

KAJIAN LOW-IMPACT DEVELOPMENT DAN DEBIT BANJIR SUNGAI SRINGIN KOTA SEMARANG

Djoko Suwarno^{1*}, Kevin Isa Purnama², Iman Sakajaya Pratikna², Budi Santosa¹

^{1,2} Dosen dan Alumni Program Studi Teknik Sipil, Universitas Soegijapranata Semarang

Jln. Pawiyatan Luhur Sel. IV No.1, Bendan Duwur Kec. Gajahmungkur, Semarang, Jateng

*Email: dj.suwarno@unika.ac.id

Abstrak

Permasalahan banjir sering terjadi di Pantai Utara Pulau Jawa salah satunya Kota Semarang. Dampaknya berupa kerugian material, perekonomian, dan terkendalanya perjalanan transportasi. Sungai Sringin Kota Semarang sebagai lokasi penelitian karena mengalami banjir saat musim hujan. Tujuan penelitian untuk menganalisa kondisi eksisting Sungai Sringin dan pengaruh penerapan Low-Impact Development (LID) pada Daerah Aliran Sungai Sringin. Pemodelan Environmental Protection Agency Storm Water Management Model (EPA SWMM) digunakan untuk kondisi eksisting dan penerapan LID, supaya diketahui debit puncak runoff masing-masing subcatchment pada DAS Sringin. Pemanfaatan LID pada DAS Sringin mempengaruhi nilai runoff pada subcatchment DAS Sringin antara -0.50% sampai -7.58%, nilai persen flooding pada junction antara -0.09% sampai -8.39%, penurunan elevasi muka air saluran antara 1 x 10⁻³ meter sampai 6 x 10⁻³ meter, jumlah titik banjir tetap sebanyak 12 titik. Cukup efektif karena perbandingan luas area tipe LID berpengaruh terhadap perubahan nilai runoff, sehingga semua tipe LID dapat dipakai..

Kata kunci: EPA SWMM, Low-Impact Development, Sungai Sringin

PENDAHULUAN

Tahun 2021 menjadi tahun dengan curah hujan periode 50 tahunan mencapai 178 mm, sehingga banjir menjadi salah satu masalah di Pulau Jawa (BMKG, 2021). Era globalisasi saat ini, banjir sering melanda di Kota Jakarta dan juga Kota Semarang. Banjir diperparah dengan lemahnya kesadaran masyarakat dalam mengelola sampah, karena membuang sampah tidak pada tempatnya yang berakibat sebagian besar sampah di masuk ke sungai. Banjir yang semakin parah di Kota Semarang. Kawasan Sungai Sringin Kota Semarang masih mengalami banjir akibat air rob di musim hujan. Fauzi (2006), menyebutkan kolam penampungan yang tersedia tidak mampu menampung limpasan air hujan.

Pengelolaan limpasan air hujan menggunakan Low-Impact Development (LID) diawali pada tahun 1990 di negara Amerika Serikat, Kanada, dan Britania, ditujukan untuk menghasilkan pembangunan berdampak minimum dengan metode rancangan pengelolaan limpasan. Metode LID didasarkan pada pengetahuan konservasi fungsi hidrologis, dan menerapkan fungsi lahan yang beralihfungsi tetap memiliki fungsi ramah lingkungan. Sutrisno (2011), menunjukkan penerapan LID sejak tahun 1996 di Amerika Serikat tepatnya di Price George's County, Maryland-17 km di timur Kota Washington, D.C dengan hasil yang bagus, maka dilanjutkan di Pennsylvania dan Minnesota.

Pemanfaatan LID selain ramah lingkungan, juga menghemat biaya konstruksi. Pemanfaatan aplikasi EPA SWMM dengan pendekatan Low-Impact Development (LID) diharapkan menurunkan debit banjir akibat limpasan air hujan pada DAS Sungai Sringin Semarang.

Tujuan Penelitian

Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui debit puncak dari hidrograf aliran periode ulang 10 tahunan pada masing-masing sub-catchment dengan bantuan software EPA SWMM. Melakukan pengujian pada enam tipe LID di masing-masing sub-catchment DAS.

Landasan Teori

Hujan Rancangan

Hujan rancangan adalah curah hujan paling besar pada suatu daerah dengan peluang tertentu. Data yang diperlukan adalah data hujan harian maksimum (R24), diolah menggunakan analisis perhitungan distribusi Normal, Log Normal, Gumbel, dan Log Pearson III (Soewarno, 1995).

Periode Ulang (T)

Periode ulang adalah kemungkinan terjadinya peristiwa 1 kali dalam periode ulang T tahun. Nilai probabilitas suatu peristiwa memanfaatkan persamaan Weibull.

$$P(x) = m_i / ((n+1))$$

$$T = 1 / (P(x))$$

Jenis Distribusi

Distribusi Normal

Distribusi Normal dapat disebut sebagai kurva Normal atau distribusi Gauss.

$$X_T = \bar{x} + K_T \times S_d$$

dengan:

X_T = curah hujan rancangan periode ulang T- tahunan (mm)

K_T = nilai variabel reduksi Gauss

S_d = standar deviasi

\bar{x} = nilai curah hujan rata-rata (mm)

Distribusi Log Normal

Distribusi Log Normal adalah analisis yang dikembangkan dari distribusi normal dengan cara mengganti nilai variasi x (curah hujan maksimum) menjadi nilai logaritma (Soewarno, 1995).

$$\text{Log} X_T = \text{Log} x_i + (K_T \times \text{Log} S_d)$$

$$X_T = [10]^{(\text{Log} X_i + K_T \times \text{Log} S_d)}$$

dengan:

X_T = curah hujan rancangan pada periode ulang T- tahunan (mm)

x_i = data curah hujan ke I (mm)

K_T = nilai variabel reduksi Gauss

S_d = standar deviasi

X_T = curah hujan rancangan pada periode ulang T- tahunan (mm)

Distribusi Gumbel

Proses analisis distribusi curah hujan metode Gumbel dipengaruhi oleh beberapa variable dalam proses analisis, yaitu variabel reduce variate (Y_t), variabel reduce mean (Y_n), dan variabel reduce standard deviation (S_n).

$$X_T = \bar{x} + S_d / S_n (Y_T - Y_n)$$

$$Y_T = -\ln(-\ln \times (T-1)/T)$$

dengan:

X_T = curah hujan rancangan periode ulang T- tahunan (mm)

\bar{x} = nilai rata-rata hujan rancangan (mm)

S_d = Standar deviasi

S_n = reduced standard deviation

Y_n = reduced mean

Y_T = reduced variate

T = Periode ulang T (tahunan)

Distribusi Log Pearson III

Distribusi Log Pearson III diperoleh berdasarkan fungsi kerapatan peluang, dan setiap data curah hujan harus dilogaritmakan (Soewarno, 1995).

$$\text{Log} X_{rt} = \sum_{(i=1)}^n (\text{Log} X_i) / n$$

Logaritma curah hujan dengan periode ulang T-tahunan

$$\text{Log} X_T = \text{Log} X_{rt} + (G \times \text{Log} S_d)$$

dengan:

XT = curah hujan rancangan periode ulang T - tahunan (mm)

X_{rt} = rata-rata hitungan (mm)

S_d = standar deviasi

G = Nilai dari variabel standar (standardized variable) yang tergantung dari nilai koefisien skewness (C_s)

Low-Impact Development (LID)

Low-Impact Development adalah cara mengelola air hujan dalam skala mikro terutama pada kawasan tangkapan air hujan yang besar. Dalam pengembangan konsep LID, diutamakan mempertahankan kondisi lingkungan alami tanpa adanya gangguan terhadap lingkungan sekitar. LID dapat dilaksanakan dengan merancang struktur bangunan yang digunakan menyimpan atau menampung air hujan (storage), menahan limpasan air hujan (detain), menginfiltasikan, dan menguapkan (*evaporate*). Prinsip LID mapu mengurangi limpasan di ujung saluran (off-site stream), serta membantu mengisi kembali air tanah (*groundwater recharge*). Menurut Sutrisno (2011), pembangunan mempengaruhi kondisi hidrologis area tersebut, maka perlu pengendalian LID terpusat pada kondisi hidrologi area pembangunan (*on-site hydrology*).

EPA SWMM

EPA SWMM juga mensimulasikan sebuah limpasan hujan, limpasan penguapan, infiltrasi, hingga koneksi air tanah yang digunakan untuk keperluan akar tanah, kawasan jalan, kawasan berumput, kawasan kebun hujan, dan kawasan parit. Seluruh komponen dari hidrologi EPA SWMM beroperasi pada sub kumpulan, yang terbagi atas area yang kedap air dan area tidak kedap air untuk memprediksi muatan suatu limpasan dan polutan dari curah hujan, proses penguapan, dan kerugian yang terjadi akibat infiltrasi dari masing-masing area. Rossman (2004), menjelaskan pengembangan EPA SWMM dengan menerapkan suatu kawasan ramah lingkungan, dengan pemodelan mereduksi limpasan pada kawasan kedap air dan kawasan tidak kedap air.

Visual Objek Hidrologi pada EPA SWMM

EPA SWMM adalah sebuah pemodelan untuk mensimulasikan kuantitas maupun kualitas run off akibat dari limpasan air hujan. Untuk mendukung proses simulasi dalam EPA SWMM, maka pemodelan yang terdapat pada visual objek hidrologi meliputi Subcatchment, Outfall Node, Junction Node, Conduit, Storage Unit, Pump, Flow Divider, dan Rain Gauge merupakan langkah awal untuk dilakukannya simulasi (Rossman, 2004).

- Rain Gauge
Dalam aplikasi SWMM, objek rain gauge digunakan untuk menampilkan data menuju sistem SWMM. Data yang ada pada rain gauge terdiri dari data time series, dan data intensitas curah hujan.
- Subcatchment
Dalam aplikasi SWMM Subcatchment digunakan sebagai unit hidrologi pada tanah di mana topologi dan elemen suatu sistem drainase menunjukkan permukaan run off di suatu titik pelepasan.
- Outfall Node
Outfall Node merupakan suatu titik terminal pada sistem drainase yang digunakan untuk menetapkan titik akhir pada hilir.
- Junction Node
Junction Node pada software EPA SWMM diartikan sebagai keseluruhan bagian dari node pada sistem drainase yang berfungsi sebagai penghubung antara saluran satu dengan saluran lainnya.
- Conduit
Conduit merupakan sebuah saluran yang berfungsi untuk mengalirkan air, pada peranti lunak EPA SWMM yang digunakan, conduit berhubungan dengan angka kekasaran dari saluran yang tersedia. Apabila dilakukan sebuah perhitungan sederhana, variabel yang berhubungan untuk dalam sebuah perhitungan yaitu debit aliran (Q), luas suatu kawasan (A), jari-jari dari suatu hidrolis (R), dan kemiringan dasar saluran pada suatu kawasan (S).

- Pump
Pump bertugas untuk menaikkan ketinggian air yang tersedia, kenaikan yang terjadi pada pompa bisa diatur melalui pengaturan kontrol yang bekerja secara dinamik, dan sudah ditetapkan oleh penggunaannya.

EPA SWMM Pendekatan LID

Pemakaian LID pada swmm memiliki beberapa tipe LID yang dapat digunakan. Tipe LID yang dapat digunakan dalam swmm berupa green roof, permeable pavement, bio-retention cell, infiltration trench, rain barrel, dan rain garden. Untuk setiap tipe LID memiliki parameter yang berbeda beda, sedangkan nilai dari parameter berdasarkan angka yang akan digunakan dalam menerapkan LID (Coffman, 2000).

- Green Roof
Penggunaan LID tipe green roof pada suatu bangunan yaitu dengan menerapkan vegetasi yang sengaja di tanam pada seluruh permukaan atap rumah. Dengan adanya green roof, maka system drainase yang terbentuk pada atap rumah dapat menekan pengelolaan stormwater (Coffman, 2000).
- Permeable Pavement
Penggunaan permeable pavement atau perkerasan jalan pada LID, memberikan alternatif untuk mengembalikan daerah resapan yang hilang akibat urbanisasi yang secara tidak sadar telah mengubah area hijau menjadi kawasan industri, perumahan, perkantoran, dan pusat perbelanjaan. Permeable pavement merupakan suatu metode perkerasan jalan, yang memungkinkan air untuk terserap ke dalam tanah.(Maryland, 1999).
- Bioretensi
Sistem bioretensi yang dikelola sedemikian rupa, dapat menjadi bagian dari ruang terbuka hijau yang dirancang berdasarkan jenis tanah, kondisi pada lokasi, dan tat ruang rencana pengembangan. Konsep dari bioretensi memakai kombinasi penerapan filtrasi yang memadukan antara proses fisik dan penyerapan secara biologis (Maryland, 1999).
- Parit Infiltrasi
Parit infiltrasi merupakan suatu bentuk galian parit yang diisi kembali dengan batuan sehingga membentuk cekungan yang berada di bawah permukaan tanah, sehingga mampu menampung limpasan air hujan. Limpasan tersebut akan tersimpan dalam parit hingga terinfiltrasi sepenuhnya ke dalam tanah (Maryland, 1999)
- Rain Barrel
Rain barrel atau tong hujan merupakan suatu bentuk tampungan limpasan air hujan yang sengaja didirikan di atas atap bangunan. Air yang tertampung akan digunakan untuk kebutuhan sehari-hari bagi warga setempat seperti menyiram tanaman atau kebutuhan lainnya (Maryland, 1999).

METODE PENELITIAN

Lokasi Sungai Sringin

Sungai Sringin Kota Semarang dari hulu hingga hilir melalui delapan kelurahan yaitu Kelurahan Tlogomulyo, Bangetayu Wetan, Tlogosari Wetan, Bangetayu Kulon, Genuksari, Banjardowo, Trimulyo, dan Terboyo Wetan.



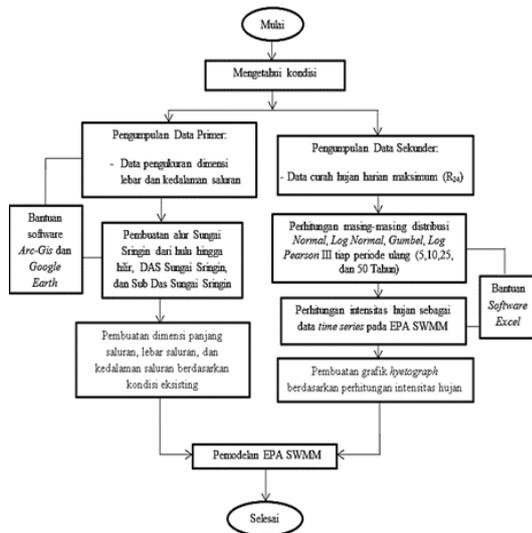
Gambar 1 Lokasi Sungai Sringin



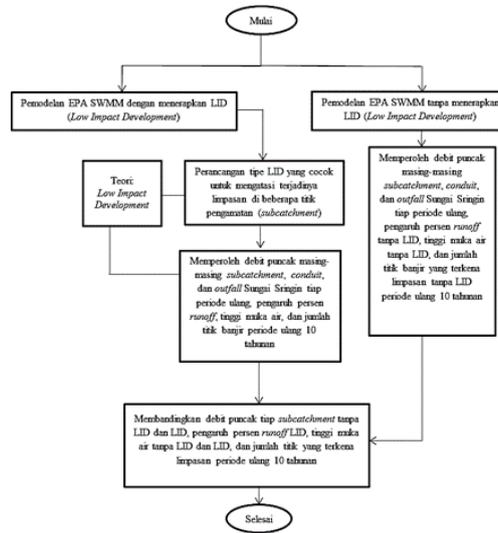
Gambar 2 Batas DAS Sungai Sringin

Diagram Gagasan Penelitian

Permasalahan banjir menimbulkan dampak yang merugikan banyak orang dalam aspek lingkungan maupun aspek lainnya. Gagasan penelitian ini untuk mereduksi debit limpasan dengan melakukan analisis yang berdampak positif untuk lingkungan, melalui simulasi penerapan LID dalam mengatasi masalah banjir di Sungai Sringin.



Gambar 3 Tahapan Umum Pelaksanaan



Gambar 4 Tahapan Analisis EPA SWMM

HASIL DAN PEMBAHASAN

Analisis Data Hujan

Analisis data curah hujan harian dari Stasiun hujan Karangroto pada tahun 2009-2019. Stasiun Hujan Karangroto Semarang berada dalam koordinat 110°29'12,529"E dan 6°57'0,663"S.

Tabel 1 Data Curah Hujan (R24) Tahun 2009-2019

Tahun	R ₂₄ (mm)
2009	58
2010	90
2011	70
2012	79
2013	131
2014	127
2015	86

2016	79
2017	119
2018	105
2019	54
Max	131
Rerata	90.7
Min	54

(Sumber: dataset/data-hujan-stasiun-94-karangroto-genuk-kabupaten-semarang)

Analisis Parameter Statistik Hujan

Setelah mendapatkan data curah hujan harian maksimum (R_{24}) dari stasiun hujan Karangroto, kemudian menganalisa perhitungan dispersi yaitu menghitung parameter statistik curah hujan.

Tabel 2 Parameter Statistik Curah Hujan

Rata-rata	90,69
Standar deviasi(Sd)	26.68
Koefisien skewnes (Cs)	0.26
Koefisien kurtosis (Ck)	0.02
Koefisien variasi (Cv)	0.29
Nilai Tengah	86

Hasil nilai rata rata (\bar{x}), standar deviasi (Sd), koefisien skewness (Cs), koefisien kurtosis (Ck), koefisien variasi (Cv). Menentukan distribusi yang digunakan, yaitu distribusi Normal, distribusi Log Normal, distribusi Gumbel, dan distribusi Log Pearson III. Menentukan jenis distribusi yang digunakan, dengan melakukan pencocokan statistik dasar, kemudian dibandingkan dengan syarat-syarat setiap jenis distribusi

Tabel 3 Parameter Statistik Dasar Masing-Masing Jenis Distribusi

No	Distribusi	Data	Persyaratan	Keterangan
1	Normal	Cs = 0.26 Ck = 0.02	Cs = 0 Ck = 3	tidak
2	Log Normal	Cs = 0.26 Ck = 0.02	Cs = Cv ³ + 3Cv Ck = Cv ⁸ + 6Cv ⁶ + 15Cv ⁴ + 16 Cv ² + 3	tidak
3	Gumbel	Cs = 0.26 Ck = 0.02	Cs = 1.14 Ck = 5.4	tidak
4	Log Pearson III	Cs = 0.26 Cv = 0.29	Cs ≠ 0 Cv = 0.3	oke oke

Tabel 3 menunjukkan analisis perhitungan distribusi Normal, distribusi Log Normal, dan Distribusi Gumbel tidak memenuhi persyaratan. Sedangkan distribusi Log Pearson III dengan persyaratan Cs ≠ 0 di mana nilai Cs = 0,26 memenuhi persyaratan pertama dan kedua terpenuhi yaitu nilai Cv = 0,29. Maka analisa parameter statistik dasar pola distribusi hujan sesuai dengan distribusi Log Pearson III.

Pemilihan Jenis Distribusi

Analisis curah hujan maksimum (R_{24}) dalam penelitian ini, jenis distribusi yang digunakan adalah distribusi Normal, distribusi Log Normal, distribusi Gumbel, dan distribusi Log Pearson III.

Tabel 4 Nilai Curah Hujan Rancangan (XT) Dari Perhitungan 4 Distribusi

Periode (XT) Ulang (Tahunan)	Nilai Curah Hujan Rancangan			
	Dist. Normal	Dist. Log Normal	Dist. Gumbel	Dist. Log Pearson III
5	113,10	112,21	118,27	112,47
10	124,84	128,14	138,96	127,40
25	136,31	145,88	165,11	145,53
50	145,38	161,64	184,50	157,78

Setelah melakukan perhitungan nilai curah hujan rancangan (XT) maka dilakukan pengujian distribusi dengan cara uji chi kuadrat dan uji kolmogorov smirnov

Tabel 5. Hasil Chi Kuadrat Masing- Masing Distribusi

Distribusi	Nilai Chi Kuadrat	Nilai Chi Kritik	Keterangan
Normal	1.27	5.991	Diterima
Log Normal	1.27	5.991	Diterima
Gumbel	1.27	5.991	Diterima
Log Pearson III	3.09	5.991	Diterima

Tabel 6. Hasil Uji Kolmogorov Smirnov Masing – Masing Distribusi

Distribusi	Δ_{max}	Δ_{cr}	Keterangan
Normal	0.24	0.391	Diterima
Log Normal	0.14	0.391	Diterima
Gumbel	0,84	0.391	Tidak Diterima
Log Pearson III	0.33	0.391	Diterima

Perhitungan Distribusi Hujan Jam-Jaman

Setelah jenis distribusi telah ditentukan, maka dilakukan perhitungan intensitas hujan.

Tabel 7 Distribusi Hujan Jam-Jaman Periode Ulang 10 Tahunan

Waktu hujan rancangan (t)	Intensitas hujan (i) (mm)	(%)	Distribusi hujan jam- jaman (mm)
1	44.21	31.73	40.43
2	27.85	19.98	25.46
3	21.25	15.25	19.43
4	17.54	12.59	16.04
5	15.11	10.85	13.82
6	13.38	9.60	12.24
Σ	139.35	Σ	127.40

Setelah mendapatkan distribusi hujan jam-jaman, dilanjutkan membuat grafik hyetograph dengan metode Alternating Block Method (ABM) dengan menyusun data secara bolak balik dari data terkecil.

Analisis pengaruh LID Dengan Aplikasi SWMM

LID berpengaruh pada subcatchment yaitu terlihat perubahan nilai debit runoff pada tiap subcatchment yang menerapkan LID. Lihat Tabel 8

Tabel 8 Perbandingan Runoff Tanpa LID dan Dengan LID Tiap Subcatchment

Subcatchment	Runoff Tanpa LID (LPS)	Runoff Dengan LID (LPS)	Pengaruh LID pada Runoff (%)
SC1	4251.68	4182.31	-1.63
SC2	1108.15	1085.68	-2.03
SC3	1139.11	1113.22	-2.27
SC4	1696.78	1644.72	-3.07
SC5	1540.26	1517.42	-1.48
SC6	1226.18	1217.46	-0.71
SC7	213.74	211.28	-1.15
SC8	210.89	209.16	-0.82
SC9	124.84	122.48	-1.89
SC10	364.3	314.89	-13.56
SC11	812.7	787.35	-3.12
SC12	1610.78	1538.94	-4.46
SC13	535.01	522.32	-2.37
SC14	756.91	644.6	-14.84
SC18	545.4	504.06	-7.58
SC19	226.82	217.15	-4.26
SC20	227.27	221.57	-2.51
SC22	653.14	649.88	-0.50
SC25	548.2	475.95	-13.18
SC28	905.51	842.30	-6.98
SC34	1244.55	1224.26	-1.63
SC37	665.75	569.79	-14.41
SC43	576.63	541,34	-6.12
SC44	718.91	710.91	-1.11
SC45	1064.14	1041.42	-2.14
SC46	930.63	909.13	-2.31
SC49	685.61	679.36	-0.91
SC57	729.14	577.34	-20.82

LID berpengaruh pada conduit dengan penurunan tinggi muka air (H) dapat dilihat Tabel 9.

Tabel 9. Perbandingan Tinggi Muka Air pada Conduit Tanpa dan Penerapan LID

Conduit	Tinggi Muka Air (m)		Delta H
	Tanpa LID	Menerapkan LID	
CS2	0.533	0.532	0.001
CS13	1.350	1.349	0.001
CS14	1.050	1.049	0.001
CS15	1.298	1.297	0.001
CS16	1.221	1.220	0.001
CS21	1.573	1.569	0.004
CS30	0.866	0.862	0.006
CS35	0.265	0.264	0.001
CS36	0.700	0.698	0.002

CS37	0.856	0.854	0.002
CS38	0.709	0.708	0.001
CS40	0.870	0.869	0.001
CS41	1.339	1.338	0.001
CS42	1.891	1.888	0.003
CS48	0.836	0.835	0.001

Pengaruh LID pada node atau junction dapat dilihat dengan perubahan nilai total flood volume semakin berkurang.

Tabel 10. Perbandingan Volume Limpasan Tiap Node Tanpa LID dan Dengan LID

Node	Tanpa LID Total Flood (10 ⁶ Liter)	Menerapkan LID Total Flood (10 ⁶ Liter)	Persen Flooding (%)
JC6	55.75	55.62	-0.23
JC8	8.04	7.94	-1.18
JC9	20.20	20.18	-0.11
JC13	26.73	26.37	-1.35
JC20	3.21	3.17	-1.39
JC21	27.74	27.56	-0.64
JC23	0.45	0.41	-8.39
JC24	0.88	0.86	-2.31
JC26	69,91	69,85	-0.09
JC32	11.50	11.37	-1.12
JC38	16.34	16.30	-0.25
JC45	495.43	494.22	-0.24

KESIMPULAN

Hasil penelitian di Sungai Sringin menghasilkan kesimpulan sebagai berikut:

- Penerapan LID berpengaruh pada debit puncak *runoff* minimum sebesar 4.26% dan maksimum dan 1.63%.
- Penerapan LID berpengaruh pada masing-masing *subcatchment* yaitu nilai *runoff* yang terjadi sebesar -0.50% hingga -7,58%,
- Penerapan LID berpengaruh pada nilai flooding pada junction sebesar -0.09% sampai -8.39%, perubahan tinggi muka air sebesar 1×10^{-3} meter sampai 6×10^{-3} meter,
- Penerapan LID berpengaruh pada jumlah titik banjir tetap = 12 titik. Cukup efektif karena pengaruh area LID terhadap perubahan nilai runoff melalui grafik regresi linier dan polynomial menghasilkan koefisien determinasi (R^2) sebesar 0.9973 hingga 1, sehingga semua tipe LID yaitu LID tipe *Rain Barrel*, *Bio Retensi*, *Green Roof*, *Permeable Pavement*, *Infiltration Trench*, dan *Rain Garden* berpengaruh terhadap luas area dan perubahan nilai runoff, karena luas area LID yang dihasilkan semakin besar sehingga perubahan nilai *runoff* yang dihasilkan juga semakin besar.

DAFTAR PUSTAKA

BMKG., 2021, Prakiraan curah hujan 2021

Coffman, Larry, 2000, *Low-Impact Development Design Strategies, An Integrated Design*

Approach. EPA 841-B-00-003. Prince George's County, Maryland. Department of Environmental Resources, Programs and Planning Division. ISSN: 1858-2559.

Fauzi, Akhmad, 2006, *Ekonomi Sumber Daya Alam dan Lingkungan Teori dan Aplikasi*, Jakarta: PT Gramedia Pustaka Utama. ISSN: 9792210423.

Maryland, 1999, *Low-Impact Development Design Strategies: An Integrated Design Approach* Prince George's County, AS. ISSN: 1882-5796

Rossmann, 2004, Storm Water Management Model User's Manual 5.0. Cincinnati: EPA /600/R-05/040, United States Environmental Agency. ISSN: 2292-6062

Sutrisno, Tri, 2011, Simulasi Saranadan Prasarana Pengelolaan Limpasan Hujan Berbasis Pendekatan Low-Impact Development di Kampus UI Depok Menggunakan Perangkat Lunak HYDRO-CAD. ISSN: 1979-9764

Soewarno, 1995, Hidrologi Untuk Teknik, Penerbit Nova, Bandung. ISSN: 0216-3012.