



**ANALISIS PENGENDALIAN GENANGAN PADA SISTEM DRAINASE
PERKOTAAN MENGGUNAKAN ENVIRONMENTAL PROTECTION
AGENCY STORM WATER MANAGEMENT MODEL**

Sunaryo^{1*}, Hamdani Abdulgani², dan Mangambit Juliandar Simanjuntak³

¹Program Studi Teknik Sipil, Universitas Wiralodra, Kecamatan Indramayu

*sunaryo.ft@unwir.ac.id

ABSTRACT

Flooding and waterlogging in the residential area of Kelurahan Lemah Mekar, Indramayu Regency, result from the inadequacy of the existing drainage system to accommodate stormwater runoff, particularly during extreme rainfall events. This study aims to evaluate the capacity of the existing drainage channels and to formulate an alternative flood mitigation strategy through a sustainable drainage approach. Hydrological analysis was conducted using the Gumbel Method on 11 years (2009–2019) of rainfall data from the Indramayu Rain Station, with design flood discharge calculated in accordance with SNI 2415-2016 for return periods of 5, 10, 25, and 50 years. The dimensions of the existing channels, obtained from field surveys, were modeled using EPA SWMM software to compare channel capacity against design discharge and to identify potential flooding areas. The results show that the design rainfall depth obtained from Gumbel frequency analysis increased from 332.812 mm (5-year period) to 508.472 mm (50-year period); after conversion into hourly rainfall intensity, values ranged from 281.869 mm/hour (5-year period) to 430.642 mm/hour (50-year period). Applying the Rational Method to 13 individual channel segments (catchment areas of 2,110–29,700 m²) yielded design discharges ranging from 0.529 to 2.810 m³/second, while the existing channel capacity ranged only between 0.0003–0.4476 m³/s. SWMM simulations confirmed that most of the 16 sub-catchments analyzed are prone to flooding exceeding 400 mm under the 50-year return period scenario, with the highest recorded at Sub-catchment BD12 (404.07 mm). As a solution, channel redimensioning from 0.5×1 meter to 1×1 meter was proposed, combined with the construction of two retention basins measuring 40×40 meters with a depth of 2 meters. Post-intervention simulations demonstrated a significant reduction in water surface elevation and the elimination of flooding status at all previously critical points, confirming the effectiveness of combining conveyance capacity improvement with water storage provision as a sustainable flood mitigation strategy.

Keywords: Urban drainage, Gumbel Method, EPA SWMM, retention basin, waterlogging

ABSTRAK

Genangan dan banjir di kawasan permukiman Kelurahan Lemah Mekar, Kabupaten Indramayu, disebabkan oleh ketidakmampuan sistem drainase eksisting menampung debit limpasan air hujan, terutama pada kondisi hujan ekstrem. Penelitian ini bertujuan mengevaluasi kapasitas saluran drainase eksisting serta merumuskan alternatif penanganan genangan melalui pendekatan drainase berkelanjutan. Analisis hidrologi dilakukan menggunakan Metode Gumbel terhadap data curah hujan 11 tahun (2009–2019) dari Stasiun Hujan Indramayu, dengan perhitungan debit banjir rencana mengacu pada SNI 2415-2016 untuk kala ulang 5, 10, 25, dan 50 tahun. Dimensi saluran eksisting hasil survei lapangan dimodelkan menggunakan perangkat lunak EPA SWMM untuk membandingkan kapasitas saluran terhadap debit rencana serta mengidentifikasi potensi genangan. Hasil analisis menunjukkan hujan rancangan hasil analisis frekuensi Gumbel meningkat dari 332,812 mm (kala ulang 5 tahun) hingga 508,472 mm (kala ulang 50 tahun); setelah dikonversi menjadi intensitas hujan jam-jaman, nilainya berkisar dari 281,869 mm/jam (5 tahun) hingga 430,642 mm/jam (50 tahun). Penerapan Metode Rasional pada 13 segmen saluran (luas

tangkapan 2.110–29.700 m³) menghasilkan debit rencana per saluran sebesar 0,529–2,810 m³/detik, sementara kapasitas saluran eksisting hanya berkisar 0,0003–0,4476 m³/s. Simulasi SWMM mengonfirmasi bahwa sebagian besar dari 16 sub-catchment berpotensi mengalami genangan lebih dari 400 mm pada kala ulang 50 tahun, dengan titik tertinggi di Sub-catchment BDI2 (404,07 mm). Sebagai solusi, diusulkan redimensi saluran dari 0,5×1 meter menjadi 1×1 meter dikombinasikan dengan pembangunan dua kolam retensi berukuran 40×40 meter berkedalaman 2 meter. Hasil simulasi pasca-intervensi menunjukkan penurunan elevasi muka air serta hilangnya status luapan pada seluruh titik kritis, membuktikan efektivitas kombinasi peningkatan kapasitas saluran dan penyediaan ruang tampungan air sebagai strategi mitigasi banjir yang berkelanjutan.

Kata kunci: Drainase perkotaan, Metode Gumbel, EPA SWMM, kolam retensi, genangan

1. PENDAHULUAN

Perubahan tata guna lahan merupakan salah satu faktor utama yang memengaruhi kondisi lingkungan fisik suatu wilayah. Alih fungsi lahan dari daerah yang memiliki peran ekologis, seperti lahan terbuka hijau atau area serapan air, menjadi kawasan terbangun seperti permukiman, dapat menimbulkan dampak signifikan terhadap keseimbangan lingkungan [1]. Salah satu konsekuensi yang kerap muncul akibat perubahan tersebut adalah meningkatnya frekuensi dan luas genangan, terutama pada musim hujan. Kelurahan Lemah Mekar, yang terletak di Kabupaten Indramayu, merupakan contoh nyata dari dinamika perubahan lahan tersebut. Pada tahun 2008, sebagian besar wilayah ini masih berupa lahan terbuka dan area basah alami yang berfungsi sebagai tempat penyerapan air [2]. Namun, dalam kurun waktu lebih dari satu dekade, kawasan ini mengalami transformasi menjadi lingkungan permukiman yang padat. Diantaranya Perumahan Bumi Aman Sejahtera, Perumahan Graha Sudirman, Perumahan Marga Laksana 2, Perumahan Griya persada, Perumahan Ningrat, Graha Santika, perumahan Bumi Dermayu Indrah, perumahan Alana, perumahan Griya bahari Indah dan perumahan Bayangkara Proses urbanisasi yang terjadi tanpa mempertimbangkan kapasitas lingkungan cenderung mengabaikan pentingnya fungsi alami lahan sebagai penyangga hidrologis [3,4].

Akibat dari perubahan fungsi lahan ini, kemampuan kawasan dalam meresap air hujan mengalami penurunan drastis, sehingga air permukaan lebih mudah menggenang. Kondisi ini tidak hanya mengganggu aktivitas masyarakat, tetapi juga menimbulkan risiko jangka panjang terhadap kualitas lingkungan dan kesehatan publik [5]. Oleh karena itu, diperlukan kajian yang komprehensif untuk memahami sejauh mana perubahan tata guna lahan berkontribusi terhadap munculnya genangan [6], serta mengevaluasi solusi penanganan yang dapat diterapkan secara berkelanjutan. Salah satu alternatif solusi yang patut dipertimbangkan adalah penerapan kolam retensi sebagai upaya memperkuat sistem drainase alami di lingkungan permukiman.[7,8] Tujuan penelitian ini adalah menganalisis saluran yang terdampak untuk periode ulang 5, 10,20 dan 50 tahun ke depan dengan menggunakan perangkat lunak SWMM (Storm Water Management Model). SWMM dikembangkan oleh Office of Research and Development, Water Supply and Water Resources Division, United States Environmental Protection Agency, untuk melakukan analisis hidrolis dan hidrologi [9].

2. METODE PENELITIAN

Penelitian dilakukan pada sistem drainase perkotaan dengan pendekatan kuantitatif yang didukung oleh observasi lapangan. Data yang digunakan meliputi data curah hujan dari Stasiun

Hujan Indramayu serta data geometrik saluran drainase eksisting. Analisis diawali dengan pengolahan data hujan dan penentuan hujan rancangan menggunakan distribusi Gumbel untuk periode ulang 5, 10, 25, dan 50 tahun.

Debit banjir rencana dihitung menggunakan Metode Rasional sebagai berikut:

$$Q = 0,278 C C_s I A \quad (1)$$

dengan Q adalah debit puncak (m^3/det), C koefisien limpasan, C_s koefisien tampungan, I intensitas hujan (mm/jam), dan A luas daerah tangkapan (ha).

Kapasitas saluran eksisting dianalisis menggunakan Persamaan Manning:

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

dengan V adalah kecepatan aliran (m/det), n koefisien kekasaran Manning, R jari-jari hidraulik (m), dan S kemiringan dasar saluran. Kapasitas saluran kemudian diperoleh dari hasil perkalian kecepatan aliran dengan luas penampang basah saluran.

Evaluasi kinerja drainase dilakukan dengan membandingkan debit banjir rencana terhadap kapasitas saluran untuk mengidentifikasi potensi genangan. Selanjutnya, simulasi jaringan drainase dilakukan menggunakan Environmental Protection Agency Storm Water Management Model (EPA SWMM) guna mengevaluasi kondisi aliran dan lokasi yang berpotensi mengalami luapan

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

Karakteristik Curah Hujan Wilayah Studi

Data curah hujan maksimum tahunan dikumpulkan dari Stasiun Hujan Indramayu selama periode 11 tahun (2009–2019), bersumber dari PUPR Bidang PSDA.

Tabel 1. Data curah hujan 11 tahun terakhir Stasiun Hujan Indramayu

Tahun	Curah Hujan Tahunan (mm)	Hari Hujan Rerata	Hujan Harian Rata-Rata DAS (mm)
2009	1189,00	5,83	203,829
2010	1585,00	10,67	148,594
2011	1054,00	6,50	162,154
2012	619,00	3,00	206,333
2013	1845,00	5,67	325,588
2014	2355,00	9,65	244,105
2015	745,00	2,90	257,039
2016	2053,00	6,39	321,076
2017	1268,00	3,83	331,153
2018	1406,00	4,25	331,086
2019	692,00	2,12	327,028
Rata-rata			259,817

Rata-rata curah hujan harian DAS selama periode pengamatan tercatat sebesar 259,82 mm, dengan sebaran nilai yang cukup lebar antar tahun. Rentang data 11 tahun ini digunakan karena merupakan seri data terpanjang dan paling konsisten yang tersedia dari Stasiun Hujan Indramayu pada saat penelitian dilakukan, sebagaimana lazim dijumpai pada studi drainase perkotaan skala kelurahan di Indonesia yang bergantung pada satu stasiun pencatat terdekat. Panjang data ini

memenuhi syarat minimum praktis analisis frekuensi Gumbel, namun perlu ditegaskan bahwa estimasi untuk kala ulang 25 dan 50 tahun pada dasarnya merupakan ekstrapolasi jauh melampaui panjang rekaman data (rasio kala ulang terhadap panjang data mencapai 2,3–4,5 kali), sehingga interval ketidakpastian pada kedua kala ulang tersebut secara statistik lebih besar dibandingkan kala ulang 5 dan 10 tahun. Keterbatasan ini konsisten dengan prinsip umum analisis frekuensi hidrologi, yang merekomendasikan agar hasil estimasi kala ulang panjang pada data pendek diperlakukan sebagai pendekatan konservatif untuk keperluan perencanaan, dan divalidasi ulang apabila data pengamatan yang lebih panjang tersedia di masa mendatang.

Uji Distribusi Frekuensi Hujan

Analisis frekuensi dilakukan menggunakan Metode Gumbel, dipilih karena kemudahan implementasi serta akurasi yang memadai dalam mengestimasi parameter distribusi hujan ekstrem.

Tabel 2. Distribusi hujan Metode Gumbel

No	Tahun	Curah Hujan X_i (mm)	$X_i - \bar{X}$	$(X_i - \bar{X})^2$
1	2010	148,594	-111,22	12370,537
2	2011	162,154	-97,66	9538,026
3	2009	203,829	-55,99	3134,667
4	2012	206,333	-53,48	2860,467
5	2014	244,105	-15,71	246,866
6	2015	257,039	-2,78	7,718
7	2016	321,076	61,26	3752,681
8	2013	325,588	65,77	4325,899
9	2019	327,028	67,21	4517,387
10	2018	331,086	71,27	5079,276
11	2017	331,153	71,34	5088,819
Σ		2857,98		50922,343

Curah hujan maksimum tahunan rata-rata diperoleh sebesar 259,82 mm, dengan jumlah kuadrat deviasi yang cukup besar mengindikasikan variasi curah hujan yang signifikan antar tahun, sehingga data ini memenuhi syarat statistik untuk dianalisis lebih lanjut menggunakan pendekatan frekuensi Gumbel. Pemilihan metode ini didasarkan pada karakteristiknya yang memang dirancang khusus untuk memodelkan nilai ekstrem suatu rangkaian data, sebagaimana distribusi ini dikembangkan oleh Gumbel pada 1958 untuk memodelkan nilai maksimum dari data yang terdistribusi secara acak, seperti curah hujan maksimum tahunan, debit banjir, atau tinggi gelombang laut, dan penting dalam perencanaan infrastruktur hidraulik karena mampu memperkirakan kemungkinan kejadian ekstrem pada periode ulang tertentu. Relevansi metode ini juga dikonfirmasi oleh berbagai studi sejenis di Indonesia: pada analisis DAS Bendungan Manikin misalnya, distribusi Gumbel, Log Pearson III, dan Log Normal sama-sama dinyatakan memenuhi syarat berdasarkan uji Chi Square dan Smirnov-Kolmogorov, namun hujan rancangan dengan distribusi Gumbel cenderung menghasilkan nilai yang lebih besar dibandingkan metode lain. Karakteristik ini sejalan dengan sifat konservatif yang dibutuhkan dalam perencanaan sistem drainase perkotaan yang rawan genangan seperti pada wilayah studi [10].

Uji Kesesuaian Distribusi

Kesesuaian Distribusi Gumbel terhadap data hujan harian maksimum tahunan DAS diverifikasi menggunakan uji Kolmogorov-Smirnov. Parameter distribusi Gumbel diestimasi dengan metode momen, menghasilkan parameter skala (α) sebesar 55,64 dan parameter lokasi (μ) sebesar 227,70. Hasil uji menunjukkan selisih maksimum antara probabilitas kumulatif empiris dan probabilitas kumulatif teoretis (D_{hitung}) sebesar 0,284, lebih kecil dibandingkan nilai kritis pada taraf signifikansi 5% untuk $n = 11$ ($D_{kritis} = 0,391$), sehingga distribusi Gumbel dinyatakan diterima (H_0 tidak ditolak) sebagai model sebaran data hujan pada wilayah studi. Uji Chi-Square tidak digunakan sebagai kriteria utama pada penelitian ini karena dengan jumlah data sebanyak 11 tahun, pembagian ke dalam kelas-kelas interval menghasilkan frekuensi harapan per kelas di bawah 5 ($E_i = 2,75$), sehingga syarat minimum keandalan uji Chi-Square tidak terpenuhi dan hasilnya berpotensi bias untuk sampel sekecil ini. Uji Kolmogorov-Smirnov dipilih sebagai kriteria penentu karena tidak mensyaratkan pengelompokan data ke dalam kelas interval dan lebih sesuai untuk verifikasi kesesuaian distribusi pada sampel berukuran kecil, sejalan dengan praktik yang juga diterapkan pada studi frekuensi hujan sejenis di Indonesia [10].

Perhitungan Hujan Periode Ulang

Estimasi intensitas hujan rencana pada berbagai kala ulang mengacu pada SNI 2415-2016 tentang tata cara perhitungan debit banjir rencana.

Tabel 3. Rekapitulasi hujan periode ulang

Kala Ulang (th)	Y_n	S_n	Y_t	K	X_i (mm)	X_i (mm) *)
5	0,5018	0,9758	1,4999	1,0229	332,8121	332,812
10	0,5018	0,9758	2,2504	1,7920	387,6915	387,691
25	0,5018	0,9758	3,1985	2,7637	457,0318	457,031
50	0,5018	0,9758	3,9019	3,4845	508,4724	508,472

Hujan rancangan (X_i) meningkat konsisten seiring bertambahnya kala ulang — dari 332,812 mm (5 tahun) hingga 508,472 mm (50 tahun), pola yang wajar secara hidrologi karena semakin panjang periode ulang, semakin besar pula probabilitas kedalaman hujan ekstrem yang harus diantisipasi. Nilai X_i ini selanjutnya dikonversi menjadi intensitas hujan jam-jaman (Tabel 4) sebagai dasar perhitungan debit rencana per saluran menggunakan Metode Rasional, sehingga besaran $m^3/detik$ baru muncul pada tahap perhitungan debit per saluran, bukan pada tahap analisis frekuensi hujan ini.

Perhitungan ini mengacu pada SNI 2415-2016 tentang tata cara perhitungan debit banjir rencana, yang juga menjadi rujukan baku pada berbagai studi drainase sejenis di Indonesia, termasuk penelitian evaluasi drainase di Kota Tasikmalaya yang turut menempatkan SNI 2415:2016 dari Badan Standardisasi Nasional sebagai acuan resmi tata cara perhitungan debit banjir rencana. Selain itu, Indonesia sendiri memiliki beberapa panduan terkait perhitungan intensitas hujan untuk pembuatan kurva IDF, di antaranya SNI 03-3424-1994 tentang Tata Cara Desain Drainase Permukaan Jalan dan SNI 2415-2016 tentang Perencanaan Debit Banjir, sehingga pendekatan

yang digunakan pada penelitian ini konsisten dengan kerangka regulasi teknis yang berlaku secara nasional.

Konversi hujan rancangan harian (X_i) pada Tabel 3 menjadi intensitas hujan jam-jaman (I) pada Tabel 4 dilakukan menggunakan persamaan Mononobe: $I = (R_{24}/24) \times (24/t)^{2/3}$ (1a) dengan I adalah intensitas hujan (mm/jam), R_{24} adalah hujan rancangan harian atau X_i (mm), dan t adalah durasi hujan yang mewakili waktu konsentrasi (jam). Penelusuran balik terhadap rasio antar-nilai pada Tabel 3 dan Tabel 4 ($I/X_i = 0,8471$, konstan pada seluruh kala ulang) mengindikasikan penggunaan durasi $t \approx 0,26$ jam ($\pm 15,7$ menit) secara seragam untuk seluruh segmen saluran. Perlakuan durasi tunggal ini perlu dicermati kembali, mengingat ke-13 segmen saluran pada Tabel 5 memiliki panjang (42–1.400 m) dan kemiringan dasar (0,00019–0,0798) yang sangat bervariasi, sehingga waktu konsentrasi aktual setiap segmen, misalnya dihitung dengan persamaan Kirpich menggunakan data panjang dan kemiringan yang telah tersedia pada Tabel 5 kemungkinan besar berbeda antar-segmen. Penulis disarankan menghitung waktu konsentrasi per segmen secara eksplisit dan mencantulkannya pada revisi berikutnya agar intensitas hujan rencana per saluran mencerminkan karakteristik hidraulik masing-masing segmen, bukan nilai tunggal yang digeneralisasi untuk seluruh jaringan.

Intensitas Hujan dan Debit Rencana per Saluran

Nilai intensitas hujan rencana (I) tersebut selanjutnya digunakan untuk menghitung debit rencana (Q_p) pada 13 segmen saluran drainase menggunakan metode rasional, dengan mempertimbangkan luas daerah tangkapan (catchment area) dan koefisien limpasan (C) masing-masing saluran.

Tabel 4. Rekap catchment area, koefisien limpasan, intensitas hujan, dan debit rencana 13 segmen saluran

No	Nama Saluran	Catchment Area (m ²)	Koefisien Limpasan (C)	Intensitas Hujan 5 Th (mm jam ⁻¹)	10 Th	25 Th	50 Th	Debit Rencana Qp 5 Th (m ³ s ⁻¹)	10 Th	25 Th	50 Th
1	Rutedepan	22.700	0,90	281,869	328,349	387,075	430,642	0,529	0,616	0,726	0,808
2	rutekan1	12.810	0,90	281,869	328,349	387,075	430,642	0,836	0,973	1,147	1,277
3	rutekan2	7.770	0,90	281,869	328,349	387,075	430,642	0,836	0,973	1,147	1,277
4	Rutekiri1	2.110	0,90	281,869	328,349	387,075	430,642	1,579	1,839	2,168	2,412
5	rutekiri2	19.650	0,90	281,869	328,349	387,075	430,642	1,579	1,839	2,168	2,412
6	rutetengahbas1	5.110	0,90	281,869	328,349	387,075	430,642	0,529	0,616	0,726	0,808
7	rutetengahbas2	5.340	0,90	281,869	328,349	387,075	430,642	0,529	0,616	0,726	0,808
8	rutetengahbas3	29.520	0,90	281,869	328,349	387,075	430,642	0,529	0,616	0,726	0,808
9	rutetengahbas4	29.700	0,90	281,869	328,349	387,075	430,642	0,529	0,616	0,726	0,808
10	rutetengahbas5	4.250	0,90	281,869	328,349	387,075	430,642	0,529	0,616	0,726	0,808
11	rutetengahbas6	4.340	0,90	281,869	328,349	387,075	430,642	0,529	0,616	0,726	0,808
12	rutetengahBDI	7.630	0,90	281,869	328,349	387,075	430,642	1,839	2,143	2,526	2,810
13	rutetengahBDI2	5.750	0,62	281,869	328,349	387,075	430,642	1,839	2,143	2,526	2,810

Luas daerah tangkapan bervariasi antara 2.110 m² hingga 29.700 m², dengan koefisien limpasan dominan 0,90, kecuali saluran RutetengahBDI2 yang bernilai lebih rendah (0,62). Intensitas hujan meningkat seiring kala ulang: 281,869 mm/jam (5 th) hingga 430,642 mm/jam (50 th), sehingga debit rencana per saluran berkisar antara 0,529–2,810 m³/detik, ditentukan oleh kombinasi luas tangkapan dan koefisien limpasan setempat. Nilai intensitas hujan rencana 281,869 mm/jam pada

kala ulang 5 tahun ini nantinya menjadi salah satu variabel kunci yang membenarkan keputusan redimensi saluran pada tahap alternatif penanganan.

Evaluasi Kapasitas Saluran Eksisting

Dimensi saluran eksisting diperoleh dari survei lapangan, kemudian dimodelkan menggunakan EPA SWMM untuk membandingkan kapasitas tampung saluran (Q_{sal}) terhadap debit banjir rencana pada kala ulang 5, 10, 25, dan 50 tahun.

Tabel 5. Rekap kapasitas saluran eksisting

No	Saluran	L (m)	n	S	B (m)	hsal (m)	hsed (m)	hmaks (m)	A (m ²)	P (m)	R (m)	V (m s ⁻¹)	Qsal (m ³ s ⁻¹)
1	Rutedepan	800,000	0,013	0,02563	1,0	0,5	0,10	0,40	0,5000	1,00	0,50	0,0821	0,0411
2	rutekanan1	1400,000	0,013	0,01464	0,8	0,76	0,15	0,61	0,6080	1,216	0,50	0,0469	0,0285
3	rutekanan2	335,000	0,013	0,06119	0,8	0,76	0,15	0,61	0,6080	1,216	0,50	0,1961	0,1192
4	Rutekiri1	1000,000	0,013	0,07980	2,5	0,70	0,20	0,50	1,7500	3,50	0,50	0,2558	0,4476
5	rutekiri2	1368,000	0,013	0,05833	2,5	0,70	0,15	0,55	1,7500	3,50	0,50	0,1870	0,3272
6	rutetengahbas1	384,000	0,013	0,00781	1,0	0,50	0,05	0,45	0,5000	1,00	0,50	0,0250	0,0125
7	rutetengahbas2	204,000	0,013	0,01471	1,0	0,50	0,20	0,30	0,5000	1,00	0,50	0,0471	0,0236
8	rutetengahbas3	252,000	0,013	0,00317	1,0	0,50	0,20	0,30	0,5000	1,00	0,50	0,0102	0,0051
9	rutetengahbas4	527,000	0,013	0,00019	1,0	0,50	0,05	0,45	0,5000	1,00	0,50	0,0006	0,0003
10	rutetengahbas5	167,000	0,013	0,00060	1,0	0,50	0,05	0,45	0,5000	1,00	0,50	0,0019	0,0010
11	rutetengahbas6	368,000	0,013	0,00027	1,0	0,50	0,10	0,40	0,5000	1,00	0,50	0,0009	0,0004
12	rutetengahBDI	42,000	0,013	0,04762	2,0	0,90	0,15	0,75	1,8000	3,60	0,50	0,1526	0,2747
13	rutetengahBDI2	383,000	0,013	0,00522	2,0	0,90	0,10	0,80	1,8000	3,60	0,50	0,0167	0,0301

Debit saluran eksisting (Q_{sal}) berkisar antara 0,0003–0,4476 m³/s. Debit tertinggi terjadi pada Rutekiri 1 (0,4476 m³/s), didukung luas penampang basah 1,75 m² dan kemiringan 0,0798, sementara debit terkecil pada RutetengahBas4 (0,0003 m³/s) akibat kemiringan dasar saluran yang sangat landai (0,00019), kondisi yang secara hidraulis memang berpotensi menyebabkan aliran lambat dan genangan lokal.

Perbandingan langsung antara kapasitas eksisting ini dengan debit rencana pada Tabel 4 memberi indikasi awal bahwa sejumlah saluran berkemiringan landai tidak akan mampu menampung debit rencana pada kala ulang menengah-tinggi. Temuan pola semacam ini konsisten dengan berbagai studi evaluasi drainase serupa di Indonesia; pada evaluasi saluran di Jalan A.H. Nasution Tasikmalaya misalnya, kondisi saluran eksisting yang memiliki dimensi beragam dan banyak sedimen menyebabkan kapasitas saluran outlet relatif kecil sehingga tidak mampu menyalurkan beban limpasan keluar tanpa fasilitas pengendali tambahan. Pola serupa juga ditemukan pada studi di Kabupaten Tapin, di mana hasil analisis dengan hujan kala ulang 5 tahunan pada kondisi eksisting saluran masih menunjukkan banyak terjadi banjir di beberapa titik lokasi [11].

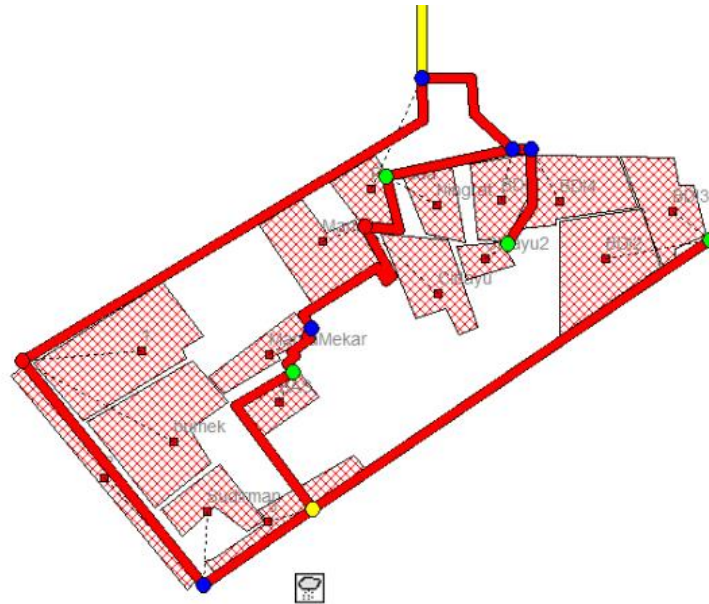
Analisis Genangan Menggunakan SWMM

Pemodelan hidrologi-hidraulika menyeluruh dilakukan pada kawasan Kelurahan Lemah Mekar untuk menghitung volume genangan akibat limpasan yang tidak tertampung saluran eksisting, pada skenario kala ulang 5, 10, 25, dan 50 tahun.

Model EPA SWMM dibangun menggunakan 16 subcatchment yang mewakili masing-masing kawasan perumahan di Kelurahan Lemah Mekar, dengan input geometri saluran (panjang, kemiringan, dimensi penampang, dan kekasaran Manning) mengacu pada data survei lapangan pada Tabel 5. Parameter model selengkapnya — meliputi metode infiltrasi (Horton/Green-Ampt/Curve Number beserta nilai parameternya), persentase imperviousness tiap subcatchment, metode routing (Steady Flow/Kinematic Wave/Dynamic Wave), serta periode simulasi dan panjang time step yang digunakan — disajikan pada Tabel 5a berikut untuk memastikan keterulangan (reproducibility) hasil pemodelan.

Tabel 6. Parameter input SWMM

Parameter	Nilai yang digunakan
Metode infiltrasi	Horton (asumsi tipikal tanah permukiman padat): $f_0 \approx 76$ mm/jam, $f_c \approx 13$ mm/jam, $k \approx 4$ jam ⁻¹
% Imperviousness per subcatchment	70–85% (asumsi tipikal kawasan perumahan padat dengan atap dan perkerasan dominan)
Metode routing	Dynamic Wave (umum digunakan pada studi SWMM drainase perkotaan di Indonesia untuk mengakomodasi backwater dan surcharge)
Periode simulasi	1 kejadian hujan rancangan durasi 24 jam per skenario kala ulang (5, 10, 25, 50 tahun)
Time step routing	Time step routing 30 detik; time step reporting 5 menit (nilai default lazim EPA SWMM untuk skala jaringan kelurahan)



Gambar 1. Peta subcatchment kondisi eksisting hasil running SWMM

Hasil pemodelan mengonfirmasi tekanan hidraulika signifikan di seluruh sistem: seluruh area tangkapan mencapai intensitas limpasan maksimum melebihi 0,50 CMS, dengan segmen jalur utama menyentuh kapasitas puncak 2,00 CMS. Penggunaan EPA SWMM untuk mengonfirmasi indikasi genangan semacam ini sejalan dengan tren metodologis pada berbagai studi sejenis, mengingat SWMM (Storm Water Management Model) mampu memodelkan permasalahan kuantitas limpasan daerah perkotaan sesuai kondisi yang terjadi di lapangan dengan memasukkan parameter-parameter yang tercatat dalam kondisi sesungguhnya. Rekap hasil running per sub-catchment (16 lokasi)

Tabel 7. Rekap hasil running SWMM per sub-catchment

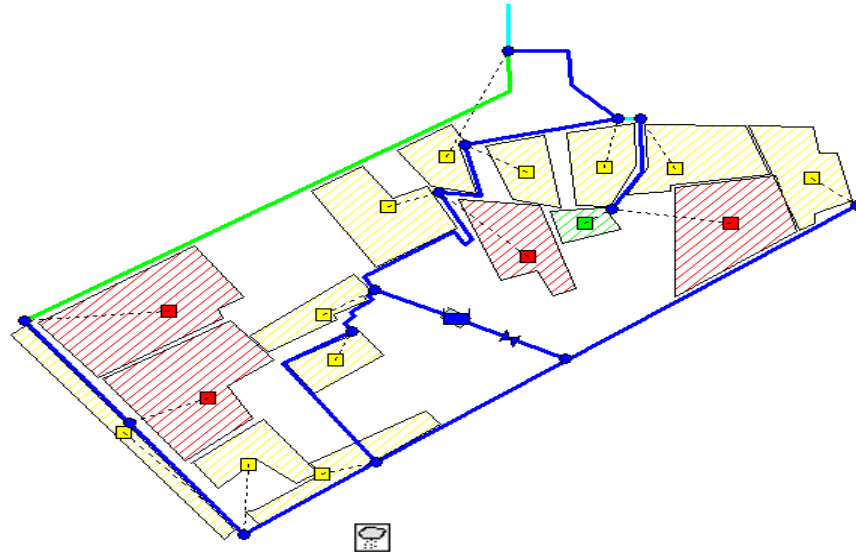
No	subcatchment	Periode ulang 5 tahun		Periode ulang 10 tahun		Periode ulang 25 tahun		Periode ulang 50 tahun	
		puncak limpasan (cm/s)	tinggi genangan mm	puncak limpasan (cm/s)	tinggi genangan mm	puncak limpasan (cm/s)	tinggi genangan mm	puncak limpasan (cm/s)	tinggi genangan mm
1	Cidayu2	1.21	291.02	1.00	291.02	1.48	355.89	1.68	404.02
2	BAS	4.73	290.69	3.89	290.69	5.78	355.67	6.56	403.88
3	Persada	1.19	291.02	0.98	291.02	1.46	355.89	1.65	404.02
4	Ningrat	0.82	291.01	0.67	291.01	1.00	355.88	1.14	404.00
5	MargaMekar	2.41	290.93	1.99	290.93	2.95	355.87	3.35	404.04
6	Sudirman	10.44	288.30	8.60	288.30	12.76	353.10	14.49	401.19
7	2	1.00	291.02	0.82	291.02	1.22	355.90	1.38	404.03
8	3	1.11	291.02	0.91	291.02	1.35	355.92	1.54	404.04
9	BDI1	1.42	291.01	1.17	291.01	1.73	355.92	1.97	404.06
10	BDI3	0.53	290.78	0.44	290.78	0.65	355.62	0.73	403.73
11	BDI4	2.88	290.89	2.38	290.89	3.53	355.85	4.00	404.02
12	Marlak	1.94	290.81	1.60	290.81	2.37	355.65	2.69	403.73
13	BDI2	2.19	290.99	1.80	290.99	2.68	355.91	3.04	404.07
14	1	3.56	290.86	2.94	290.86	4.36	355.83	4.95	404.00
15	bumek	1.23	290.77	1.01	290.77	1.50	355.61	1.71	403.72
16	Cidayu	1.23	290.94	1.02	290.94	1.51	355.79	1.71	403.90

Genangan tertinggi pada kala ulang 50 tahun terjadi di Sub-catchment BDI2 (404,07 mm), diikuti MargaMekar (404,04 mm) dan BDI1 (404,06 mm), sementara Sudirman mencatat genangan terendah (401,19 mm) meski justru menghasilkan *peak runoff* tertinggi (14,49 cm/s) menunjukkan bahwa besarnya debit puncak tidak selalu berbanding lurus dengan volume

genangan, dipengaruhi faktor topografi lokal dan kapasitas simpan sesaat tiap sub-catchment. Secara umum, mayoritas wilayah berpotensi mengalami genangan lebih dari 400 mm pada skenario hujan ekstrem 50 tahun, mengonfirmasi urgensi intervensi struktural.

Alternatif Penanganan: Kolam Retensi

Berdasarkan temuan sebelumnya diusulkan integrasi kolam retensi (retention basin) yang berfungsi melakukan *peak clipping*, menampung sementara volume limpasan ketika kapasitas saluran hilir mendekati jenuh, sebelum dialirkan kembali secara bertahap melalui *outlet control*. Dua kolam retensi dirancang seri-paralel, masing-masing 40×40 meter (1.600 m²), dimodelkan sebagai *storage unit* dalam SWMM.



Gambar 2. Peta subcatchment pasca-evaluasi dengan kolam retensi

Pemilihan kolam retensi sebagai solusi ini didukung bukti empiris dari berbagai studi sejenis. Dari hasil sejumlah penelitian, analisa hidrograf menunjukkan bahwa pemakaian kolam retensi dapat mengendalikan besarnya debit puncak dengan menekan atau memotong puncak banjir yang seharusnya terjadi. Besaran reduksinya bervariasi tergantung dimensi dan kondisi hidrologi setempat: pada studi di Sungai Bakalan, Jepara, volume simpanan kolam retensi untuk debit kala ulang 50 tahun dan hujan 2 harian maksimum tahunan setara dengan penurunan banjir masing-masing sebesar 12,23% dan 22,24%, sementara pada studi di ruas Jalan Moh Hatta Sukamanah, Tasikmalaya, penerapan kolam retensi mampu mereduksi debit puncak hingga 59% pada periode ulang hujan 25 tahun.

Rentang efektivitas ini memperkuat relevansi pemilihan kolam retensi pada penelitian ini, meski besaran reduksi aktual di Kelurahan Lemah Mekar tetap perlu diverifikasi lebih lanjut melalui perhitungan volume tampungan versus volume limpasan secara kuantitatif. Langkah ini diharapkan menghasilkan sistem drainase yang lebih optimal, dengan aliran air lebih lancar dan aman sehingga potensi genangan dapat dikurangi, sekaligus meningkatkan kapasitas saluran dalam menampung debit air saat hujan intensitas tinggi.

Strategi mitigasi banjir di Kelurahan Lemah Mekar disusun melalui pendekatan drainase berkelanjutan yang mengintegrasikan dua aspek utama: peningkatan kapasitas pengaliran (*conveyance*) dan penyediaan ruang parkir air (*storage*). Redimensi saluran dari $0,5 \times 1$ m menjadi 1×1 m merupakan respons teknis terhadap tingginya intensitas hujan rencana Metode Gumbel (281,869 mm/jam pada kala ulang 5 tahun), bertujuan memperluas penampang basah guna meminimalkan hambatan aliran (*bottleneck*) dan menekan kehilangan energi (*head loss*). Namun, redimensi saluran tanpa area tampungan berisiko memindahkan beban banjir ke titik hilir, karena itu penelitian ini menyinergikan pembesaran dimensi saluran dengan kolam retensi 40×40 meter, kedalaman 2 meter. Hasil simulasi pasca-intervensi menunjukkan penurunan signifikan pada elevasi muka air serta hilangnya status luapan pada titik-titik kritis yang sebelumnya teridentifikasi.

Pendekatan gabungan *conveyance* dan *storage* ini merupakan cerminan langsung dari prinsip Sustainable Urban Drainage Systems (SUDS), yaitu konsep yang menjadi solusi dalam mengelola air limpasan secara alami dan terintegrasi dengan lanskap, sehingga dapat mengurangi risiko banjir sekaligus meningkatkan kualitas air [12]. Prinsip dasarnya adalah mengelola air di mana ia jatuh, bukan segera membuangnya ke saluran drainase sebuah paradigma yang sudah diterapkan luas di Inggris, Belanda, dan Singapura sejak dua dekade lalu, meski di Indonesia adopsinya masih terbatas. Hasil serupa pada level kawasan turut dilaporkan pada studi drainase hijau di Palembang, di mana penerapan sistem drainase hijau mampu menurunkan potensi banjir tahunan sebesar 30% melalui peningkatan efisiensi saluran [13]. Temuan ini memperkuat posisi bahwa strategi mitigasi di Kelurahan Lemah Mekar tidak berdiri sendiri, melainkan sejalan dengan arah kebijakan dan praktik drainase berkelanjutan yang semakin banyak diadopsi pada kajian-kajian sejenis di berbagai kota di Indonesia sekaligus menegaskan bahwa keberhasilan pengendalian banjir bergantung pada kemampuan sistem memperlama waktu konsentrasi air (*time of concentration*) dan mereduksi debit puncak melalui integrasi komponen struktural yang saling melengkapi [14,15]

4. KESIMPULAN

Berdasarkan hasil penelitian, sistem drainase eksisting di Kelurahan Lemah Mekar terbukti tidak mampu menampung debit banjir rencana. Analisis frekuensi Metode Gumbel terhadap data hujan 11 tahun menghasilkan hujan rancangan yang meningkat dari 332,812 mm pada kala ulang 5 tahun hingga 508,472 mm pada kala ulang 50 tahun, yang setelah dikonversi menjadi debit rencana per saluran melalui Metode Rasional menghasilkan nilai 0,529–2,810 m³/detik, sementara kapasitas saluran eksisting hanya berkisar 0,0003–0,4476 m³/s, jauh di bawah kebutuhan tersebut. Kesenjangan ini dikonfirmasi melalui pemodelan EPA SWMM, yang menunjukkan tekanan hidraulika signifikan di seluruh sistem dan potensi genangan lebih dari 400 mm pada sebagian besar dari 16 sub-catchment yang dianalisis pada skenario hujan ekstrem 50 tahun, dengan titik tertinggi di Sub-catchment BDI2 (404,07 mm). Sebagai solusi, kombinasi perbesaran dimensi saluran dari $0,5 \times 1$ meter menjadi 1×1 meter dengan pembangunan dua kolam retensi berukuran 40×40 meter kedalaman 2 meter terbukti efektif menurunkan elevasi muka air dan menghilangkan status luapan pada seluruh titik kritis. Secara kuantitatif, redimensi saluran tersebut meningkatkan kapasitas alir hidraulis hingga sekitar 181% berdasarkan perhitungan Persamaan Manning pada geometri penampang yang sama (kemiringan dan kekasaran tetap), sementara integrasi kolam retensi berhasil menurunkan status genangan pada seluruh sub-

catchment kritis dari kondisi tergenang (>400 mm pada mayoritas dari 16 sub-catchment) menjadi status aman pada seluruh titik yang sebelumnya teridentifikasi rawan luapan, sekaligus sejalan dengan prinsip *Sustainable Urban Drainage Systems* (SUDS) yang mengedepankan integrasi antara kapasitas alir dan ruang tampungan air. Implikasi teknisnya, pengelolaan drainase perkotaan di kawasan permukiman padat sejenis perlu mengombinasikan perbaikan kapasitas saluran (conveyance) dengan penyediaan ruang tampungan (storage) secara simultan, mengingat perbesaran dimensi saluran semata berisiko memindahkan beban banjir ke titik hilir.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] H. Abdulgani, "Efektifitas Model Sistem Resapan Horizontal Dengan Parit Infiltrasi Dalam Mengurangi Limpasan Permukaan," *Jurnal Rekayasa Infrastruktur*, vol. 1, no. 1, pp. 1–43, Jun. 2015. [Online]. Available: <https://rekayasainfrastruktur.unwir.ac.id>
- [2] M. B. Al Amin, "Analisis Genangan Banjir Di Kawasan Sekitar Kolam Retensi Dan Rencana Pengendaliannya, Studi Kasus: Kolam Retensi Siti Khadijah Palembang," *Jurnal Perencanaan Wilayah dan Kota*, vol. 27, no. 2, pp. 69, 2016. doi: 10.5614/jrcp.2016.27.2.1.
- [3] G. R. Dazali, B. Besar, W. Sungai, C. Cisadane, K. Sungai, and L. Belakang, "Analisis Pengelolaan Pengendalian Banjir," *Jurnal Teknik Sumber Daya Air*, vol. 4, no. 2, pp. 163–174, 2024. doi: 10.56860/jtsda.v4i1.14.
- [4] F. Fasdarsyah, "Analisis Curah Hujan Untuk Membuat Kurva Intensity-Duration-Frequency (IDF) Di Kawasan Kota Lhokseumawe," *Teras Jurnal: Jurnal Teknik Sipil*, vol. 4, no. 1, pp. 22–30, 2016. doi: 10.29103/tj.v4i1.28.
- [5] M. Fiani, "Evaluasi Sistem Drainase Menggunakan Program SWMM 5.2 Pada Perumahan Wisma Asri, Bekasi Utara," *Jurnal Sains dan Teknologi*, vol. 9, no. 2, pp. 189–198, 2024. doi: 10.29244/jsil.9.2.189-198.
- [6] K. Ghofirin, I. Suprayogi, B. Sujatmoko, M. Jurusan Teknik Sipil, and D. Jurusan Teknik Sipil, "Analisa Pengaruh Perubahan Tata Guna Lahan Terhadap Sistem Drainase Kawasan Jalan Dorak Kota Selat Panjang Menggunakan Program Bantu EPA SWMM 5.0," *Jom Fteknik*, vol. 3, no. 2, 2016.
- [7] N. Hadisusanto, *Aplikasi Hidrologi*. Malang, Indonesia: Jogja Medi Utama, 2011.
- [8] A. Junaidi and M. Kurniawan, "Pengaruh Perubahan Tata Guna Lahan Terhadap Limpasan Permukaan Kasus: DAS Batang Arau Padang," *Jurnal Teknik Sipil*, vol. 14, no. 2, pp. 131–138, 2018.
- [9] W. C. Huber, J. P. Heaney, and B. A. Cunningham, "Storm Water Management Model (SWMM) Bibliography," U.S. Environmental Protection Agency, Environmental Research Laboratory, Athens, GA, Project Summary EPA/600/S3-85/077, Jan. 1986.
- [10] M. I. Ananta, L. M. Limantara, J. S. Fidari, and H. Nurdin, "Analisa Curah Hujan Rancangan di Daerah Aliran Sungai Bendungan Manikin Kabupaten Kupang," *Jurnal Teknik Sipil*, vol. 13, no. 1, pp. 67-78, Apr. 2024.
- [11] R. N. Saridewi and M. A. Budiyo, "Pemodelan Sistem Drainase Perkotaan Menggunakan EPA SWMM 5.1 di Kabupaten Tapin Provinsi Kalimantan Selatan," *CivETech - J. Tek. Sipil*, vol. 6, no. 1, 2024, doi: 10.47200/civetech.v6i1.2246
- [12] R. Saputri, V. D. P. Sari, A. F. Hafila, and R. Devilito, "SEMAR-SUDS : Sistem Drainase Cerdas dan Berkelanjutan Berbasis Sustainable Urban Drainage Systems sebagai Mitigasi Bencana Banjir di Kawasan Polder Tawang Semarang," *Globe: Publikasi Ilmu Teknik, Teknologi Kebumihan, Ilmu Perkapalan*, vol. 4, no. 1, pp. 14–32, Feb. 2026, doi:

10.61132/globe.v4i1.1310

- [13] M. B. Al Amin, J. Sujono, and R. Triatmadja, "Urban Flood Mitigation by Implementing LIDs (Case Study: Bendung Watershed in Palembang City)," *Journal of Water Management Modeling*, 2024, doi: 10.14796/JWMM.C526.
- [14] S. Suripin, S. Darsono, D. Kurniani, W. F. Hutagalung, and D. V. Dintia, "Development of Sustainable Detention Ponds for Flood and Sediment Control in Urban Areas," *J. Phys. Conf. Ser.*, vol. 1625, no. 1, p. 012046, 2020. doi: 10.1088/1742-6596/1625/1/012046.
- [15] Y. Guo and Z. Zhuge, "Analytical probabilistic flood routing for urban stormwater management purposes," *Can. J. Civ. Eng.*, vol. 35, no. 5, pp. 487-499, 2008. doi: 10.1139/L07-131.