



ANALISIS POTENSI PENERAPAN TEKNOLOGI LOW IMPACT DEVELOPMENT (LID) BERBASIS INFILTRASI MENGGUNAKAN SOFTWARE SWMM PADA SISTEM DRAINASE KAWASAN KOMPLEKS GRAHA TIRTA KOTA MALANG

Rukbandi Sanjaya¹, Muhammad Abdul Rahman²

¹Universitas Negeri Malang, rukbandi.sanjaya.2105236@students.um.ac.id

²Universitas Negeri Malang, muh.abdulrahman.ft@um.ac.id

Abstrak: Pertumbuhan wilayah perkotaan yang pesat, khususnya di Kota Malang, menyebabkan perubahan tata guna lahan yang berdampak pada peningkatan limpasan permukaan akibat berkurangnya daya resap tanah. Kompleks Graha Tirta sebagai kawasan padat aktivitas mengalami genangan saat hujan lebat, menandakan ketidakefisienan sistem drainase eksisting. Penelitian ini bertujuan untuk menganalisis potensi penerapan teknologi *Low Impact Development* (LID) berbasis infiltrasi dalam mengurangi limpasan permukaan di kawasan tersebut. Metode yang digunakan adalah studi kasus dengan pendekatan kuantitatif-deskriptif. Data primer diperoleh melalui survei lapangan, sedangkan data sekunder berupa curah hujan harian 15 tahun (2009–2023) dari tiga stasiun hujan di Kota Malang. Analisis hidrologi dilakukan menggunakan distribusi Log-Pearson III dan metode Mononobe. Pemodelan dilakukan dengan perangkat lunak *Storm Water Management Model* (SWMM) 5.2, menggunakan parameter infiltrasi dari model *Green-Ampt*. Hasil simulasi menunjukkan bahwa pada kala ulang 2 dan 5 tahun, penerapan teknologi LID (*bio-retention cells*, *rain garden*, dan *permeable pavement*) mampu menurunkan kedalaman limpasan masing-masing sebesar 7,03% dan 5,43%, serta menurunkan debit puncak limpasan sebesar 12,06% dan 11,05%. Meskipun tingkat penurunan kedalaman dan debit limpasan yang dihasilkan tidak terlalu signifikan, penerapan teknologi LID tetap memberikan dampak positif dalam mengurangi beban limpasan permukaan. Temuan ini mengindikasikan bahwa LID berbasis infiltrasi memiliki potensi sebagai solusi pendukung dalam pengelolaan sistem drainase kawasan permukiman padat, terutama bila disesuaikan dengan keterbatasan ruang dan karakteristik fisik wilayah.

Kata Kunci: Limpasan permukaan, *Low Impact Development* (LID), infiltrasi, SWMM, drainase

1. PENDAHULUAN

Kota Malang merupakan kota terbesar kedua di Provinsi Jawa Timur dan menempati peringkat ke-12 daftar kota terbesar di Indonesia. Selain dikenal sebagai kota pendidikan karena banyaknya institusi pendidikan dari jenjang sekolah hingga perguruan tinggi baik milik pemerintah maupun swasta (Lestari, 2022), Kota Malang juga mengalami pertumbuhan penduduk yang cukup signifikan, yaitu sekitar 12–14% per tahun, dengan jumlah penduduk mencapai 847.182 jiwa pada tahun 2023 (Badan Pusat Statistik, 2023). Peningkatan jumlah penduduk ini secara nyata mempengaruhi perubahan dalam aspek kuantitas dan kualitas kehidupan masyarakat di Kota Malang (Marzuqi dkk., 2016). Pertumbuhan penduduk ini berdampak langsung pada perubahan tata guna lahan, yang kemudian berimplikasi terhadap berkurangnya daya resap lahan serta meningkatnya volume dan puncak debit limpasan air hujan (Bustiawan dkk., 2023). Akibatnya, kawasan perkotaan termasuk perumahan dan area komersial, semakin rentan terhadap permasalahan genangan hingga banjir yang dapat

menimbulkan kerugian material maupun non-material (Sari dkk., 2023). Dengan demikian, perencanaan pembangunan di wilayah perkotaan sebaiknya mempertimbangkan keberadaan infrastruktur pendukung seperti sistem drainase yang memadai.

Sistem drainase merupakan rancangan saluran yang bertujuan untuk memberikan kenyamanan bagi pengguna dengan mengurangi risiko genangan yang dapat merusak infrastruktur (Herfiansyah dkk., 2020). Dalam konteks pembangunan perkotaan yang berkelanjutan, pengembangan sistem drainase yang sesuai dengan kebutuhan menjadi sangat penting. Efektivitas sistem drainase bergantung pada kemampuannya untuk menampung dan mengalirkan air secara optimal, sehingga dapat mencegah terjadinya genangan air atau banjir ketika curah hujan tinggi (Fajri dkk., 2022). Ketidaksesuaian dalam desain sistem drainase dapat mengakibatkan dampak negatif pada berbagai aspek kehidupan dalam lingkungan perkotaan (Murtadho, 2022).

Salah satu kawasan yang mengalami permasalahan serupa adalah Kompleks Graha Tirta di Kecamatan Lowokwaru, Kota Malang. Kawasan ini berada di sekitar perguruan tinggi ternama seperti Institut Teknologi Nasional Malang (ITN), Universitas Negeri Malang (UM), dan Universitas Brawijaya (UB). Lokasi yang strategis ini menyebabkan tingginya intensitas aktivitas, tidak hanya di bidang pendidikan tetapi juga dalam sektor ekonomi seperti perdagangan dan jasa. Seiring dengan tingginya aktivitas tersebut, terjadi perubahan pada permukaan tanah, di mana area yang sebelumnya memiliki kemampuan meresapkan air berubah menjadi kedap air akibat pembangunan hunian dan area komersial. Berdasarkan hasil observasi, saat terjadi hujan dengan intensitas tinggi dan durasi panjang, air hujan tidak mampu meresap ke dalam tanah dan langsung mengalir ke saluran drainase. Bila sistem drainase yang ada tidak mampu menampung debit air yang besar, maka akan terjadi limpasan permukaan yang menggenangi kawasan permukiman maupun akses jalan, yang pada akhirnya mengganggu kenyamanan, keamanan, dan bahkan dapat merusak infrastruktur kawasan (Widyastuti, 2021).

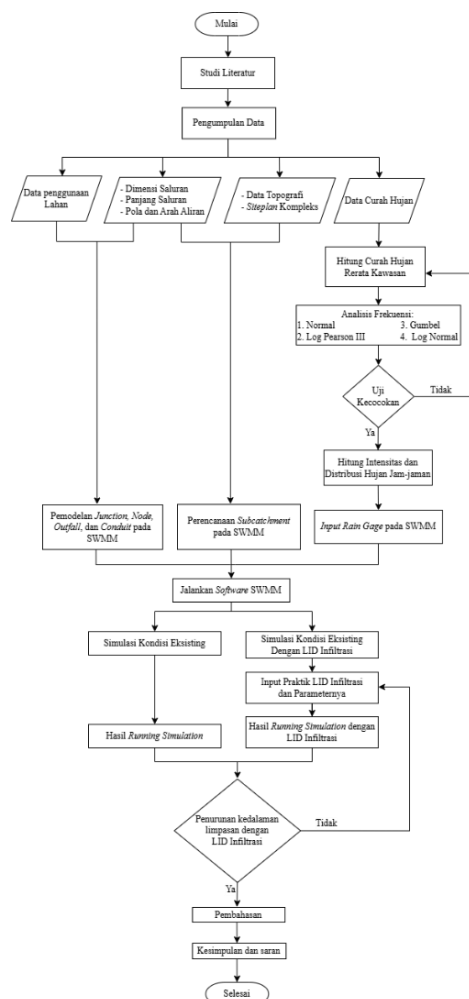
Sebagai upaya untuk mengatasi permasalahan limpasan air hujan pendekatan berbasis konsep *Low Impact Development* (LID) ditawarkan sebagai solusi dalam menangani permasalahan pengendalian aliran permukaan (Budinetro dkk., 2012). LID merupakan pendekatan pembangunan infrastruktur yang bertujuan memperlambat aliran permukaan, memperbesar resapan air ke dalam tanah, dan pada akhirnya mengurangi potensi genangan (Nancy Stoner, Lek Kadeli, 2014). Sebagai solusi atas permasalahan berkurangnya daerah resapan dan peningkatan limpasan air yang ditemukan di kawasan Kompleks Graha Tirta Kota Malang, pendekatan teknologi *Low Impact Development* (LID) berbasis infiltrasi dipilih sebagai alternatif solusi pengelolaan air hujan yang potensial untuk mengatasi permasalahan limpasan dan alih fungsi lahan di kawasan tersebut. Dengan dukungan perangkat lunak *Storm Water Management Model* (SWMM) yang dikembangkan oleh *United States Environmental Protection Agency* (EPA), yang berfungsi untuk mensimulasikan dan memodelkan sistem drainase, termasuk perhitungan limpasan air hujan, aliran saluran, serta integrasi kinerja teknologi LID dalam mengurangi debit puncak dan meningkatkan infiltrasi. Penelitian ini menitikberatkan pada penerapan beberapa teknik LID berbasis infiltrasi yang dipilih berdasarkan efektivitasnya dalam meningkatkan daya resap air di

kawasan, seperti model *bio-retention cells*, *rain garden*, dan *permeable pavement*.

Penelitian ini memiliki beberapa tujuan utama, yaitu menghitung besaran limpasan permukaan di Kompleks Graha Tirta Kota Malang menggunakan SWMM 5.2, menganalisis kinerja sistem drainase eksisting, serta menganalisis dan mengevaluasi potensi penerapan teknologi LID berbasis infiltrasi untuk mengurangi kedalaman limpasan. Manfaat yang diharapkan dari penelitian ini adalah tidak hanya memberikan kontribusi praktis berupa rekomendasi solusi pengendalian limpasan air hujan kepada pihak-pihak terkait, tetapi juga kontribusi teoritis dalam pengembangan ilmu terkait perencanaan dan pengelolaan drainase perkotaan yang berkelanjutan.

2. METODE

Penelitian ini menggunakan metode kuantitatif deskriptif yang bertujuan untuk menganalisis potensi penerapan teknologi *Low Impact Development (LID)* berbasis infiltrasi menggunakan perangkat lunak *Storm Water Management Model (SWMM)* pada sistem drainase kawasan Kompleks Graha Tirta, Kota Malang. Proses penelitian akan dilakukan melalui beberapa tahap seperti ditunjukkan dalam bagan alir penelitian pada Gambar 1.



Gambar 1. Diagram Alir Penelitian

3. HASIL

3.1. Pengolahan Hujan Rancangan

Data hujan yang digunakan adalah data hujan harian dari stasiun Blimbing, Kedungkandang, dan Sukun dengan rentang data dari tahun 2009 sampai 2023. Dari data hujan ketiga stasiun dihitung rerata hujan menggunakan metode *thiessen polygon*. Dari perhitungan rerata hujan metode *thiessen polygon* didapat hasil seperti pada Tabel 1.

Tabel 1. Curah Hujan Maksimum Metode Polygon Thiessen

No	Tahun	Curah Hujan Maksimum (mm)
1	2010	152,9
2	2021	103,8
3	2019	103,5
4	2023	102,7
5	2015	94,9
6	2017	90,2
7	2022	88,0
8	2012	86,5
9	2016	84,8
10	2013	84,3
11	2009	73,1
12	2014	68,6
13	2011	58,2
14	2018	47,2
15	2020	47,1

Selanjutnya dihitung parameter statistik untuk memilih distribusi yang cocok. Jenis distribusi dipilih berdasarkan syarat-syarat seperti tercantum dalam Tabel 2.

Tabel 2. Pemilihan Jenis Distribusi

No	Jenis Distribusi	Syarat	Hasil Perhitungan	Keterangan
1	Normal	$C_s = 0$ $C_k = 3$	$C_s = 0,798$ $C_k = 5,481$	Tidak Memenuhi
2	Log-Normal	$C_s > 0$ $C_k > 3$	$C_s = 0,798$ $C_k = 5,481$	Tidak Memenuhi
3	Gumbel	$C_s = 1,14$ $C_k = 5,4$	$C_s = 0,798$ $C_k = 5,481$	Tidak Memenuhi
4	Log-Pearson III	Nilai C_s dan C_k selain nilai di atas	$C_s = 0,798$ $C_k = 5,481$	Memenuhi

Dilihat dari Tabel 2 nilai C_s dan C_k yang sudah didapat ternyata tidak memenuhi syarat dari distribusi normal, log-normal, dan gumbel, maka jenis distribusi yang digunakan adalah distribusi Log-Pearson III.

Kota Malang merupakan Kota Besar berdasarkan jumlah penduduk yaitu antara 100.000 sampai 1 juta jiwa dengan luas tangkapan air 10 – 100 dengan tipologi kota besar, maka digunakan perencanaan periode kala ulang 2-5 tahun. Hasil analisa Hidrologi untuk distribusi hujan rencana (terpilih Metode Log Person-III) untuk keperluan perencanaan berikutnya dalam menentukan hujan rencana kala ulang 2 dan 5 tahun berturut-turut sebesar 83,18 dan 107,03 mm.

Uji Distribusi Probabilitas dilakukan untuk melihat seberapa cocok distribusi frekuensi data sampel dengan estimasi metode distribusi probabilitas dari suatu distribusi frekuensi. Untuk pengujian kesesuaian distribusi, dilakukan Uji Chi-Kuadrat dan Uji Kolmogorov-Smirnov sebagai metode uji probabilitas. Rekapitulasi hasil perhitungan dapat diamati pada Tabel 3.

Tabel 3. Rekapitulasi Hasil Uji Chi-Square dan Uji Smirnov-Kolmogorov

UJI CHI-SQUARE			UJI SMIRNOV-KOLMOGOROV		
Distribusi Log-Pearson III					
Xh^2	X^2_{Cr}	Keterangan	Δ_{maks}	Δ_{tabel}	Keterangan
3,33	$\alpha = 5\%$	$Xh^2 < X^2_{Cr}$ Diterima	0,102	$n = 15$	$\Delta_{maks} < \Delta_{tabel}$ Diterima
	$Dk = 2$			$\alpha = 5\%$	
	5,991			0,34	

Dengan mempertimbangkan hasil dari uji Chi-Kuadrat dan uji Smirnov-Kolmogorov, maka metode distribusi frekuensi yang digunakan dalam penentuan curah hujan rencana ialah distribusi Log-Pearson III.

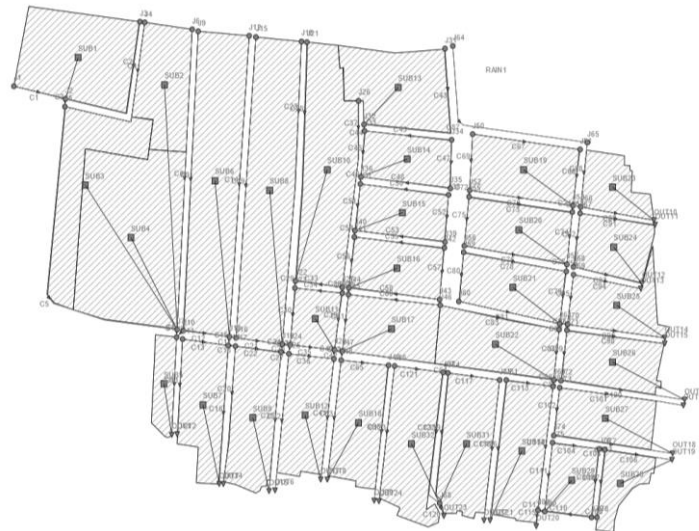
Diketahui curah hujan rencana untuk kala ulang 2 dan 5 tahun berturut-turut sebesar 83,18 dan 107,03 mm. Curah hujan rencana tersebut kemudian dihitung intensitas hujan dan didistribusikan menjadi hujan jam-jaman dengan persamaan mononobe. Dalam analisis ini, ditetapkan durasi hujan selama 6 jam yang disesuaikan dengan karakteristik hujan di lokasi penelitian. Hasil ini yang nantinya akan menjadi input *rain gage* di SWMM.

Tabel 4. Perhitungan Intensitas dan Distribusi Hujan Jam-jaman

Jam ke-n	Intensitas Hujan (I)				Distribusi Hujan Jam-jaman	
	2 Tahun		5 Tahun		2 Tahun	5 Tahun
	mm	%	mm	%	mm/jam	
1	28,84	31,72%	37,11	31,72%	26,38	33,95
2	18,17	19,98%	23,38	19,98%	16,62	21,39
3	13,86	15,25%	17,84	15,25%	12,68	16,32
4	11,44	12,59%	14,73	12,59%	10,47	13,47
5	9,86	10,85%	12,69	10,85%	9,02	11,61
6	8,73	9,61%	11,24	9,61%	7,99	10,28
Jumlah	90,90	100%	116,98	100%	83,18	107,03

3.2. Pemodelan SWMM 5.2

Dengan skema drainase seperti pada Gambar 3, maka selanjutnya memodelkan jaringan drainase sesuai komponen-komponen yang ada di lapangan seperti daerah tangkapan (*subcatchment*), nodal dan keluaran (*junction dan outfall*), saluran (*conduit*), dan curah hujan (*rain gage*) dengan menggunakan program SWMM 5.2.



Gambar 2. Sistem Drainase Lokasi Studi

a. *Subcatchment*

Pembagian *subcatchment* pada lokasi penelitian dibagi menjadi 32 buah, pembagian tersebut dipengaruhi oleh perbedaan elevasi, letak dan arah saluran drainase, arah aliran air, serta keberadaan bangunan di area studi. Parameter yang diperlukan untuk *subcatchment* yaitu:

1) Luas Area

Menentukan nilai luas area didapat dengan pengukuran menggunakan *Software Google Earth*.

2) *Width*

Didapatkan dari hasil tinjauan menggunakan *Software Google Earth* total luas area untuk *subcatchment* 1 adalah 10.286,5 m².

$$\text{Width} = \frac{\text{Luas Area}}{\text{Panjang Saluran}} = \frac{10.286,5}{116,09} = 88,61 \text{ m}$$

3) % *Slope*

Perhitungan % *Slope* didapatkan dari selisih antara elevasi tertinggi dan elevasi terendah pada *subcatchment* 1.

$$\begin{aligned} \% \text{Slope} &= \frac{\text{Elevasi Akhir (m)} - \text{Elevasi Awal (m)}}{\text{Panjang Saluran}} \times 100\% \\ \% \text{Slope} &= \frac{492,3 - 491,4}{116,09} \times 100\% \\ \% \text{Slope} &= 0,78 \end{aligned}$$

4) % *Impervious*

Perhitungan % *Impervious* dilakukan pada setiap jenis pembagian tata guna lahan dari *subcatchment* 1. Kriteria nilai % *impervious* berdasarkan nilai *percent*

Live and Applied Science, Volume 5

impervious area untuk setiap *land use*, didapatkan total %*Imperv* area rumah 5.758 m².

$$\begin{aligned}\%Impervious \text{ rumah} &= \frac{\text{Total luas bangunan} \times \text{Koefisien \%impervious}}{\text{Luas subcatchment}} \times 100\% \\ \%Impervious \text{ rumah} &= \frac{5.758 \times 0,75}{10330} \times 100\% \\ \%Impervious \text{ rumah} &= 42,18 \%\end{aligned}$$

5) *N-Impervious* dan *N-Previous*

Tahapan menentukan nilai *N-Impervious* dan *N-Previous* hampir serupa, yaitu perhitungan dilakukan untuk setiap kategori tata guna lahan yang termasuk ke dalam *N-Impervious* dan *N-Previous* pada *subcatchment* 1. Menggunakan nilai kekasaran *manning's* permukaan maka didapatkan total luas *N-Impervious* 170,02 m².

$$\begin{aligned}N - impervious &= \frac{\text{Jumlah Luas } N - impervious}{\text{Luas Wilayah Terpilih}} \\ N - impervious &= \frac{170,02}{8350} \\ N - impervious &= 0,020\end{aligned}$$

6) %*Zero-Impervious*

Koefisien yang termasuk dalam kategori %*Zero-Impervious* mempunyai nilai koefisien lebih dari 0,90, dalam pembagian tata guna lahan di *subcatchment* 1 elemen yang termasuk jalan yang terbuat dari beton atau aspal.

$$\begin{aligned}\%Zero - Impervious &= \frac{\text{Jumlah Luas \%Zero - Impervious}}{\text{Luas Subcatchment}} \times 100\% \\ \%Zero - Impervious &= \frac{933,3}{10330} \times 100\% \\ \%Zero - Impervious &= 9,07\%\end{aligned}$$

7) *D Store-Impervious* dan *D Store-Previous*

Nilai *D Store-Impervious* dan *D Store-Previous* dapat ditentukan dengan merujuk pada nilai *Depression Storage*. Nilai *D Store-Impervious* untuk tipe permukaan yang permeabel pada penelitian ini ditetapkan sebesar 0,05 inci, sedangkan *D Store-Previous* ditetapkan sebesar 0,10 inci.

8) *Infiltration*

Pemodelan *Infiltration* yang digunakan pada penelitian ini menggunakan metode *Green-Ampt*. Metode *Green-Ampt* melibatkan beberapa parameter yang berpengaruh dalam analisis, di antaranya jenis tanah, *suction head*, konduktivitas hidraulik, kelengasan awal, dan kelengasan tanah pada kondisi jenuh (Wahyu Putri & Ayu, 2019). Dari analisis, diperoleh informasi bahwa untuk jenis tanah lokasi penelitian yang berada di Kota Malang terdiri dari tanah jenis *clay loam*. Maka, digunakan nilai Ψ (*suction head*) 210,1 mm, K (konduktivitas hidraulik) 1,02 mm/jam, dan *Wilting Point* 0,24 dari hasil analisis (Chow dkk., 1988) untuk Metode *Green-Ampt*.

b. Nodal (*Junction* dan *Outfall*)

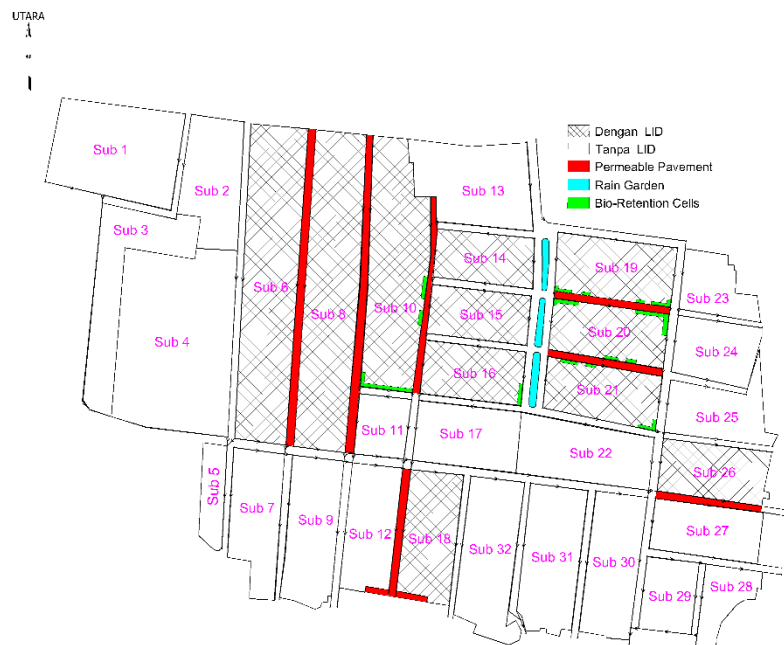
Junction adalah titik penggabungan antara saluran yang mengumpulkan dua atau lebih saluran lainnya. Sementara, *outfall* ialah titik terminal pada suatu sistem drainase pada pemodelan. Parameter kunci untuk *junction* yaitu kedalaman maksimum dan data elevasi (*invert elevation*), sedangkan untuk *Outfall*, hanya diperlukan nilai parameter elevasi. Untuk pemodelan kawasan Kompleks Graha Tirta mempunyai *junction* sebanyak 88 buah dan *Outfall* 24 buah.

c. saluran (*conduit*)

Conduit adalah saluran yang menghubungkan satu *junction* dengan *junction* lainnya. Data yang dibutuhkan untuk input *Conduit* yaitu bentuk saluran (*shape*), dimensi saluran (*depth* dan *width*), panjang saluran (*long*), arah aliran, bentuk saluran, dan koefisien kekasaran (*n*) Untuk pemodelan kawasan Kompleks Graha Tirta mempunyai *Conduit* sebanyak 123 buah.

3.3. Perencanaan LID Infiltrasi

Teknologi LID infiltrasi yang dipilih berupa *bio-retention cell*, *rain garden*, dan *permeable pavement* yang akan diterapkan di kawasan penelitian ini. Penerapan LID infiltrasi di area studi, tidak semua daerah tangkapan (*subcatchment*) diterapkan praktik LID. Penerapan praktik LID *permeable pavement* diterapkan pada kawasan yang memiliki volume lalu lintas rendah, *rain garden* diterapkan pada daerah tangkapan yang masih memiliki daerah lapang hijau, sedangkan *Bio-Retention Cells* diterapkan pada daerah halaman rumah atau pinggir jalan. Gambar 3 menunjukkan titik-titik penerapan LID pada daerah tangkapan (*subcatchment*) lokasi studi.



Gambar 3. Titik-Titik Penerapan LID pada *Subcatchment*

Adapun Tabel 5 merupakan data jumlah luasan penerapan LID *bio-retention cell*, *rain garden*, dan *permeable pavement* yang diterapkan di *subcatchment* terpilih.

Tabel 5. Luas LID untuk *Subcatchment* Terpilih

No	Subcatchment	Luas LID (m ²)		
		Bio-Retention Cells	Rain Garden	Permeable Pavement
1	Subcatchment 6			1282
2	Subcatchment 8			1566
3	Subcatchment 10	73,8		683
4	Subcatchment 14		255	
5	Subcatchment 15		263	
6	Subcatchment 16	32,5	314	
7	Subcatchment 18			829
8	Subcatchment 19	49,9		410
9	Subcatchment 20	86,4		422
10	Subcatchment 21	40,7		
11	Subcatchment 25			349

Untuk melakukan simulasi LID dengan *software* SWMM, dibutuhkan parameter-parameter permeabilitas. Nilai parameter LID yang digunakan dalam penelitian ini didapatkan dari berbagai sumber seperti tinjauan literatur, data lokasi studi, dan nilai *default* dari *software* SWMM 5.2. Tabel 6 merupakan nilai parameter LID untuk *bio-retention cell*, *rain garden*, dan *permeable pavement*.

Tabel 6. Parameter Permeabilitas LID

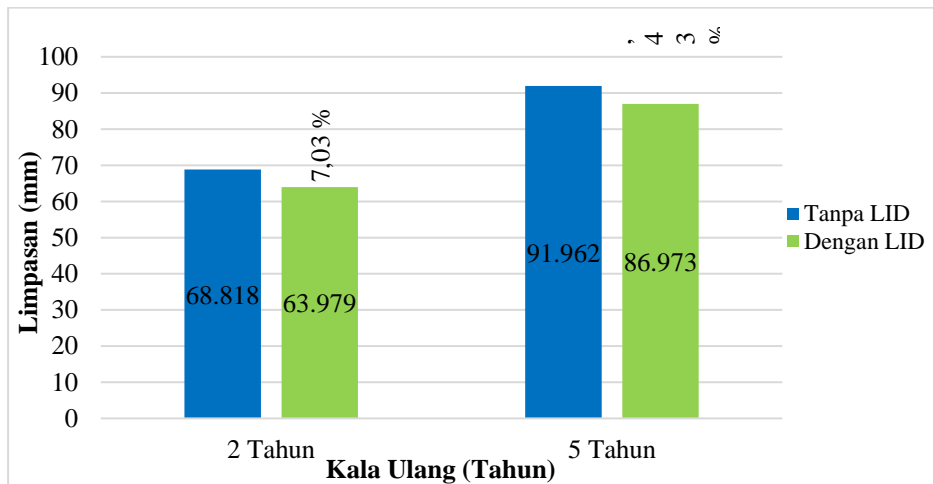
Layer	Parameter	Unit	Bio-Retention Cells	Rain Garden	Permeable Pavement
Surface	Berm Height	mm	250	250	25
	Vegetation Volume	-	0,05	0,1	0
	Surface's roughness	-	0,15	0,15	0,012
	Surface Slope	%	1,8	1,8	1,8
Pavement	Thickness	mm	-	-	100
	Void ratio	-	-	-	0,2
	Permeability	mm/h	-	-	200
Soil	Thickness	mm	600	600	200
	Porosity	-	0,464	0,464	0,464
	Field capacity	-	0,31	0,31	0,31
	Wilting point	-	0,187	0,187	0,187
	Conductivity	mm/h	1,02	1,02	1,02
Storage	Thickness	mm	400	-	250
	Void ratio	-	0,55	-	0,45
	Seepage rate	mm/h	1,02	1,02	1,02

Layer	Parameter	Unit	Bio-Retention Cells	Rain Garden	Permeable Pavement
Drain	Flow coefficient	-	0	-	0,69
	Flow exponent	-	0,5	-	0,5
	offset height	mm	150	-	6

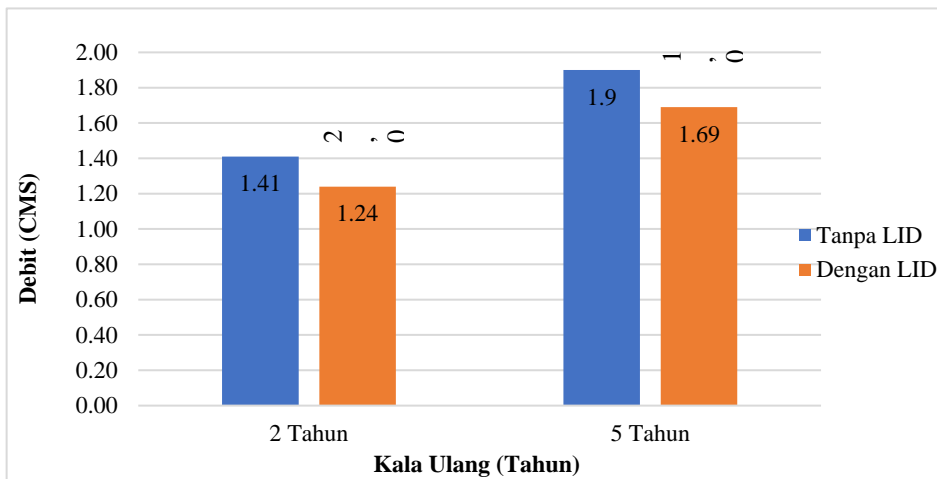
4. PEMBAHASAN

Berdasarkan hasil simulasi pemodelan SWMM 5.2 pada kondisi eksisting menghasilkan kedalaman limpasan permukaan sebesar 68,818 mm pada kala ulang 2 tahun dan 91,962 mm pada kala ulang 5 tahun. Peningkatan limpasan ini dipengaruhi oleh tingginya nilai koefisien lahan kedap air (*impervious area*) yang berkisar antara 41,07% hingga 74,28% pada tiap *subcatchment*. Kondisi ini sesuai dengan Nancy Stoner, Lek Kadeli (2012) yang menyatakan bahwa peningkatan area kedap air di kawasan perkotaan menyebabkan peningkatan volume limpasan dan penurunan kapasitas infiltrasi alami. Tingginya nilai limpasan mengindikasikan perlunya pendekatan kombinasif dalam pengelolaan air hujan, tidak hanya bergantung pada sistem drainase konvensional tetapi juga sistem berbasis infiltrasi yang terencana. Sementara itu, sistem drainase paralel di Kompleks Graha Tirta menunjukkan debit puncak 1,40 m³/s (2 tahun) dan 1,88 m³/s (5 tahun), berpotensi *overload* saat hujan intensitas tinggi. Kemiringan lahan (0,04–3,06%) memengaruhi genangan (*ponding*) dan kecepatan aliran, didukung pernyataan Budinetto dkk., (2012) bahwa urbanisasi memperpendek waktu konsentrasi. Hasil ini sejalan dengan penelitian Savitri (2017) di ITS Surabaya, di mana drainase konvensional kurang efektif menangani curah hujan ekstrem.

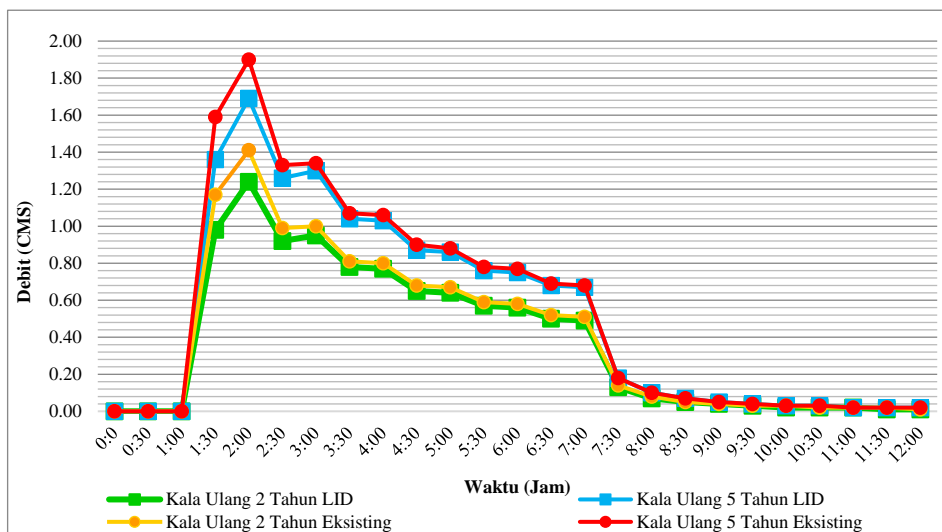
Setelah penerapan teknologi LID berbasis infiltrasi, yakni *bio-retention cells*, *permeable pavement*, dan *rain gardens* di lokasi studi, terjadi penurunan kedalaman limpasan sebesar 7,03% (dari 68,818 mm menjadi 63,979 mm) pada kala ulang 2 tahun dan 5,42% (dari 91,962 mm menjadi 86,973 mm) pada kala ulang 5 tahun. Selain itu, teknologi LID berhasil mereduksi debit puncak limpasan permukaan sebesar 12,06% dan 11,05% untuk masing-masing kala ulang 2 dan 5 tahun. Penurunan ini terjadi karena teknologi LID meningkatkan laju infiltrasi dan memperlambat aliran permukaan, sehingga mengurangi beban pada sistem drainase konvensional. Temuan ini konsisten dengan penelitian Bai dkk. (2018) yang menyatakan bahwa LID berbasis infiltrasi lebih efektif dibandingkan metode penyimpanan dalam mengurangi kedalaman dan debit puncak limpasan. Meskipun persentase penurunan tidak setinggi hasil studi Bustiawan dkk. (2023) yang mencapai 77%, implementasi LID di Kompleks Graha Tirta tetap menunjukkan kontribusi signifikan terhadap pengelolaan air hujan berkelanjutan dan peningkatan kualitas lingkungan perkotaan.



Gambar 4. Perbandingan Penurunan Limpasan Permukaan Tanpa vs Dengan LID Infiltrasi



Gambar 5. Perbandingan Penurunan Debit Limpasan Tanpa vs Dengan LID Infiltrasi



Gambar 4.6 Hidrograf Perbandingan Penurunan Debit Puncak Limpasan Tanpa vs Dengan LID Infiltrasi

5. SIMPULAN

Hasil simulasi SWMM 5.2 menunjukkan bahwa limpasan permukaan di kawasan Kompleks Graha Tirta mencapai 68,818 mm untuk kala ulang 2 tahun dan 91,962 mm untuk kala ulang 5 tahun. Nilai tersebut dipengaruhi oleh tingginya persentase lahan kedap air yang berkisar antara 41,07% hingga 74,28%, yang menghambat infiltrasi alami dan meningkatkan aliran permukaan.

Sistem drainase eksisting dengan pola paralel mampu mengalirkan air dengan puncak debit 1,40 m³/s pada kala ulang 2 tahun dan meningkat menjadi 1,88 m³/s pada kala ulang 5 tahun, namun memiliki kerentanan terhadap kelebihan kapasitas saat terjadi hujan dengan intensitas tinggi dan durasi lama, sehingga membutuhkan dukungan strategi pengelolaan tambahan.

Penerapan teknologi *Low Impact Development* (LID) berbasis infiltrasi pada lokasi studi (*bio-retention cells*, *rain garden*, dan *permeable pavement*) mampu menurunkan kedalaman limpasan sebesar 12,06% dan 11,05% pada hujan untuk kala ulang 2 dan 5 tahun. Adapun dari sisi puncak limpasan terjadi penurunan untuk masing-masing kala ulang 2 dan 5 tahun, yaitu 12,06% dan 11,05%. Hasil ini membuktikan bahwa penerapan LID berbasis infiltrasi pada lokasi studi memiliki potensi sebagai solusi pendukung dalam pengelolaan sistem drainase kawasan permukiman padat, terutama bila disesuaikan dengan keterbatasan ruang dan karakteristik fisik wilayah

6. DAFTAR RUJUKAN

- Badan Pusat Statistik. (2023). *Badan Pusat Statistik Indonesia 2023*. Badan Pusat Statistik Indonesia.
- Bai, Y., Zhao, N., Zhang, R., & Zeng, X. (2018). *Storm Water Management of Low Impact Development in Urban Areas Based on SWMM*.
- Budinetro, H. S., Fatchan, A. K., & Sahid, M. N. (2012). Pengendalian Aliran Permukaan Akibat Perubahan Tata Guna Lahan dengan Konsep Low Impact Development. *Seminar Nasional Teknik Sipil UMS 2012, Lid*, 100–111.
- Bustiawan, N., Purwanto, A., & Lingkungan, T. (2023). Penerapan Low Impact Development (LID) dalam Mendukung Kebijakan Zero Delta Q di Kabupaten Karawang. *Jurnal Ilmiah Karawang*, 01(01), 11–25.
- Chow, V. Te, Maidment, D. R., & Mays, L. W. (1988). *Applied Hydrology*. In *Applied Hydrology*.
- Fajri, N., Andawayanti, U., & Lufira, R. D. (2022). Kajian Evaluasi Genangan Menggunakan Metode SWMM (Storm Water Management Model) di Daerah Jalan Soekarno Hatta (RS UB Hingga Patung Pesawat), Kota Malang. *Jurnal Teknologi dan Rekayasa Sumber Daya Air*, 2(2), 272.
- Herfiansyah, A., Fatimah, E., & Azmeri, A. (2020). Tinjauan Aspek Fisik Dan Non Fisik Sistem Drainase Zona 5 Kota Banda Aceh. *Jurnal Arsip Rekayasa Sipil dan Perencanaan*, 3(1), 1–9.
- Lestari, M. N. B. (2022). *Simulasi Distribusi Spasial Penggunaan Lahan Kota Malang Berdasarkan Land Change Modeler*. ITN Malang.
- Marzuqi, A., Andawayanti, U., & Dermawan, V. (2016). Pengaruh Perubahan Daerah Kedap Air, Curah Hujan Dan Jumlah Penduduk Terhadap Debit Puncak Banjir Di Sub Das Brantas Hulu Di Kota Batu. *Jurnal Teknik Pengairan*, 7(1), 1–6.
- Murtadho, M. (2022). *Pemodelan Kolam Retensi Sebagai Alternatif Tampungan*

Live and Applied Science, Volume 5

- Air Limpasan Pada Sistem Drainase Graha Tirta Kota Malang*. Universitas Negeri Malang.
- Nancy Stoner, Lek Kadeli, E. P. (2012). EPA Guidelines for Water Reuse U.S. Environmental Protection Agency. *Guidelines for water reuse*, September, 643.
- Sari, R. R., Asmaranto, R., & Fidari, J. S. (2023). Evaluasi Saluran Drainase Untuk Menanggulangi Genangandi Kelurahan Lowokwaru, Kecamatan Lowokwaru, Kota Malang. *Jurnal Teknologi dan Rekayasa Sumber Daya Air*, 3(2), 514–526.
- Savitri, Y. R. (2017). *Penerapan Low Impact Development (LID) Untuk Meminimalisir Genangan*. 1(1).
- Wahyu Putri, R. S., & Ayu, D. S. (2019). Analisis Volume Limpasan dengan Metode Green-Ampt. *Jurnal Nasional Teknologi Terapan (JNTT)*, 2(2), 165.
- Widyastuti, M. E. (2021). *Potensi Penerapan Low Impact Development (LID) Berbasis Infiltrasi di Kelurahan Caturtunggal, Depok, Sleman*. Universitas Atma Jaya Yogyakarta.