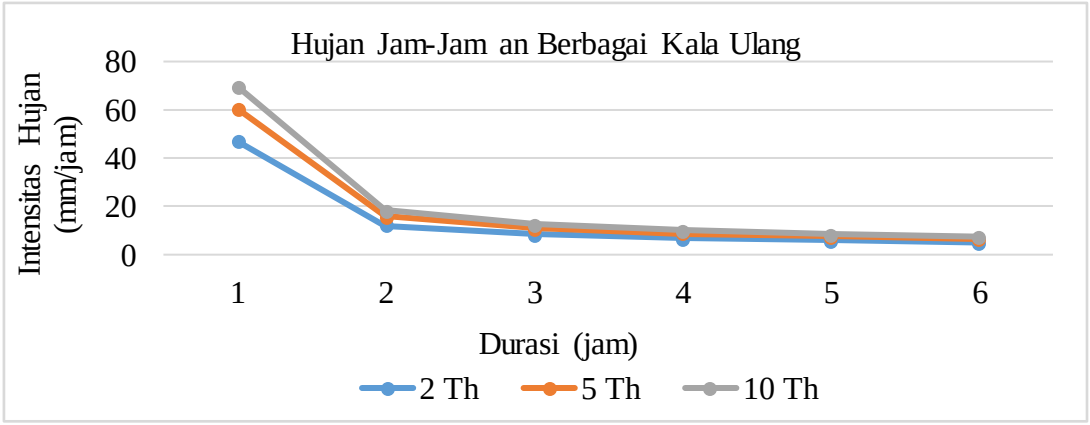
Uji Smirnov Kolmogorov					
Distribusi Frekuensi	Peluang	D kritis	D hitung	Keterangan	
Log Pearson III	1%	0,49	0,10	Dkritis > Dhitung	DITERIMA
	5%	0,41		Dkritis > Dhitung	DITERIMA
Uji Chi Square					
Distribusi Frekuensi	Peluang	X^2kritis	X^2hitung	Keterangan	
Log Pearson III	1%	0,635	-2,8	Dkritis > Dhitung	DITERIMA
	5%	3,841		Dkritis > Dhitung	DITERIMA

3.2.5 Analisa Intensitas Hujan

Transformasi curah hujan rancangan harian menjadi intensitas hujan jam-jaman dihitung menggunakan formula Mononobe dengan durasi hujan efektif selama 6 jam [2]. Berdasarkan curah hujan rancangan kala ulang 5 tahun ($R_5 = 156{,}83$ mm) dan nilai koefisien pengaliran rata-rata kawasan permukiman ($C = 0{,}70$), diperoleh nilai hujan efektif sebesar 109,78 mm. Rincian distribusi intensitas hujan jam-jaman disajikan pada Tabel 5. Pola distribusi menunjukkan konsentrasi intensitas tertinggi terjadi pada jam pertama sebesar 60,42 mm/jam dengan rasio 55,03 % dari total presipitasi, kemudian menurun tajam pada jam ke-2 menjadi 15,70 mm/jam (14,30 %), hingga jam ke-6 sebesar 6,47 mm/jam (5,90 %). Profil hietograf hujan jam-jaman ini diilustrasikan pada Gambar 3, yang selanjutnya dikonfigurasikan sebagai data deret waktu (*time series*) curah hujan pada modul *Rain Gage* perangkat lunak EPA SWMM 5.2. Grafik distribusi hujan jam-jam an dapat dilihat pada gambar 3.

Tabel 5: Distribusi Hujan Jam-jaman menggunakan Metode Mononobe

Jam ke t	Rasio	Hujan Jam-Jaman (mm/jam)		
		2 th	5 th	10 th
1	55,03%	46,94	60,42	69,65
2	14,30%	12,20	15,70	18,10
3	10,03%	8,56	11,02	12,70
4	7,99%	6,81	8,77	10,11
5	6,75%	5,75	7,41	8,54
6	5,90%	5,03	6,47	7,46
Hujan Rancangan (mm)		121,9	156,8	180,8
Koefisien Pengaliran (C)		0,7	0,7	0,7
Hujan Efektif (mm)		85,30	109,78	126,56



Gambar 3. Diagram hujan jam-jaman

3.3 Kalibrasi Pemodelan

Proses kalibrasi model hidrodinamika SWMM 5.2 dilakukan guna memastikan bahwa parameter pemodelan yang disusun mampu merepresentasikan kondisi aliran air aktual di lapangan secara akurat [5]. Evaluasi tingkat kesalahan pemodelan diuji menggunakan metode *Root Mean Square Error* (RMSE) [10] dengan membandingkan debit hasil simulasi (Q_{simulasi}) terhadap debit hasil pengukuran langsung di lapangan ($Q_{\text{observasi}}$) pada penampang saluran C25 sebanyak 10 kali pengukuran (Tabel 6). Dari hasil simulasi SWMM diperoleh debit sebesar $0{,}220\ \text{m}^3/\text{dt}$, sedangkan rerata debit observasi lapangan terukur berkisar antara $0{,}2530\ \text{m}^3/\text{dt}$ hingga $0{,}3073\ \text{m}^3/\text{dt}$. Nilai RMSE yang dihasilkan dari pengujian kalibrasi adalah sebesar $0{,}063\ \text{m}^3/\text{dt}$. Karena nilai RMSE sangat kecil dan mendekati angka 0, maka model hidrodinamika SWMM dinyatakan valid, memiliki tingkat akurasi yang tinggi, dan layak digunakan untuk mengevaluasi kinerja saluran eksisting maupun menyimulasikan skenario penanganan genangan.

Tabel 6. Kalibrasi Pemodelan Metode RMSE Kala Ulang 5 Tahun

No	Saluran Observasi	Observasi			Q (m^3/dt)		(Q Obs - Q Sim)^2	RMSE
		Jarak (m)	Waktu (dt)	Luas (m^2)	Simulasi	Observasi		
1		10	30	0,860	0,22	0,2868	0,0045	
2		10	31	0,860	0,22	0,2775	0,0033	
3		10	29	0,860	0,22	0,2967	0,0059	
4		10	28	0,860	0,22	0,3073	0,0076	
5	**C25**	10	33	0,860	0,22	0,2607	0,0017	0,063
6		10	31	0,860	0,22	0,2775	0,0033	
7		10	33	0,860	0,22	0,2607	0,0017	
8		10	34	0,860	0,22	0,2530	0,0011	
9		10	29	0,860	0,22	0,2967	0,0059	
10	**C25**	10	30	0,860	0,22	0,2868	0,0045	0,063
			Jumlah				**0,0393**	**n = 10**

3.4 Analisa Kemampuan Sistem Drainase

Simulasi hidrodinamika menggunakan EPA SWMM 5.2 pada kondisi jaringan drainase eksisting dengan pembebanan hujan rancangan kala ulang 5 tahun menunjukkan bahwa sistem drainase belum mampu menampung seluruh debit limpasan permukaan. Suatu ruas saluran diindikasikan mengalami luapan (*overflow/surcharge*) apabila rasio kedalaman muka air terhadap tinggi penampang mencapai 1,00 (100 % kapasitas penampang terlampaui). Dari total 25 ruas saluran yang dimodelkan, teridentifikasi 9 ruas saluran mengalami luapan penuh, sebagaimana disajikan pada Tabel 7.

Tabel 7: Hasil Simulasi Kapasitas Saluran Drainase Meluap

No	Conduit	Dimensi		Kecepatan Maksimum (m/s)	Debit Maksimum (m^3/dt)	Keterangan Simulasi
		B (m)	H (m)			
1	C1	0,6	0,5	0,96	0,27	Meluap
2	C2	0,7	0,6	0,99	0,42	Meluap
3	C3	0,7	0,5	1,25	0,43	Meluap
4	C7	0,8	0,5	2,33	0,93	Meluap
5	C10	0,35	0,25	0,59	0,15	Meluap
6	C11	0,4	0,5	0,44	0,18	Meluap
7	C14	0,4	0,3	0,61	0,10	Meluap
8	C19	0,2	0,2	1,21	0,05	Meluap
9	C20	0,2	0,2	0,97	0,03	Meluap

Sembilan saluran yang meluap tersebut terdiri dari saluran drainase jalan utama (C1, C2, C3, dan C7) serta saluran drainase lingkungan permukiman (C10, C11, C14, C19, dan C20). Saluran C7 menerima akumulasi debit terbesar yaitu mencapai $0{,}93\ \text{m}^{3/\text{dt}}$ dengan kecepatan aliran $2{,}33\ \text{m/s}$, sehingga melampaui kapasitas penampang basah eksistingnya. Pada saluran lingkungan permukiman, luapan dipicu oleh dimensi penampang yang sangat sempit ($B = 0{,}20 - 0{,}40\ \text{m}$ dan $H = 0{,}20 - 0{,}50\ \text{m}$), endapan sedimentasi lumpur yang tebal, serta hambatan sampah domestik.

Kondisi ini menyebabkan timbulnya genangan air di kawasan permukiman warga dengan ketinggian berkisar antara 15 cm hingga 20 cm dan durasi genangan mencapai 60 menit pascahujan lebat.

3.5 Penangan Genangan

Upaya pengendalian genangan dirancang melalui pendekatan terpadu yang memadukan rekayasa sipil hidrolika berupa rehabilitasi penampang saluran drainase eksisting, optimalisasi kolam detensi, serta penerapan konsep ekodrainase berbasis *Low Impact Development* (LID) berupa sumur resapan (*infiltration trench*).

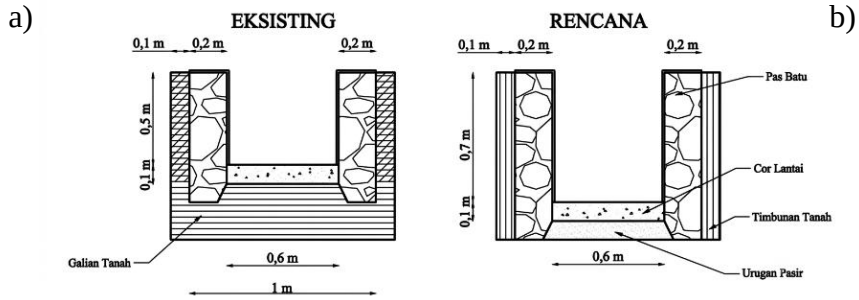
3.5.1 Rehabilitasi Saluran Drainase

Rehabilitasi saluran drainase diarahkan untuk memulihkan dan meningkatkan kapasitas tampung hidraulis sembilan ruas saluran kritis yang mengalami luapan. Skenario rehabilitasi dilaksanakan secara terintegrasi melalui pendalaman dimensi penampang efektif (*deepening and dredging*), normalisasi pembersihan endapan sedimen secara berkala, serta perbaikan material dinding saluran (*lining*). Pendalaman dimensi saluran dilakukan dengan menambah kedalaman penampang basah (H) sebesar 0,10 m hingga 0,20 m dengan tetap mempertahankan ketersediaan ruang sempadan jalan yang terbatas di lokasi studi. Rekapitulasi perubahan dimensi dan kapasitas saluran pascarehabilitasi disajikan pada Tabel 8.

Tabel 8: Rekapitulasi Rencana Perubahan Dimensi Saluran Drainase Meluap

No.	Conduit	Bentuk Penampang Awal	Dimensi Awal			Bentuk Penampang Baru	Dimensi Baru		Q Saluran (m^3/dt)	Q Limpasan (m^3/dt)
			H	B	m		H	B		
1	C1	Persegi	0,5	0,6	-	Persegi	0,7	0,6	0,517	0,310
2	C2	Persegi	0,6	0,7	-	Persegi	0,7	0,7	0,592	0,496
3	C3	Persegi	0,5	0,7	-	Persegi	0,7	0,7	0,774	0,672
4	C4	Persegi	0,6	0,7	-	Persegi	0,7	0,7	0,787	0,599
5	C5	Persegi	0,5	0,8	-	Persegi	0,7	0,8	0,830	0,829
6	C6	Trapesium	0,6	1/0,8	0,143	Trapesium	0,7	1/0,8	1,382	1,281
7	C7	Persegi	0,5	0,8	-	Persegi	0,7	0,8	0,997	0,996
8	C8	Trapesium	0,5	1/0,8	0,143	Trapesium	0,7	1/0,8	1,118	1,054
9	C19	Persegi	0,2	0,2	-	Persegi	0,3	0,3	0,094	0,053
10	C20	Persegi	0,2	0,2	-	Persegi	0,3	0,3	0,059	0,022
11	C21	Persegi	0,2	0,2	-	Persegi	0,3	0,3	0,063	0,038
12	C22	Persegi	0,2	0,2	-	Persegi	0,3	0,3	0,071	0,071
13	C23	Persegi	0,2	0,2	-	Persegi	0,3	0,3	0,081	0,040
14	C24	Persegi	0,2	0,2	-	Persegi	0,3	0,3	0,068	0,005

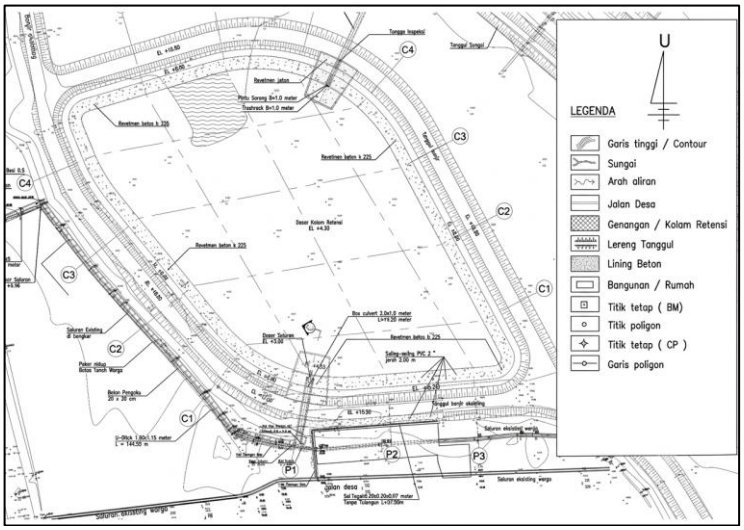
Sebagai contoh perancangan, saluran C1 ditingkatkan kedalaman efektifnya dari $H = 0{,}50$ m menjadi $H = 0{,}70$ m pada lebar dasar tetap $B = 0{,}60$ m, sehingga kapasitas pengalirannya meningkat dari 0,310 $m^{3/dt}$ menjadi 0,517 $m^{3/dt}$ dan mampu meloloskan debit rancangan secara aman. Modifikasi penampang melintang saluran C1 sebelum dan sesudah rehabilitasi diilustrasikan pada Gambar 4. Selain perbesaran dimensi, konstruksi dinding saluran tanah dan pasangan batu yang rusak diperbaiki menggunakan pasangan batu kali yang diplester acian semen halus. Pelapisan ini menurunkan koefisien kekasaran Manning penampang menjadi $n = 0{,}013$--$0{,}015$, sehingga hambatan gesek dinding berkurang, kecepatan pengaliran meningkat, dan air lebih cepat ditransmisikan menuju kolam detensi. Untuk contoh penampang saluran lebih detailnya dapat dilihat pada gambar 4.



Gambar 4: Desain Penampang Melintang Saluran Drainase C1 a) Sebelum dan b) Sesudah Rehabilitasi

3.5.2 Penerapan Outlet Kolam Detensi

Sistem drainase kawasan Desa Kedawung bermuara pada satu unit kolam detensi (*storage unit*) eksisting yang berfungsi sebagai penampung sementara dan pengendali debit puncak limpasan sebelum dialirkan menuju badan air penerima. Kolam detensi ini memiliki luas permukaan sebesar 6.564,611 m^2 dengan kedalaman tampungan efektif 1,00 m serta dilengkapi saluran *inlet* selebar 1,60 m dan tinggi 1,15 m. Tata letak teknis dan konfigurasi kolam detensi disajikan pada Gambar 5. Dalam simulasi SWMM 5.2, kolam detensi dimodelkan sebagai *storage unit* SU1 yang terbukti mampu mereduksi beban hidraulis hilir secara efektif dengan persentase keterisian rata-rata sebesar 23 % dan volume tampungan puncak mencapai 6,735 m^3. Untuk denah tampak atas kolam detensi dapat dilihat pada gambar 5.



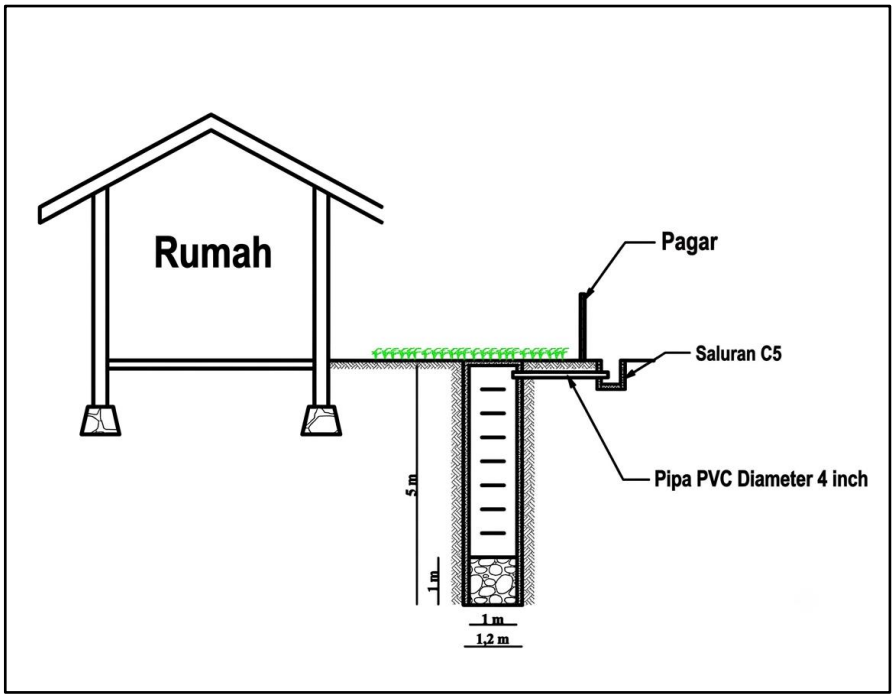
Gambar 5: Tampak Atas Kolam Detensi

3.5.3 Penerapan Sumur Resapan

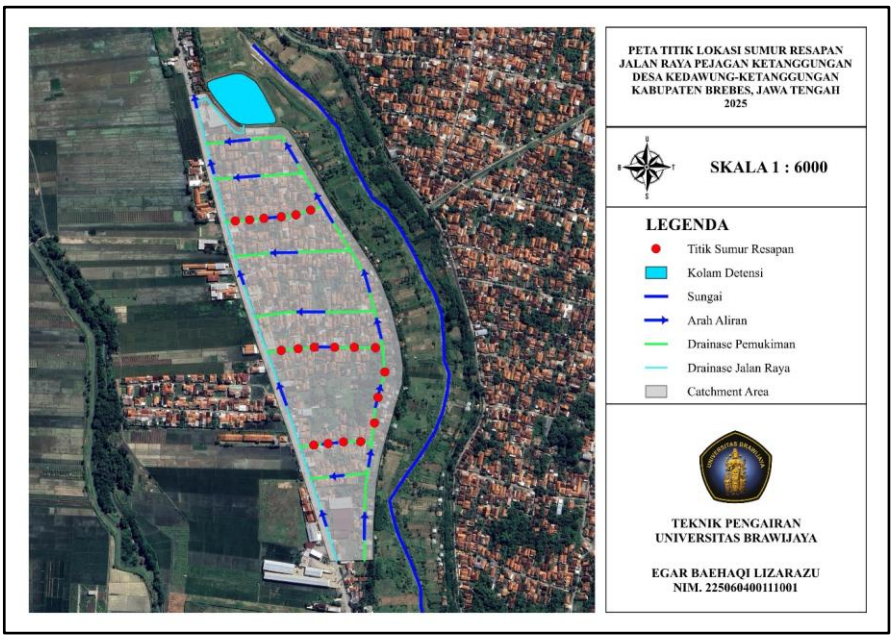
Meskipun telah dilakukan rehabilitasi dimensi pada sembilan ruas saluran kritis, hasil simulasi pemodelan SWMM menunjukkan bahwa luapan masih berpotensi terjadi pada saluran sekunder kawasan padat penduduk akibat keterbatasan lahan yang tidak memungkinkan dilakukannya pelebaran saluran lebih lanjut. Untuk mengatasi kendala tersebut, diterapkan rekayasa ekodrainase berbasis *Low Impact Development* (LID) berupa sumur resapan (*infiltration trench*) yang dimodelkan pada modul *LID Control* perangkat lunak EPA SWMM 5.2 [11], [6].

Sumur resapan direncanakan sebanyak 19 unit yang ditempatkan secara strategis pada 5 koridor jalan permukiman padat penduduk yang terhubung dengan subdaerah tangkapan air kritis (S6, S8, S10, S11, S12, S22, dan S24). Detail desain dan dimensi teknik sumur resapan disajikan pada Gambar 6. Masing-masing unit sumur resapan direncanakan dengan diameter penampang dalam buis beton $\emptyset = 1{,}00$ m, tebal dinding beton 0,10 m, kedalaman galian sumur $H = 5{,}00$ m, saluran pipa *inlet* PVC Ø 4", pipa pelimpah (*overflow*), lapisan filter ijuk penahan sedimen, serta lapisan koral/kerikil setebal 0,20 m dan pasir kasar setebal 0,10 m pada dasar sumur. Parameter hidraulis

tanah pada lokasi studi memiliki nilai permeabilitas sedang sebesar $k = 36$ mm/jam dengan kedalaman muka air tanah yang aman ($> 1{,}50$ m). Sebaran spasial penempatan 19 unit sumur resapan pada daerah tangkapan air disajikan pada gambar 7, sedangkan untuk sketsa penerapan sumur resapan dapat dilihat pada gambar 6.



Gambar 6: Detail Perencanaan Sumur Resapan



Gambar 7: Peta Titik Sumur Resapan

Efektivitas kombinasi rehabilitasi penampang saluran dan penerapan 19 unit sumur resapan terhadap penurunan rasio kedalaman muka air disajikan pada Tabel 9. Hasil simulasi hidrodinamika akhir membuktikan terjadinya penurunan rasio kedalaman air secara signifikan pada seluruh ruas saluran kritis. Saluran C1 mengalami penurunan rasio dari 1, menjadi 0,9; C2 turun menjadi 0,98; C3 menjadi 0,99; C7 menjadi 0,99; C10 menjadi 0,86; C11 menjadi 0,84; dan C14 menjadi 0,90. Penurunan rasio yang paling dramatis terjadi pada saluran drainase lingkungan permukiman sempit,

yaitu saluran C19 yang turun dari 1,00 menjadi 0,69 (turun 31%) dan C20 yang turun dari 1,00 menjadi 0,59 (turun 41%). Karena seluruh ruas saluran memiliki nilai rasio ketinggian $< 1{,}00$, maka kapasitas penampang saluran berada dalam kondisi aman dan bebas dari luapan (reduksi genangan 100%). Hal ini membuktikan bahwa penerapan sumur resapan mampu menginfiltrasi volume limpasan air hujan secara optimal langsung di dekat sumbernya.

Tabel 9: Rasio Ketinggian Saluran Sebelum dan Sesudah Rehabilitasi

Kode Saluran	Rasio Ketinggian Muka Air	
	Eksisting	Rehab + Sumur Resapan
C1	1	0,90
C2	1	0,98
C3	1	0,99
C7	1	0,99
C10	1	0,86
C11	1	0,84
C14	1	0,90
C19	1	0,69
C20	1	0,59

3.6 Analisa Rencana Anggaran Biaya

Penyusunan Rencana Anggaran Biaya (RAB) ditujukan untuk merumuskan estimasi kebutuhan pendanaan konstruksi fisik dalam merealisasikan sistem pengendalian genangan terpadu di kawasan studi. Perhitungan harga satuan pekerjaan distandarisasi berdasarkan acuan legal Perbup Brebes No. 44/2022 perihal HSPK TA 2023 [12] yang diselaraskan dengan Perbup Cirebon No. 45/2024 mengenai HSPK TA 2025 [13]. Rekapitulasi alokasi pendanaan pekerjaan dirangkum pada Tabel 10.

Tabel 10: Rekapitulasi Rencana Anggaran Biaya (RAB)

No	Jenis Pekerjaan	Jumlah Harga (Rp)
1	Rehabilitasi Saluran	1.956.331.799,76
2	Sumur Resapan	236.861.915,95
	Total	2.193.193.715,71

Berdasarkan rekapitulasi biaya pada Tabel 10, total anggaran biaya yang diperlukan untuk pelaksanaan pekerjaan fisik rehabilitasi sembilan saluran drainase adalah sebesar Rp 1.956.331.799,76, sedangkan pembangunan 19 unit sumur resapan membutuhkan biaya sebesar Rp 236.861.915,95. Total kebutuhan biaya keseluruhan untuk menanggulangi genangan di Desa Kedawung dan Ketanggungan secara terpadu adalah sebesar Rp 2.193.193.715,71 (dua miliar seratus sembilan puluh tiga juta seratus sembilan puluh tiga ribu tujuh ratus lima belas rupiah tujuh puluh satu sen, termasuk Pajak Pertambahan Nilai 11 %).

4. Kesimpulan

Berdasarkan hasil analisis hidrologi dan simulasi saluran drainase menggunakan EPA SWMM 5.2 pada sistem drainase eksisting di Desa Kedawung, dapat disimpulkan bahwa sistem drainase eksisting pada Kawasan Desa Kedawung dan Ketanggungan belum sepenuhnya mampu menampung debit banjir rancangan pada kala ulang 5 tahun. Terdapat 9 saluran drainase dari total 25 saluran yang terindikasi tidak aman dan meluap dengan rasio ketinggian antara 0,8 - 1,0 (meluap penuh).

Penanganan dilakukan dengan rehabilitasi saluran (pelebaran dimensi saluran) sedalam 0,1 m dan 0,2 m pada saluran drainase primer dan sekunder (C1, C2, C3, C4, C5, C6, C7, C8, C19, C20, C21, C22, C23, C24). Hasil simulasi memperlihatkan bahwa 5 saluran masih tetap meluap. Maka dari itu dilakukan penambahan sumur resapan (infiltration trench) pada 5 ruas jalan yang masih terindikasi tidak aman dan meluap. Sumur resapan direncanakan sebanyak 19 unit dengan dimensi Ø 1 m dan kedalaman 5 m. Hasil simulasi menunjukkan bahwa penambahan sumur resapan mampu sepenuhnya mengatasi permasalahan saluran dalam menangani genangan. Oleh karena itu, dapat

disimpulkan bahwa konsep LID terbukti efektif dalam mengurangi resiko banjir dan memulihkan kondisi hidrologi alami di kawasan studi.

Berdasarkan hasil analisis, diketahui bahwa rancangan anggaran biaya untuk rehabilitasi saluran drainase berua pendalaman dimensi dengan total 9 saluran yaitu sebesar Rp 1.956.331.799,76 (termasuk PPN 11%) dan perencanaan sumur resapan dengan total 19 sumur resapan yaitu Rp 236.861.915,95 (termasuk PPN 11%). Sehingga, total rancangan anggaran biaya yang dibutuhkan sebesar Rp 2.193.193.715,71.

Daftar Pustaka

[1] Suripin, Sistem Drainase Perkotaan yang Berkelanjutan, Yogyakarta: Andi Offset, 2004.

[2] Suhardjono, Naskah Buku Ajar Drainase Perkotaan, Malang: Jurusan Teknik Pengairan, Fakultas Teknik, Universitas Brawijaya, 2013.

[3] Badan Pusat Statistik Kabupaten Brebes, Kecamatan Ketanggungan dalam Angka 2024, Brebes: BPS Kabupaten Brebes, 2024.

[4] Kementerian Pekerjaan Umum, Peraturan Menteri Pekerjaan Umum Republik Indonesia Nomor 12/PRT/M/2014 tentang Penyelenggaraan Sistem Drainase Perkotaan, Jakarta: Kementerian Pekerjaan Umum, 2014.

[5] EPA SWMM, Storm Water Management Model User's Manual Version 5.2, Washington, D.C.: U.S. Environmental Protection Agency, 2022.

[6] U. Andawayanti, R. D. Lufira, Suhardjono, M. J. Ismoyo, L. Prasetyorini, dan M. A. Putra, Aplikasi SWMM dalam Perencanaan Drainase Perkotaan, Malang: UB Press, 2022.

[7] S. Harto, Analisis Hidrologi, Jakarta: PT Gramedia Pustaka Utama, 1993.

[8] Soewarno, Hidrologi Aplikasi Metode Statistik untuk Analisa Data Jilid 1, Bandung: Penerbit Nova, 1995.

[9] L. M. Limantara, Rekayasa Hidrologi (Edisi Revisi), Yogyakarta: CV Andi Offset, 2018.

[10] T. Chai and R. R. Draxler, "Root mean square error (RMSE) or mean absolute error (MAE)? – Arguments against avoiding RMSE in the literature," Geoscientific Model Development, vol. 7, no. 3, pp. 1247–1250, 2014.

[11] Badan Standardisasi Nasional, SNI 03-2453-2002: Tata Cara Perencanaan Sumur Resapan Air Hujan untuk Lahan Pekarangan, Jakarta: BSN, 2002.

[12] Pemerintah Kabupaten Brebes, Peraturan Bupati Brebes Nomor 44 Tahun 2022 tentang Standar Harga Satuan Pokok Kegiatan (HSPK) Pemerintah Kabupaten Brebes Tahun Anggaran 2023, Brebes: Pemerintah Kabupaten Brebes, 2022.

[13] Pemerintah Kabupaten Cirebon, Peraturan Bupati Cirebon Nomor 45 Tahun 2024 tentang Standar Harga Satuan Pokok Kegiatan (HSPK) Pemerintah Kabupaten Cirebon Tahun Anggaran 2025, Cirebon: Pemerintah Kabupaten Cirebon, 2024.