



SIMULASI PENERAPAN SISTEM DRAINASE JALAN BERKELANJUTAN MENGGUNAKAN STORM WATER MANAGEMENT MODEL DI KAWASAN UNIVERSITAS SUMATERA UTARA

Muhammad Fayiz Hamonangan Harahap^{1*}, Robi Arianta Sembiring²

^{1,2}Program Studi Teknik Sipil, Fakultas Teknik, Universitas Sumatera Utara

E-mail: mhdfayiz123@gmail.com*

ABSTRACT

An increase in impervious surfaces in urban areas can lead to greater surface runoff and place a heavier burden on drainage systems. This study aims to analyze surface runoff characteristics and the performance of the existing drainage system, design an Infiltration Trench (IT) system, and evaluate its impact using the Storm Water Management Model (SWMM) for the "Outlet 2" drainage subsystem at the University of North Sumatra (USU). The hydrological analysis includes frequency analysis, a Chi-squared test, rainfall intensity calculations using the Mononobe method, and the determination of hourly rainfall distribution via the Alternating Block Method (ABM). Simulations were conducted for both existing conditions and scenarios incorporating the IT system, based on 2-year and 5-year return periods. The simulation of existing conditions revealed 6 overloaded channels and 8 to 9 nodes experiencing flooding, with inundation volumes of 6.973×10^6 liters and 8.721×10^6 liters, respectively. The IT system was designed to be installed linearly beneath the sidewalks along five road corridors. Its application reduced the volume of puddles to 5.043×10^6 liters and 6.532×10^6 liters, with a reduction of 27.68% and 25.10%, respectively. However, the number of overloaded channels and flooded nodes did not change significantly, due to the limited capacity of the existing drainage channels. Consequently, while the IT system is effective at reducing inundation volume, it also holds potential for supporting the implementation of sustainable road drainage systems within the USU campus area.

Keywords: *Infiltration Trench, Low Impact Development, Sustainable Road Drainage System, SWMM, Flooding*

ABSTRAK

Peningkatan permukaan kedap air di kawasan perkotaan dapat meningkatkan limpasan permukaan dan beban sistem drainase. Penelitian ini bertujuan menganalisis karakteristik limpasan permukaan dan kinerja drainase eksisting, merancang *Infiltration Trench* (IT), serta mengevaluasi pengaruhnya menggunakan *Storm*

Article History

Received: Oktober 2026

Reviewed: Oktober 2026

Published: Oktober 2026

Plagiarism Checker No
237.u873247.fh8374

Copyright : Author

Publish by : Kohesi



This work is licensed under a [Creative Commons Attribution-NonCommercial 4.0 International License](https://creativecommons.org/licenses/by-nc/4.0/)



Water Management Model (SWMM) pada Sub Sistem Drainase Outlet 2 Universitas Sumatera Utara (USU). Analisis hidrologi meliputi analisis frekuensi, uji Chi-Kuadrat, intensitas hujan metode Mononobe, dan distribusi hujan jam-jaman menggunakan *Alternating Block Method (ABM)*. Simulasi dilakukan pada kondisi eksisting dan penerapan IT untuk kala ulang 2 dan 5 tahun. Hasil simulasi eksisting menunjukkan 6 saluran *overload* dan masing-masing 8 serta 9 *node flooding*, dengan volume genangan sebesar $6,973 \times 10^6$ liter dan $8,721 \times 10^6$ liter. IT direncanakan secara linear di bawah trotoar pada lima koridor jalan. Penerapannya menurunkan volume genangan menjadi $5,043 \times 10^6$ liter dan $6,532 \times 10^6$ liter, dengan reduksi masing-masing 27,68% dan 25,10%. Namun, jumlah saluran *overload* dan *node flooding* tidak mengalami perubahan signifikan akibat keterbatasan kapasitas saluran eksisting. Dengan demikian, IT efektif mengurangi volume genangan dan berpotensi mendukung penerapan sistem drainase jalan berkelanjutan di kawasan USU.

Kata Kunci: *Infiltration Trench, Low Impact Development, Sistem Drainase Jalan Berkelanjutan, SWMM, Genangan*

1. PENDAHULUAN

Perkembangan kawasan perkotaan meningkatkan luas permukaan kedap air, seperti jalan, bangunan, area parkir, dan trotoar, sehingga mengurangi infiltrasi air hujan dan meningkatkan limpasan permukaan (*surface runoff*) [1]. Kondisi tersebut memperbesar volume aliran yang masuk ke jaringan drainase dan berpotensi menurunkan kinerjanya, terutama pada kawasan terbangun [2]. Jaringan jalan menjadi salah satu sumber limpasan karena air hujan yang jatuh di permukaannya cenderung langsung dialirkan menuju saluran drainase [3]. Selain itu, saluran drainase jalan juga menerima limpasan dari trotoar, area parkir, dan bangunan di sekitarnya sehingga beban aliran semakin besar. Oleh karena itu, diperlukan pendekatan pengelolaan drainase yang tidak hanya mengalirkan air, tetapi juga mengendalikan limpasan sejak dari sumbernya.

Salah satu pendekatan yang dapat diterapkan adalah *Low Impact Development (LID)*, yaitu konsep pengelolaan limpasan melalui retensi, penyimpanan sementara, dan infiltrasi untuk mempertahankan respons hidrologi kawasan agar mendekati kondisi alami [4]. Salah satu fasilitas LID yang relevan untuk drainase jalan adalah *infiltration trench*, yaitu struktur resapan yang menampung limpasan sementara dan meresapkannya secara bertahap ke dalam tanah sehingga dapat mengurangi volume air yang langsung masuk ke saluran drainase [5]. Fasilitas ini dapat ditempatkan di sisi jalan maupun di bawah trotoar, sehingga berpotensi mendukung penerapan sistem drainase jalan berkelanjutan. Kawasan Universitas Sumatera Utara memiliki jaringan jalan, bangunan, area parkir, dan trotoar yang berpotensi menghasilkan limpasan permukaan cukup besar saat hujan. Oleh karena itu, evaluasi sistem drainase diperlukan untuk mengantisipasi peningkatan limpasan dan menilai efektivitas upaya pengendaliannya. Evaluasi tersebut dapat dilakukan menggunakan *Storm Water Management Model (SWMM)*, yaitu perangkat pemodelan untuk menganalisis proses hujan-limpasan, aliran dalam jaringan drainase,



serta penerapan fasilitas LID [5]. Berdasarkan hal tersebut, penelitian ini bertujuan menganalisis pengaruh penerapan *infiltration trench* terhadap kinerja sistem drainase jalan berkelanjutan di kawasan Universitas Sumatera Utara melalui simulasi SWMM.

2. METODE PENELITIAN

Penelitian ini dilaksanakan pada Semester Genap Tahun Akademik 2025/2026 di kawasan Universitas Sumatera Utara (USU), Kota Medan, Provinsi Sumatera Utara, dengan fokus pada *Drainase Outlet* (DO) 2 yang memiliki luas daerah tangkapan sekitar 21,7 ha (216.652 m²). Penelitian menggunakan metode kuantitatif melalui simulasi hidrologi dan hidraulika untuk mengevaluasi kinerja sistem drainase pada Sub Sistem DO2. Pemodelan dilakukan menggunakan *Storm Water Management Model* (SWMM) untuk menganalisis kondisi drainase eksisting serta menyimulasikan penerapan drainase jalan berkelanjutan berupa *Infiltration Trench* sebagai alternatif pengelolaan limpasan air hujan.

Tahapan penelitian ini terdiri atas empat tahap utama, yaitu tahap persiapan, tahap pengumpulan data, tahap pengolahan dan analisis data, serta tahap penarikan kesimpulan dan penyusunan saran. Tahap persiapan dilakukan untuk menentukan kebutuhan data, metode analisis, dan konsep penerapan drainase jalan berkelanjutan pada area penelitian. Kegiatan meliputi studi literatur mengenai sistem drainase jalan, limpasan permukaan, *Low Impact Development* (LID), *Infiltration Trench*, serta pemodelan menggunakan *Storm Water Management Model* (SWMM). Selain itu, disiapkan peralatan berupa GPS geodetik, meteran, dan kamera untuk pengukuran serta dokumentasi lapangan. Perangkat lunak *Microsoft Excel*, *Google Earth*, dan SWMM juga disiapkan untuk pengolahan data, pemetaan wilayah penelitian, dan simulasi sistem drainase.

Tahap pengumpulan data dilakukan dengan menghimpun data primer dan sekunder sebagai dasar analisis hidrologi, pemodelan drainase, dan perancangan *Infiltration Trench*. Data primer meliputi tata guna lahan yang diperoleh melalui observasi dan interpretasi citra, data topografi berupa koordinat dan elevasi jaringan drainase hasil pengukuran GPS geodetik, serta data drainase eksisting yang mencakup dimensi, bentuk penampang, panjang, dan kondisi fisik saluran. Dokumentasi lapangan juga dilakukan untuk mendukung identifikasi kondisi drainase. Sementara itu, data sekunder meliputi curah hujan dari Stasiun BBMKG Wilayah I Medan (Medan Selayang), Stasiun Tanjung Selamat (Medan), dan Stasiun Tuntungan (Deli Serdang) untuk analisis hujan rencana. Selain itu, dikumpulkan data teknis *Infiltration Trench* dari pedoman, standar, jurnal, dan literatur terkait sebagai dasar perancangan, serta data luas tata guna lahan hasil interpretasi citra dan pengolahan melalui *Google Earth* untuk menentukan luas penggunaan lahan dan delineasi *subcatchment* pada model SWMM.

Tahap pengolahan dan analisis data dilakukan untuk membangun model drainase eksisting serta mengevaluasi efektivitas penerapan *Infiltration Trench* menggunakan SWMM. Analisis diawali dengan pengolahan data curah hujan, analisis frekuensi menggunakan Distribusi Normal, Log Normal, Gumbel, dan Log Pearson Tipe III, serta uji kecocokan Chi-Kuadrat untuk menentukan distribusi hujan rencana. Selanjutnya, intensitas hujan dihitung menggunakan rumus Mononobe dan distribusi hujan jam-jaman disusun dengan metode *Alternating Block Method* (ABM). Data tata guna lahan, luas daerah tangkapan, persentase area kedap air, serta karakteristik jaringan drainase diolah untuk menentukan parameter *subcatchment* dan

membangun model drainase eksisting pada SWMM dengan komponen *junction*, *conduit*, *outfall*, dan infiltrasi Horton.

Model eksisting kemudian disimulasikan menggunakan hujan rencana kala ulang 2 dan 5 tahun untuk mengevaluasi kapasitas saluran dan potensi genangan. Berikutnya, *Infiltration Trench* dirancang berdasarkan kondisi geometrik jalan, ketersediaan lebar trotoar, panjang efektif koridor jalan, dan kedalaman saluran drainase eksisting. Sistem direncanakan secara linear di bawah trotoar dan dihubungkan dengan saluran drainase melalui *outlet drain*. Model tersebut diterapkan pada SWMM menggunakan fasilitas *Low Impact Development* (LID) tipe *Infiltration Trench* dan disimulasikan pada kala ulang hujan yang sama. Efektivitas penerapannya dievaluasi melalui perbandingan kondisi sebelum dan sesudah penerapan berdasarkan parameter kapasitas aliran saluran (*Max/Full Flow*) dan genangan (*Flooding*).

Tahap kesimpulan dan saran merupakan tahap akhir penelitian yang disusun berdasarkan hasil analisis dan pembahasan. Kesimpulan ditarik dengan membandingkan hasil simulasi drainase kondisi eksisting dan setelah penerapan *Infiltration Trench* untuk menjawab tujuan penelitian. Sementara itu, saran disusun sebagai rekomendasi pengembangan sistem drainase jalan berkelanjutan di kawasan penelitian serta sebagai bahan pertimbangan bagi penelitian selanjutnya.

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

3.1. Analisis Hidrologi Kawasan

Tabel 1. Curah Hujan Maksimum Rata-rata

No	Tahun	Stasiun (mm)			Rata-rata (Xi) (mm)
		BBMKG Wil 1	Tanjung Selamat	Tuntungan	
1	2016	159,0	107,0	107,0	124,3
2	2017	201,0	111,0	105,0	139,0
3	2018	160,0	123,0	106,0	129,7
4	2019	127,0	114,0	99,0	113,3
5	2020	131,0	178,0	79,0	129,3
6	2021	109,0	95,0	99,0	101,0
7	2022	128,0	107,0	97,9	111,0
8	2023	117,0	116,9	116,1	116,7
9	2024	136,0	133,9	123,4	131,1
10	2025	171,0	197,3	125,0	164,4
Jumlah		1439,00	1283,03	1057,40	1259,8

Berdasarkan Tabel 1, curah hujan maksimum rata-rata selama periode 2016-2025 diperoleh dari tiga stasiun hujan, yaitu BBMKG Wilayah I, Tanjung Selamat, dan Tuntungan. Curah hujan rata-rata tahunan tertinggi terjadi pada 2017 sebesar 139,0 mm, sedangkan terendah terjadi pada 2021 sebesar 101,0 mm. Berdasarkan total data, Stasiun BBMKG Wilayah I memiliki akumulasi curah hujan tertinggi sebesar 1.439,00 mm, diikuti Stasiun Tanjung Selamat sebesar 1.283,03 mm dan Stasiun Tuntungan sebesar 1.057,40 mm. Data curah hujan maksimum rata-rata tersebut selanjutnya digunakan sebagai dasar analisis frekuensi untuk menentukan hujan rencana dalam pemodelan sistem drainase menggunakan SWMM.



Tabel 2. Analisis Distribusi Probabilitas Curah Hujan

Periode Ulang (Tahun)	Normal (mm)	Log Normal (mm)	Log Pearson Tipe III (mm)	Gumbel (mm)
2	125,9810	124,9241	123,4266	123,5915
5	140,7936	139,9853	139,3201	144,6370
10	148,5526	148,5859	149,4880	158,5710
25	156,1000	157,4587	162,0724	176,1766
50	162,1308	164,9279	171,2898	189,2375
100	167,0684	171,3062	180,4213	202,2019

Berdasarkan Tabel 2, nilai curah hujan rencana cenderung meningkat seiring bertambahnya periode ulang. Distribusi Normal menghasilkan curah hujan sebesar 125,9810-167,0684 mm, Log Normal sebesar 124,9241-171,3062 mm, Log Pearson Tipe III sebesar 123,4266-180,4213 mm, dan Gumbel sebesar 123,5915-202,2019 mm. Distribusi Gumbel menghasilkan nilai curah hujan rencana tertinggi pada periode ulang 5 hingga 100 tahun, sedangkan pada periode ulang 2 tahun nilai tertinggi diperoleh dari distribusi Normal. Hasil tersebut menunjukkan adanya perbedaan estimasi curah hujan antardistribusi sehingga pemilihan distribusi yang sesuai perlu didasarkan pada pengujian kecocokan distribusi terhadap data hujan yang digunakan.

Tabel 3. Hasil Uji Chi-Kuadrat Distribusi Probabilitas

Distribusi Probabilitas	X ² _h	X ² _{cr}	Keterangan
Gumbel	4	5,99	Diterima
Normal	1	5,99	Diterima
Log Normal	3	5,99	Diterima
Log Pearson Tipe III	6	3,84	Tidak Diterima

Berdasarkan Tabel 3, distribusi Log Pearson Tipe III tidak memenuhi kriteria penerimaan karena nilai X²_h sebesar 6 lebih besar daripada X²_{cr} sebesar 3,84. Sementara itu, distribusi Gumbel, Normal, dan Log Normal memenuhi kriteria karena nilai X²_h lebih kecil daripada X²_{cr}. Distribusi Normal memiliki nilai X²_h paling rendah, yaitu 1, dibandingkan dengan distribusi lainnya. Hal ini menunjukkan bahwa distribusi Normal menghasilkan nilai statistik Chi-Kuadrat terkecil di antara distribusi yang diuji. Oleh karena itu, distribusi Normal dipilih sebagai distribusi probabilitas untuk menentukan curah hujan rencana dalam penelitian ini.

Tabel 4. Kala Ulang Berdasarkan Tipologi Kota

Tipologi Kota	Daerah Tangkapan Air (Ha)			
	< 10	10-100	101-500	> 500
Kota Metropolitan	2 Th	2 - 5 Th	5 - 10 Th	10 - 25 Th
Kota Besar	2 Th	2 - 5 Th	2 - 5 Th	5 - 20 Th
Kota Sedang	2 Th	2 - 5 Th	2 - 5 Th	5 - 10 Th
Kota Kecil	2 Th	2 Th	2 Th	2 - 5 Th

Sumber: Permen PU No. 12/PRT/M/2014

Kawasan penelitian berada di Universitas Sumatera Utara yang secara administratif termasuk Kota Medan dan dikategorikan sebagai kota metropolitan. Berdasarkan Tabel 4, luas daerah tangkapan air pada Sub Sistem DO2 sebesar 21,7 ha termasuk dalam rentang 10-100 ha.

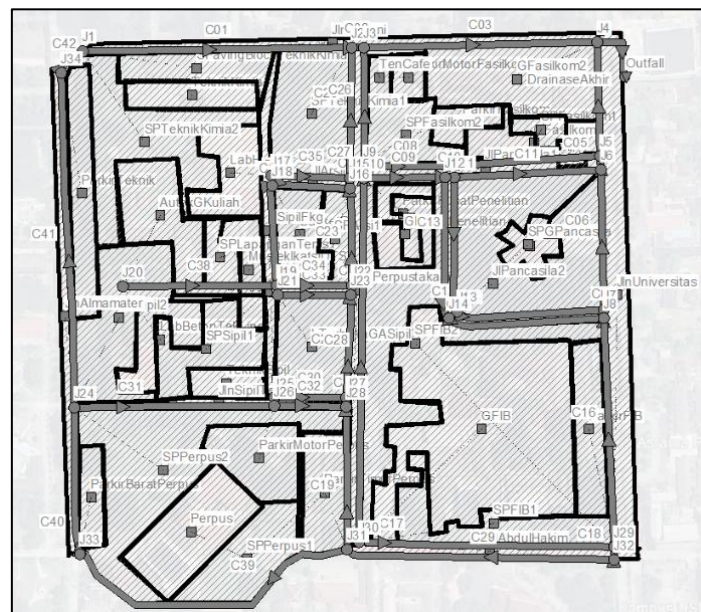
Dengan demikian, berdasarkan klasifikasi tipologi kota dan luas daerah tangkapan air tersebut, kala ulang hujan yang digunakan dalam perencanaan drainase adalah 2-5 tahun.

Tabel 5. Intensitas Akhir ABM Berdasarkan Kala Ulang 2 dan 5 Tahun

Waktu	Kala Ulang 2 Tahun		Kala Ulang 5 Tahun	
	I (mm/jam)	I × SF (mm/jam)	I (mm/jam)	I × SF (mm/jam)
00:00	0,000	0,000	0,000	0,000
00:30	12,641	28,940	14,127	32,343
01:00	18,020	41,256	20,139	46,107
01:30	69,330	158,726	77,482	177,389
02:00	10,063	23,039	11,247	25,748

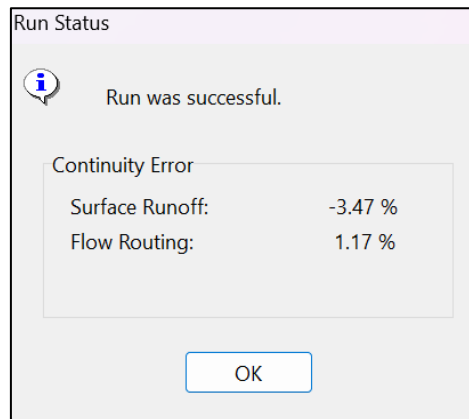
Berdasarkan Tabel 5, intensitas hujan tertinggi terjadi pada waktu 01:30, yaitu sebesar 69,330 mm/jam untuk kala ulang 2 tahun dan 77,482 mm/jam untuk kala ulang 5 tahun. Setelah dikalikan dengan faktor pengali (SF), intensitas puncak masing-masing menjadi 158,726 mm/jam dan 177,389 mm/jam. Secara keseluruhan, intensitas hujan pada kala ulang 5 tahun lebih tinggi dibandingkan kala ulang 2 tahun pada setiap interval waktu, sehingga perlu dipertimbangkan dalam perencanaan kapasitas sistem drainase.

3.2. Pemodelan Sistem Drainase Eksisting Menggunakan SWMM



Gambar 1. Model Sistem Drainase Eksisting Sub Sistem D02 Menggunakan SWMM

Pemodelan sistem drainase dilakukan menggunakan perangkat lunak EPA SWMM 5.2 berdasarkan kondisi aktual jaringan drainase kawasan penelitian. Model mencakup daerah tangkapan limpasan (*subcatchment*), titik pertemuan aliran (*junction*), saluran drainase (*conduit*), dan titik keluaran (*outfall*) yang dihubungkan sesuai arah aliran menuju *outlet*. Setelah seluruh parameter hidrologi dan hidraulik dimasukkan ke dalam model SWMM, dilakukan proses verifikasi model untuk memastikan simulasi dapat berjalan dengan baik dan tidak mengalami kesalahan perhitungan (*error*) pada sistem.



Gambar 2. Hasil *Run Status* Simulasi SWMM

Berdasarkan hasil simulasi EPA SWMM 5.2, pemodelan sistem drainase berhasil dijalankan tanpa kegagalan perhitungan (*run was successful*). Nilai *surface runoff error* sebesar $-3,47\%$ dan *flow routing error* sebesar $1,17\%$ menunjukkan bahwa kedua indikator kesalahan berada dalam rentang $<5\%$. Hasil tersebut mengindikasikan bahwa simulasi memiliki keseimbangan perhitungan yang memadai dan dapat digunakan untuk menganalisis kondisi eksisting serta mengevaluasi penerapan *infiltration trench* pada kawasan penelitian.

3.3. Analisis Simulasi Drainase Eksisting

Tabel 6. Ringkasan Kinerja Saluran Drainase Eksisting Kala Ulang 2 dan 5 Tahun

Parameter	Kala Ulang 2 Tahun	Kala Ulang 5 Tahun
Jumlah Saluran	43	43
Jumlah Saluran Aman	37	37
Jumlah Saluran <i>Overload</i>	6	6
Persentase Saluran <i>Overload</i>	13,95%	13,95%
Saluran Paling Kritis	C17	C17
Nilai <i>Max/Full Flow</i> Tertinggi	1,68	1,68

Berdasarkan Tabel 6, kinerja saluran drainase eksisting menunjukkan hasil yang sama pada kala ulang 2 dan 5 tahun. Dari total 43 saluran, sebanyak 37 saluran berada dalam kondisi aman, sedangkan 6 saluran mengalami *overload* dengan persentase 13,95%. Saluran C17 teridentifikasi sebagai saluran paling kritis, dengan nilai *Max/Full Flow* tertinggi sebesar 1,68. Nilai tersebut menunjukkan bahwa debit maksimum yang mengalir pada saluran mencapai 1,68 kali kapasitas aliran penuhnya. Kondisi ini mengindikasikan perlunya evaluasi kapasitas saluran, terutama pada titik-titik yang mengalami *overload*, untuk meningkatkan kinerja sistem drainase kawasan penelitian.

Tabel 7. Ringkasan Kondisi Genangan Eksisting Kala Ulang 2 dan 5 Tahun

Parameter	Kala Ulang 2 Tahun	Kala Ulang 5 Tahun
Jumlah <i>Node Flooding</i>	8 node	9 node
Total <i>Flood Volume</i>	$6,973 \times 10^6$ liter	$8,721 \times 10^6$ liter
<i>Node Flooding</i> Terbesar	J1	J1
Volume Genangan Terbesar	$2,125 \times 10^6$ liter	$2,550 \times 10^6$ liter

Berdasarkan Tabel 7, kondisi genangan eksisting menunjukkan peningkatan pada kala ulang 5 tahun dibandingkan kala ulang 2 tahun. Jumlah *node flooding* meningkat dari 8 menjadi 9 *node*, sedangkan total volume genangan bertambah dari $6,973 \times 10^6$ liter menjadi $8,721 \times 10^6$ liter. Volume genangan terbesar juga meningkat dari $2,125 \times 10^6$ liter menjadi $2,550 \times 10^6$ liter, dengan *node* J1 sebagai titik genangan terbesar pada kedua skenario. Hasil ini menunjukkan bahwa peningkatan kala ulang hujan memperbesar potensi genangan pada kawasan penelitian sehingga diperlukan upaya penanganan untuk mengurangi limpasan dan meningkatkan kinerja sistem drainase.

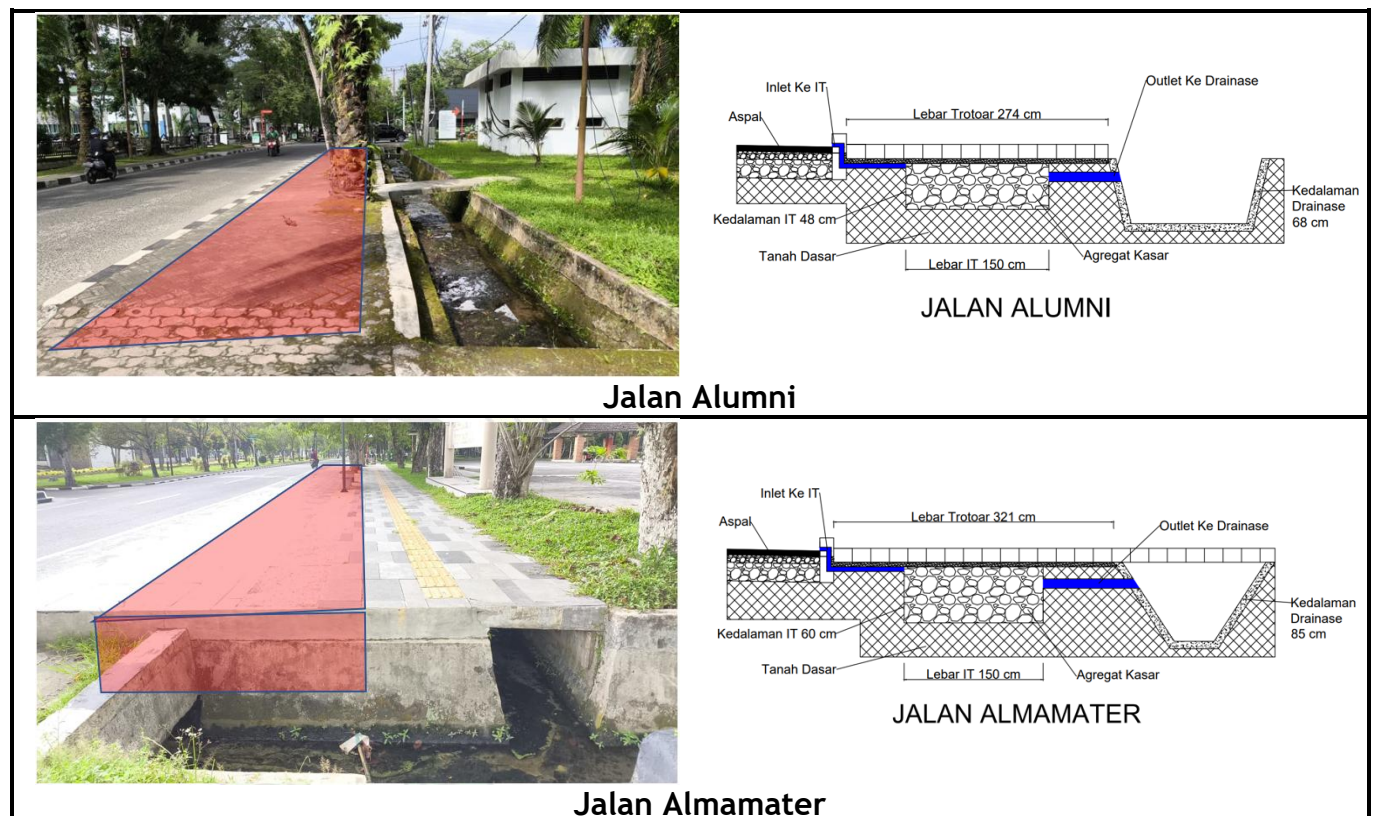
3.4. Perancangan *Infiltration Trench*

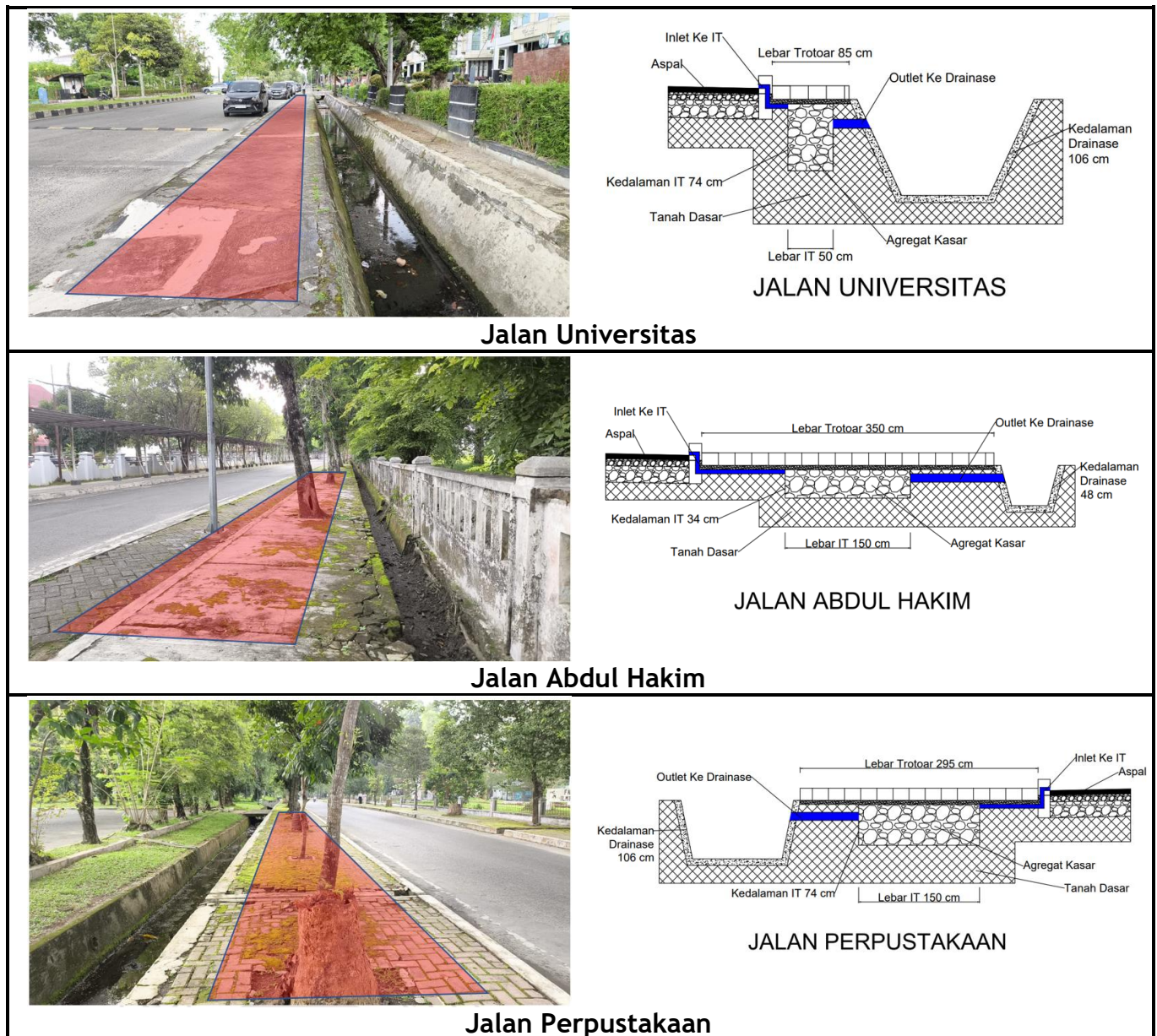
Penerapan *infiltration trench* direncanakan pada lima koridor jalan, yaitu Jalan Alumni, Jalan Universitas, Jalan Abdul Hakim, Jalan Perpustakaan, dan Jalan Almamater.

Tabel 8. Rencana Dimensi *Infiltration Trench*

Koridor Jalan	Lebar IT (m)	Panjang IT (m)	Kedalaman IT (m)
Jalan Alumni	1,50	383	0,48
Jalan Universitas	0,50	382	0,74
Jalan Abdul Hakim	1,50	189	0,34
Jalan Perpustakaan	1,50	368	0,51
Jalan Almamater	1,50	366	0,60

Untuk mempermudah penggambaran penerapan *infiltration trench* pada trotoar di masing-masing koridor jalan, berikut visualisasi penerapan *infiltration trench* pada kondisi eksisting kawasan beserta potongan melintangnya:





Gambar 3. Kondisi Eksisting (kiri) dan Potongan Melintang *Infiltration Trench* (kanan)

Rancangan *Infiltration Trench* (IT) selanjutnya diimplementasikan ke dalam model *Storm Water Management Model* (SWMM) melalui fitur *Low Impact Development* (LID) *Control* pada *subcatchment* yang mewakili koridor jalan lokasi penerapan IT. Dalam skenario ini, limpasan permukaan dari *subcatchment* di sekitar kawasan tidak seluruhnya langsung dialirkan menuju *junction*, tetapi terlebih dahulu diarahkan menuju *subcatchment* koridor jalan yang telah dilengkapi *Infiltration Trench*, sehingga air limpasan dapat mengalami proses penampungan sementara dan infiltrasi sebelum masuk ke sistem drainase utama.

3.5. Analisis Simulasi Penerapan *Infiltration Trench*

Tabel 9. Ringkasan Kinerja Saluran Drainase dengan Penerapan *Infiltration Trench* (IT) Kala Ulang 2 dan 5 Tahun

Parameter	Kala Ulang 2 Tahun	Kala Ulang 5 Tahun
Jumlah Saluran	43	43



Jumlah Saluran Aman	37	36
Jumlah Saluran <i>Overload</i>	6	7
Persentase Saluran <i>Overload</i>	13,95%	16,28%
Saluran <i>Overload</i> Tertinggi	C17	C17
Nilai Max/Full Flow Tertinggi	1,67	1,68

Berdasarkan Tabel 9, kinerja saluran drainase dengan penerapan *infiltration trench* menunjukkan bahwa pada kala ulang 2 tahun terdapat 37 saluran aman dan 6 saluran mengalami *overload* atau sebesar 13,95% dari total 43 saluran. Sementara itu, pada kala ulang 5 tahun, jumlah saluran aman menurun menjadi 36 saluran dan jumlah saluran *overload* meningkat menjadi 7 saluran atau 16,28%. Saluran C17 tetap menjadi saluran dengan kondisi *overload* tertinggi, dengan nilai *Max/Full Flow* sebesar 1,67 pada kala ulang 2 tahun dan 1,68 pada kala ulang 5 tahun. Hasil ini menunjukkan bahwa penerapan *infiltration trench* belum sepenuhnya mengatasi kelebihan kapasitas pada saluran drainase, terutama pada skenario hujan dengan kala ulang yang lebih besar.

Tabel 10. Ringkasan Kondisi Genangan Setelah Penerapan IT Kala Ulang 2 dan 5 Tahun

Parameter	Kala Ulang 2 Tahun	Kala Ulang 5 Tahun
Jumlah <i>Node Flooding</i>	8 <i>node</i>	9 <i>node</i>
Total <i>Flood Volume</i>	$5,043 \times 10^6$ liter	$6,532 \times 10^6$ liter
<i>Node Flooding</i> Terbesar	J1	J1
Volume Genangan Terbesar	$1,756 \times 10^6$ liter	$2,233 \times 10^6$ liter

Berdasarkan Tabel 10, pada kala ulang 2 tahun terdapat 8 *node flooding* dengan total volume genangan sebesar $5,043 \times 10^6$ liter, sedangkan pada kala ulang 5 tahun terdapat 9 *node flooding* dengan total volume sebesar $6,532 \times 10^6$ liter. Pada kedua kala ulang tersebut, J1 tetap menjadi titik genangan terbesar, dengan volume masing-masing sebesar $1,756 \times 10^6$ liter dan $2,233 \times 10^6$ liter. Hasil ini menunjukkan bahwa jumlah titik dan volume genangan meningkat seiring bertambahnya kala ulang hujan, sehingga penerapan IT belum sepenuhnya mengatasi genangan pada sistem drainase.

3.6. Analisis Efektivitas Penerapan *Infiltration Trench*

Tabel 11. Perbandingan Kategori Kondisi Saluran

Kondisi Saluran	Eksisting 2 Tahun	IT 2 Tahun	Eksisting 5 Tahun	IT 5 Tahun
Aman	37	37	37	36
<i>Overload</i>	6	6	6	7
Total Saluran	43	43	43	43

Berdasarkan Tabel 11, pada kala ulang 2 tahun, penerapan *infiltration trench* (IT) belum mengubah kinerja saluran, dengan 37 saluran dalam kondisi aman dan 6 saluran mengalami *overload*. Pada kala ulang 5 tahun, jumlah saluran aman menurun dari 37 menjadi 36, sedangkan saluran *overload* meningkat dari 6 menjadi 7. Hasil ini menunjukkan bahwa penerapan IT belum memberikan peningkatan kinerja saluran secara menyeluruh, terutama pada kala ulang 5 tahun.

Tabel 12. Perbandingan Kondisi Genangan Eksisting dan IT

Kala	Kondisi	Jumlah <i>Node</i>	Total Volume	Reduksi
------	---------	--------------------	--------------	---------



Ulang		Flooding	Genangan (10 ⁶ liter)	Volume (%)
2 Tahun	Eksisting	8	6,973	27,68%
	IT	8	5,043	
5 Tahun	Eksisting	9	8,721	25,10%
	IT	9	6,532	

Berdasarkan Tabel 12, penerapan *infiltration trench* (IT) mampu mengurangi total volume genangan tanpa mengubah jumlah *node flooding*. Pada kala ulang 2 tahun, volume genangan berkurang dari 6,973 juta liter menjadi 5,043 juta liter, dengan reduksi sebesar 27,68%. Sementara itu, pada kala ulang 5 tahun, volume genangan menurun dari 8,721 juta liter menjadi 6,532 juta liter, dengan reduksi sebesar 25,10%. Hasil ini menunjukkan bahwa IT cukup efektif dalam mengurangi volume genangan, meskipun belum mampu mengurangi jumlah titik genangan dan efektivitas reduksinya menurun pada kala ulang yang lebih besar.

Berdasarkan hasil simulasi EPA SWMM, penerapan *Infiltration Trench* (IT) memberikan pengaruh terhadap kondisi hidraulika sistem drainase di kawasan penelitian, terutama dalam mengurangi volume genangan. Pada aspek kinerja saluran, penerapan IT belum menunjukkan perbaikan yang berarti karena jumlah saluran *overload* tetap sebanyak 6 saluran pada kala ulang 2 tahun, sedangkan pada kala ulang 5 tahun meningkat dari 6 menjadi 7 saluran. Sementara itu, pada aspek genangan, total *flood volume* menurun dari $6,973 \times 10^6$ liter menjadi $5,043 \times 10^6$ liter pada kala ulang 2 tahun, dengan reduksi sebesar 27,68%. Pada kala ulang 5 tahun, volume genangan berkurang dari $8,721 \times 10^6$ liter menjadi $6,532 \times 10^6$ liter, dengan reduksi sebesar 25,10%. Secara keseluruhan, hasil simulasi menunjukkan bahwa penerapan IT lebih efektif dalam mengurangi volume genangan daripada memperbaiki kapasitas saluran yang mengalami *overload*.

3.7. Pembahasan

Berdasarkan hasil simulasi SWMM, kondisi drainase eksisting pada kawasan penelitian masih mengalami permasalahan kapasitas saluran dan genangan pada kala ulang hujan 2 dan 5 tahun. Beberapa saluran mengalami *overload* dengan nilai *Max/Full Flow* melebihi kapasitas penuh, sedangkan beberapa *node* mengalami *flooding* dengan volume genangan cukup besar. Kondisi ini menunjukkan bahwa sistem drainase belum mampu mengakomodasi limpasan permukaan secara optimal. Besarnya limpasan permukaan dipengaruhi oleh dominasi area terbangun, seperti jalan, trotoar, bangunan, dan area parkir, yang mengurangi infiltrasi alami. Akibatnya, sebagian besar air hujan menjadi limpasan permukaan dan masuk ke jaringan drainase dalam waktu singkat sehingga meningkatkan beban aliran. Penerapan *Infiltration Trench* memberikan pengaruh positif terhadap kondisi hidrologi dan hidraulika kawasan penelitian. Hasil simulasi menunjukkan penurunan total *flood volume* sebesar 27,68% pada kala ulang 2 tahun dan 25,10% pada kala ulang 5 tahun. Penurunan ini menunjukkan bahwa sebagian limpasan berhasil ditampung sementara dan diinfiltrasikan sebelum memasuki jaringan drainase.

Selain mengurangi volume genangan, *Infiltration Trench* memengaruhi aliran pada beberapa saluran drainase. Sebagian saluran mengalami penurunan nilai *Max/Full Flow* akibat berkurangnya debit limpasan yang masuk ke saluran melalui proses infiltrasi dan penyimpanan sementara. Hal ini menunjukkan bahwa *Infiltration Trench* dapat mengurangi beban aliran pada jaringan drainase. Namun, tidak semua saluran mengalami penurunan nilai *Max/Full Flow*. Beberapa saluran menunjukkan perubahan kecil, sedangkan saluran lainnya mengalami peningkatan. Kondisi ini dipengaruhi oleh perubahan distribusi dan waktu aliran akibat proses



infiltrasi serta penyimpanan limpasan pada beberapa *subcatchment*, sehingga pola aliran menuju saluran berbeda dari kondisi eksisting.

Meskipun *Infiltration Trench* mampu menurunkan volume genangan dan mengurangi beban aliran pada beberapa saluran, jumlah saluran *overload* dan *node flooding* tidak mengalami perubahan signifikan. Hal ini menunjukkan bahwa permasalahan drainase tidak hanya disebabkan oleh besarnya limpasan permukaan, tetapi juga keterbatasan kapasitas saluran eksisting yang masih menjadi titik kritis. Saluran C17 tetap memiliki nilai *Max/Full Flow* tertinggi, baik pada kondisi eksisting maupun setelah penerapan *Infiltration Trench*. Kondisi ini menunjukkan bahwa kapasitas saluran tersebut belum mampu menampung debit limpasan yang diterima sehingga permasalahan *overload* belum sepenuhnya teratasi.

Secara keseluruhan, penerapan *Infiltration Trench* memberikan pengaruh positif terhadap sistem drainase, terutama dalam mengurangi volume genangan. Namun, penanganan tambahan pada saluran-saluran kritis tetap diperlukan untuk mengatasi permasalahan kapasitas dan genangan secara menyeluruh.

KESIMPULAN

Berdasarkan hasil penelitian, diperoleh bahwa Distribusi Normal merupakan distribusi curah hujan yang paling sesuai berdasarkan uji Chi-Kuadrat, dengan kala ulang 2 dan 5 tahun sesuai Peraturan Menteri Pekerjaan Umum Nomor 12/PRT/M/2014 untuk kawasan metropolitan seluas 21,7 hektar. Kondisi drainase eksisting menunjukkan 6 saluran *overload* dan 8 *node flooding* dengan total *flood volume* $6,973 \times 10^6$ liter pada kala ulang 2 tahun, serta 6 saluran *overload* dan 9 *node flooding* dengan volume $8,721 \times 10^6$ liter pada kala ulang 5 tahun. Rancangan *Infiltration Trench* direncanakan secara linear di bawah trotoar dan terhubung dengan saluran eksisting melalui *outlet drain*, dengan dimensi Jalan Alumni $383 \times 1,50 \times 0,48$ m, Jalan Universitas $382 \times 0,50 \times 0,74$ m, Jalan Abdul Hakim $189 \times 1,50 \times 0,34$ m, Jalan Perpustakaan $368 \times 1,50 \times 0,51$ m, dan Jalan Almamater $366 \times 1,50 \times 0,60$ m, berdasarkan panjang efektif trotoar, ketersediaan ruang, dan kedalaman saluran eksisting. Penerapan *Infiltration Trench* mampu menurunkan total *flood volume* sebesar 27,68% pada kala ulang 2 tahun, dari $6,973 \times 10^6$ menjadi $5,043 \times 10^6$ liter, serta 25,10% pada kala ulang 5 tahun, dari $8,721 \times 10^6$ menjadi $6,532 \times 10^6$ liter, dan mengurangi nilai *Max/Full Flow* pada beberapa saluran. Namun, jumlah saluran *overload* dan *node flooding* tidak berubah secara signifikan akibat keterbatasan kapasitas saluran eksisting. Secara keseluruhan, *Infiltration Trench* berpotensi menjadi alternatif drainase jalan berkelanjutan untuk mengurangi limpasan permukaan dan genangan, tetapi perlu didukung penanganan tambahan pada saluran kritis agar kinerja sistem drainase meningkat secara menyeluruh.

Berdasarkan hasil penelitian, perlu dilakukan optimasi desain dan cakupan penerapan *Infiltration Trench* agar kemampuan infiltrasi dan pengurangan limpasan permukaan lebih optimal. Selain itu, evaluasi kapasitas perlu dilakukan pada saluran drainase yang masih mengalami *overload*. Penelitian selanjutnya disarankan menggunakan data curah hujan dan data lapangan yang lebih lengkap agar hasil simulasi SWMM dapat merepresentasikan kondisi drainase kawasan secara lebih akurat.

**DAFTAR PUSTAKA**

- [1] Chow, V. T., Maidment, D. R., & Mays, L. W. (1988). *Applied hydrology*. McGraw-Hill.
- [2] Asdak, C. (2014). *Hidrologi dan pengelolaan daerah aliran sungai*. Gadjah Mada University Press.
- [3] Suripin. (2004). *Sistem drainase perkotaan yang berkelanjutan*. Andi.
- [4] Fletcher, T. D., et al., (2015). SUDS, LID, BMPs, WSUD and more - The evolution and application of terminology surrounding urban drainage. *Urban Water Journal*, 12(7), 525-542.
- [5] Rossman, L. A., & Simon, M. A. (2022). *Storm Water Management Model (SWMM) User's Manual Version 5.2*. U.S. Environmental Protection Agency.
- [6] Kementerian Pekerjaan Umum Republik Indonesia. (2014). *Peraturan Menteri Pekerjaan Umum Nomor 12/PRT/M/2014 tentang penyelenggaraan sistem drainase perkotaan*. Jakarta: Kementerian Pekerjaan Umum Republik Indonesia.
- [7] Sawitri, N. R., Christanto, N., & Retnowati, A. (2025). Urban flood management strategies in Kapanewon Depok, Sleman Regency (A simulation-based study using EPA SWMM 5.2). *The Indonesian Journal of Planning and Development*, 10(1), 27-37.
- [8] Sururi, M. R., & Fadlurrohman, F. (2024). Perencanaan sistem drainase berkelanjutan di Daerah Aliran Sungai Cinambo dengan konsep Low Impact Development. *Jurnal Ilmu Lingkungan*, 22(6), 1626 -1636.
- [9] Waluyo, N. D. R., & Yusuf, R. (2024). Implikasi Low Impact Development (LID) untuk mereduksi limpasan pada ruas jalan Lingkar Selatan Kota Sukabumi. *Jurnal Sipil Kokoh*, 22(2), 75-86.
- [10] Yunianta, A., Suripin, & Setiadj, B. H. (2020). Application of sustainable road drainage system: Simulation by using SWMM program. *Civil Engineering and Architecture*, 8(2), 55-65.