

EKPERIMEN RESPON CURAH HUJAN-RUNOFF UNTUK MENGURANGI BANJIR PERKOTAAN MENGGUNAKAN MODEL BERBASIS SKALA

**Okma Yendri¹, Anna Emiliawati²*

*^{1,2}Fakultas Teknik, Universitas Musi Rawas Kota Lubuklinggau, Indonesia
okmayendri@gmail.com* Corresponding author*

Abstrak: Ekperimen Respon Curah Hujan-Runoff Untuk Mengurangi Banjir Perkotaan Menggunakan Model Berbasis Skala. Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui hubungan antara intensitas curah hujan tertinggi dan terendah. Metode yang digunakan dalam penelitian ini menggunakan desain model skala, yaitu model skala yang dibangun dengan pelat baja sebagai diagram alir independen. Ukuran standar setiap area drainase adalah 1 m × 1 m × 0,3 m (perkerasan berpori setinggi 0,2 m). Tepi luar permukaan drainase adalah 0,1 m lebih tinggi dari permukaan bertingkat untuk mencegah percikan air hujan dan untuk meniru distribusi ukuran tetesan hujan yang dihasilkan oleh reservoir dengan tekanan air yang sama. Kesimpulan yang diperoleh adalah rasio intensitas curah hujan tertinggi adalah 1.14%. Permukaan rumput, rasio intensitas curah hujan terendah adalah 1,06%. Disarankan untuk melakukan ini jika durasi hujan terus menerus atau waktu konsentrasi terlampaui, jika durasi hujan lebih lama dari waktu konsentrasi dan di lapangan.

Kata kunci: Desain Model Skala; Eksperimen Simulasi Curah Hujan; Rasio tertinggi pada Intensitas Hujan.

Abstract: Rainfall Response-Run Off Experiment to Reduce Urban Flooding Using a Scale-Based Model. This study aims to determine the relationship between the highest and lowest rainfall intensity. The method used in this study uses a scale model design, namely a scale model built with a steel plate as an independent flow chart. The standard size of each drainage area is 1 m × 1 m × 0.3 m (0.2 m high porous pavement). The outer edge of the drainage surface is 0.1 m higher than the terraced surface to prevent rainwater splashing and to mimic the size distribution of raindrops generated by reservoirs of the same water pressure. The conclusion obtained is the ratio of the highest rainfall intensity is 1.14%. The grass surface, the lowest rainfall intensity ratio is 1.06%. It is recommended to do this if the duration of the rain is continuous or the concentration time is exceeded, if the duration of the rain is longer than the concentration time and in the field.

Keywords: Scale Model Design; Rainfall Simulation Experiments; The highest ratio of Rain Intensity.

History & License of Article Publication:

Received: 14/08/2022 Revision: 24/08/2022 Published: 31/12/2022

DOI: <https://doi.org/10.37971/radial.v10i2.282>



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

PENDAHULUAN

Dengan percepatan urbanisasi, aktivitas manusia telah mengubah kondisi permukaan tanah dan iklim lingkungan, yang seringkali menimbulkan masalah banjir di perkotaan dan menimbulkan masalah sosial dan kerugian ekonomi yang sangat besar [1]. Urbanisasi setara dengan gangguan bentang alam, menggantikan vegetasi permukaan dengan permukaan kedap air [2]. Hilangnya permukaan permeabel mengurangi peresapan air hujan ke dalam tanah, sedangkan pengenalan drainase buatan menggantikan jalur alami [3]. Perubahan ini meningkatkan limpasan dan aliran puncak [4]., mengurangi waktu konsentrasi [5]., dan selanjutnya meningkatkan besaran dan frekuensi banjir lokal [5]. [6]. Aktivitas manusia telah mengubah kondisi permukaan tanah dan iklim lingkungan, yang seringkali menimbulkan masalah banjir di perkotaan dan menimbulkan masalah sosial dan kerugian ekonomi yang sangat besar [1]. Urbanisasi setara dengan gangguan bentang alam, menggantikan vegetasi permukaan dengan permukaan kedap air [2]. Hilangnya permukaan permeabel mengurangi peresapan air hujan ke dalam tanah, sedangkan pengenalan drainase buatan menggantikan jalur alami [3]. Perubahan ini meningkatkan limpasan dan aliran puncak [4]., mengurangi waktu konsentrasi [5]., dan selanjutnya meningkatkan besaran dan frekuensi banjir lokal [5]. [6].

Strategi pembangunan berdampak rendah menunjukkan respons hidrologi yg berbeda dan kapasitas pengolahan air, dan kinerja efektivitas setiap fasilitas secara substansial bervariasi [7];[8]. Akibatnya, pemahaman limpasan proses dan potensi infiltrasi bagian atas perkotaan yg khas dan infrastruktur hijau karenanya sebagai prioritas dalam desain dan implementasi teknologi pengendalian stormwater [9].; [10].

Dampak urbanisasi pada pembentukan limpasan air hujan sering dievaluasi dengan contoh hidrologi [11]; [12]; [13], [14].,[15].; [16]. Namun, tidak terdapat karakterisasi permukaan perkotaan yang diterima secara universal pada contoh curah hujan-limpasan, yang mengakibatkan sebagian besar model hidrologi dengan variabilitas tinggi dalam simulasi proses hidrologi perkotaan [17].; [18]. Beberapa tahun terakhir, beberapa skala plot, skala permukaan, dan eksperimen limpasan curah hujan in-situ telah digunakan untuk menyelidiki berbagai aspek yang terkait dengan infiltrasi limpasan & aliran permukaan [19]; [20]; [21]. Misalnya, [22] mengevaluasi respon hidrologi untuk berbagai konfigurasi bagian atas rapat air dalam skala kecil. [23] mendirikan sabuk hijau elevasi rendah, trotoar permeabel, dan atap hijau untuk menyelidiki pengaruh langkah-langkah drainase perkotaan dalam kontrol volume limpasan dengan fasilitas eksperimental. [20]. menggunakan plot limpasan berbasis skala atap hijau yang luas untuk mengukur kinerja retensi limpasan mereka, dan menentukan donasi faktor struktural pada retensi limpasan.

Proses hidrologi daerah perkotaan saat ini tidak dipahami dengan baik [24]; [2] Oleh karena itu, estimasi limpasan yang akurat untuk permukaan perkotaan dan tumpukan tertentu penting dalam desain sistem drainase perkotaan dan pengendalian banjir. Pertanyaan mengadopsi metodologi yang efektif untuk mempelajari proses limpasan dan perilaku hidrologi permukaan perkotaan tetap menjadi masalah mendesak [25]. [26] Dalam studi ini, model diagram limpasan skala besar dan eksperimen simulasi curah hujan lapangan dilakukan untuk menyelidiki respon limpasan curah hujan permukaan perkotaan. Tujuan dari Penelitian ini adalah tiga: (1) untuk menyelidiki perilaku hidrologi permukaan perkotaan yang khas; (2) memvalidasi efektivitas pengurangan limpasan di halaman rumput terendam dan trotoar berpori, dan kemudian membandingkannya dengan

permukaan kedap air; dan (3) menilai pengaruh posisi permeasi permukaan dan kelembaban tanah awal terhadap respon limpasan.

METODE

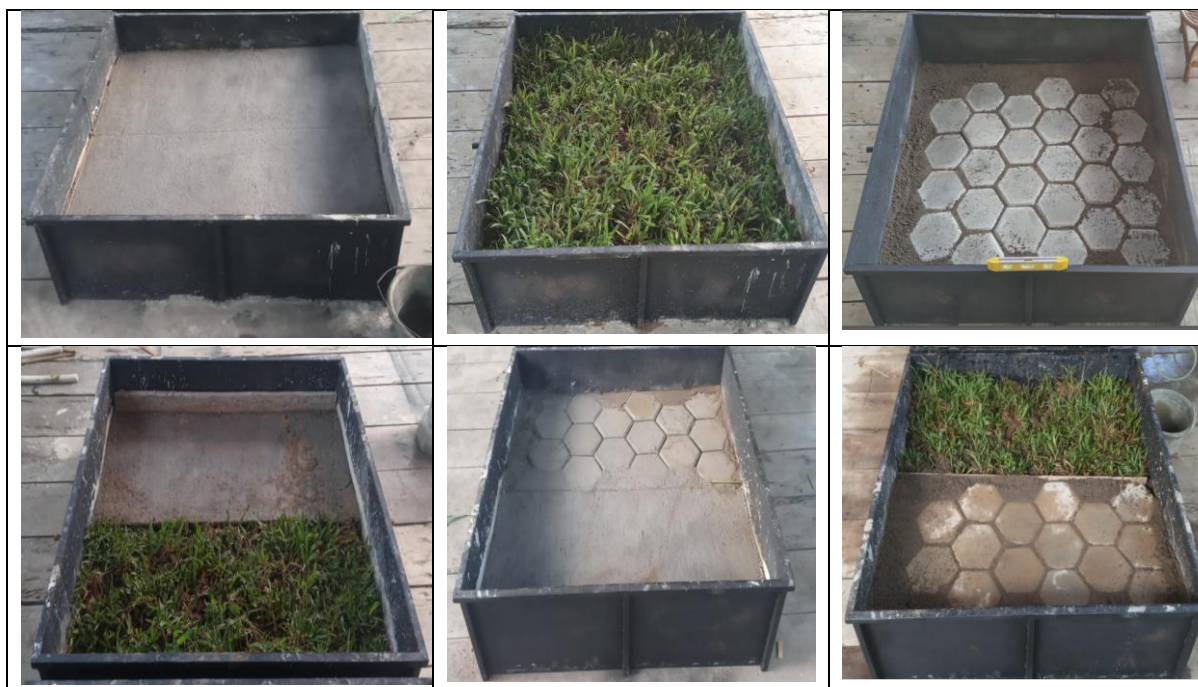
Metodologi

Proses hujan, limpasan, dan infiltrasi merupakan hubungan aliran dari berjalannya waktu. Waktu yang berjalan akan menghasilkan jumlah dan kejadian debit aliran permukaan yang berbeda-beda, juga dengan kejadian resapan aliran yang terjadi. Ketiganya, hujan, limpasan dan infiltrasi berjalan bersamaan pada proses yang sama. Proses tersebut akan didapatkan waktu saat naik, waktu saat puncak (banjir), dan waktu saat turun atau air menyusut dan konstan pada suatu bentuk hidrograf. Hal ini akan banyak dipengaruhi oleh banyak perlakuan yang terjadi. [28].

Desain Model Skala

Plot limpasan berbasis skala dari tanah kedap air, padang rumput, permukaan GI dari perkerasan batu bata berpori dan padang rumput cekung, dan dua permukaan posisi permukaan yang tembus dibangun (Gambar. 1). Model skala dibangun oleh pelat baja sebagai plot limpasan independen. Ukuran standar setiap plot limpasan adalah $1\text{ m} \times 1\text{ m} \times 0,3\text{ m}$ (perkerasan berpori memiliki ketinggian $0,2\text{ m}$). Tepi luar petak limpasan dirancang $0,1\text{ m}$ lebih tinggi dari permukaan berlapis untuk mencegah percikan air hujan.

Di dasar setiap plot limpasan, V-flume dibuat di outlet untuk memfasilitasi pengumpulan limpasan permukaan. Di bagian dalam setiap plot limpasan, lapisan bantalan tanah setebal 30 cm dilapisi dengan tanah lempung sedang (untuk permukaan kedap air, lapisan bantalan tanah setebal 10 cm), Tamapak atas dan gambar dapat dilihat dibawah ini:



Gambar 1 Desain Model Skala

Berdasarkan gambar 1 diatas setiap plot limpasan, V-flume dibuat di outlet untuk memfasilitasi pengumpulan limpasan permukaan. Di bagian dalam setiap petak limpasan, lapisan bantalan tanah setebal 20 cm Sifat fisik tanah yang digunakan dalam penelitian ini

Ekperimen Respon Curah Hujan-Runoff Untuk Mengurangi Banjir Perkotaan Menggunakan Model Berbasis Skala (Yendri)

<https://stitek-binataruna.e-journal.id/radial/index>

ditunjukkan pada Tabel 1. Distribusi ukuran butir tanah adalah 21% partikel lempung, 39% partikel lanau, 25% partikel pasir halus, dan 15% partikel pasir kasar. Untuk mencegah terjadinya penurunan tanah akibat simulasi curah hujan, maka dilakukan pengairan beberapa kali proses pemadatan tanah sampai infiltrasi tanah jenuh dan dipadatkan secara alami.

Eksperimen Simulasi Curah Hujan

Eksperimen simulasi curah hujan buatan dilakukan di Laboratorium Teknik Sipil Universitas Musi Rawas. Dalam hal ini studi, simulator curah model skala (Gambar. 2). Distribusi ukuran rintik hujan yang dihasilkan oleh wadah dengan tekanan air yang sama meniru peristiwa curah hujan alami, dan energi kinetik curah hujan diperkirakan sekitar 90% dari curah hujan alami [29]. Hasil pra-eksperimen menunjukkan bahwa keseragaman spasial curah hujan simulasi lebih dari 80%. Hari tanpa angin dipilih untuk melakukan simulasi curah hujan di lapangan. Simulasi curah hujan dilakukan sampai limpasan dihasilkan dan berlangsung selama 30 menit. Tiga pengulangan dilakukan untuk setiap plot limpasan di bawah setiap intensitas curah hujan. Untuk setiap pengujian berulang, periode pengeringan antara curah hujan berturut-turut ditetapkan hingga 48 jam untuk memastikan kelembaban tanah awal yang sama.



Gambar. 2 Simulator Curah Hujan Buatan Dan Lokasi Percobaan

(menempati petak 70%) dengan permukaan semen, sedangkan bagian bawah lainnya (30%) diaspal dengan padang rumput dengan kedalaman cekung 5 cm. Permukaan semen dan metode konstruksi padang rumput sama seperti di atas. Perkerasan batu bata porous memiliki lapisan kerikil 5 cm antara lapisan bata permeabel (ketebalan 5 cm) dan lapisan

Ekperimen Respon Curah Hujan-Runoff Untuk Mengurangi Banjir Perkotaan Menggunakan Model Berbasis Skala (**Yendri**)

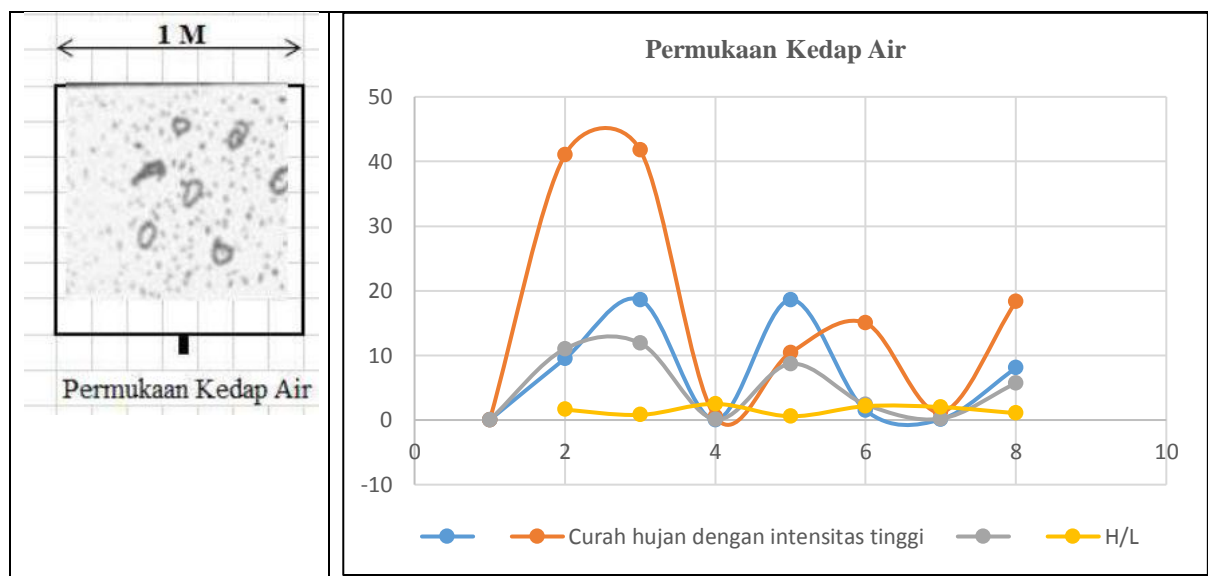
bantalan tanah, dan celah antara batu bata berpori diisi dengan pasir perak. Ukuran kerikil berdiameter 5-10 mm dipilih secara empiris, yang 100% lolos melalui analisis saringan. Kain geotekstil bukan tenunan direkatkan di antara lapisan bantalan tanah dan lapisan kerikil, yang membantu mencegah pasir berpindah ke dasar perkerasan berpori. Tiga lintasan dengan pelat baja memukul bantalan tanah untuk pemadatan yang tepat guna mempertahankan kapasitas infiltrasi yang memadai. Untuk menilai pengaruh posisi permukaan tembus pada proses curah hujan-limpasan, dua jenis permukaan tembus didistribusikan di sisi atas dan bawah padang rumput dirancang.

HASIL DAN PEMBAHASAN

Hasil Penelitian

Tabel 1 Karakteristik Simulasi Curah Hujan Dan Respon Limpasan Permukaan Kedap Air

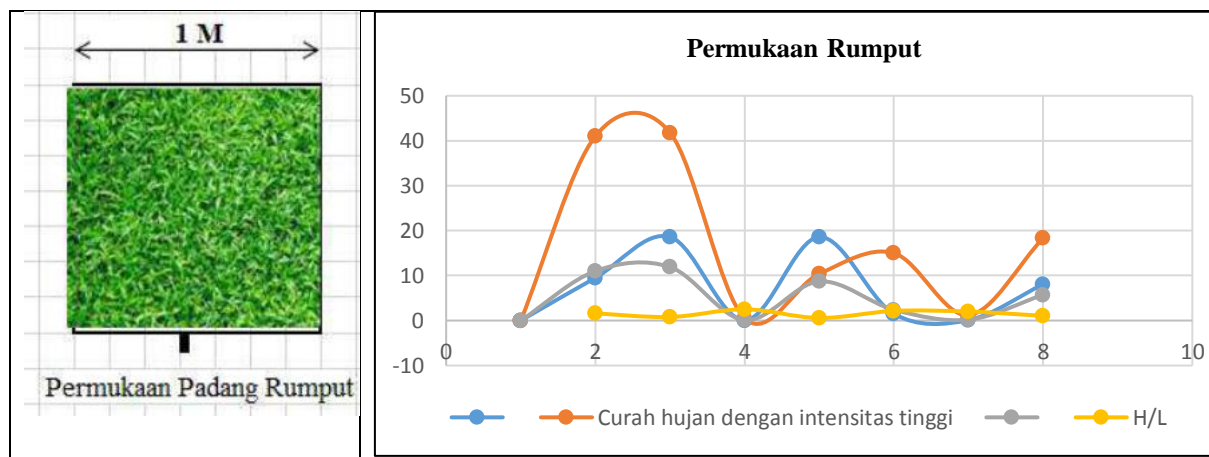
Indikator curah hujan/limpasan	Curah hujan dengan intensitas rendah		Curah hujan dengan intensitas tinggi		H/L
	Rata-rata	SD	Rata-rata	SD	
	Kedalaman curah hujan (mm)	25,30	9,5	41,0	
Durasi hujan (menit)	53,00	18,6	41,8	11,9	0,79
Intensitas hujan (mm/menit)	0,20	0,0	0,5	0,1	2,50
Waktu untuk limpasan (menit)	18,00	18,6	10,4	8,7	0,58
Debit limpasan (mm)	7,00	1,5	15,0	2,4	2,14
Laju aliran puncak (L/meint)	0,60	0,1	1,2	0,2	2,00
Koefisien limpasan (%)	17,35	8,1	18,3	5,7	1,06



Gambar 3 Karakteristik Simulasi Curah Hujan Dan Respon Limpasan Permukaan Kedap Air

Tabel 2 Karakteristik Simulasi Curah Hujan Dan Respon Limpasan Permukaan Rumput

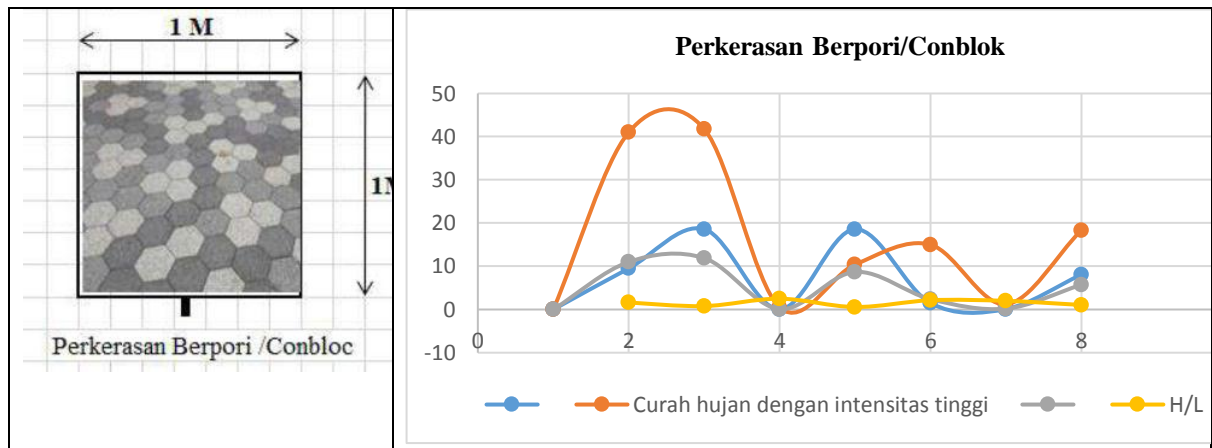
Indikator curah hujan/limpasan	Curah hujan dengan intensitas rendah		Curah hujan dengan intensitas tinggi		H/L
	Rata-rata	SD	Rata-rata	SD	
Kedalaman curah hujan (mm)	25,30	9,5	41,0	11,0	1,62
Durasi hujan (menit)	53,00	18,6	41,8	11,9	0,79
Intensitas hujan (mm/menit)	0,20	0,0	0,5	0,1	2,50
Waktu untuk limpasan (menit)	10,00	18,6	10,4	5,7	1,04
Debit limpasan (mm)	6,00	1,5	14,0	2,4	2,33
Laju aliran puncak (L/meint)	0,60	0,1	1,1	0,2	1,83
Koefisien limpasan (%)	15,85	8,1	18,1	5,2	1,14



Gambar 4 Karakteristik Simulasi Curah Hujan dan Respon Limpasan Permukaan Rumput

Tabel 3 Karakteristik Simulasi Curah Hujan dan Respon Limpasan Perkerasan Berpori/Comblok

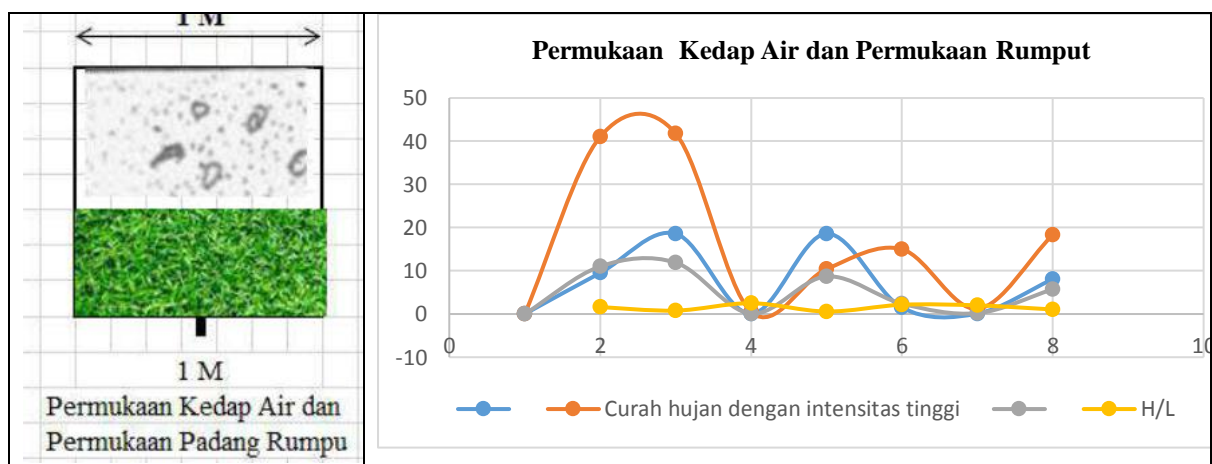
Indikator curah hujan/limpasan	Curah hujan dengan intensitas rendah		Curah hujan dengan intensitas tinggi		H/L
	Rata-rata	SD	Rata-rata	SD	
Kedalaman curah hujan (mm)	25,30	9,5	41,0	11,0	1,62
Durasi hujan (menit)	53,00	18,6	41,8	11,9	0,79
Intensitas hujan (mm/menit)	0,20	0,0	0,5	0,1	2,50
Waktu untuk limpasan (menit)	16,00	18,6	9,4	8,7	0,59
Debit limpasan (mm)	5,00	2,0	14,0	2,4	2,80
Laju aliran puncak (L/meint)	0,60	0,1	0,9	0,2	1,50
Koefisien limpasan (%)	16,68	8,1	17,9	5,7	1,07



Gambar 5 Karakteristik Simulasi Curah Hujan Dan Respon Limpasan Perkerasan Berpori/Conbloc

Tabel 4 Karakteristik simulasi curah hujan dan respon limpasan permukaan Kedap Air dan Permukaan Rumput

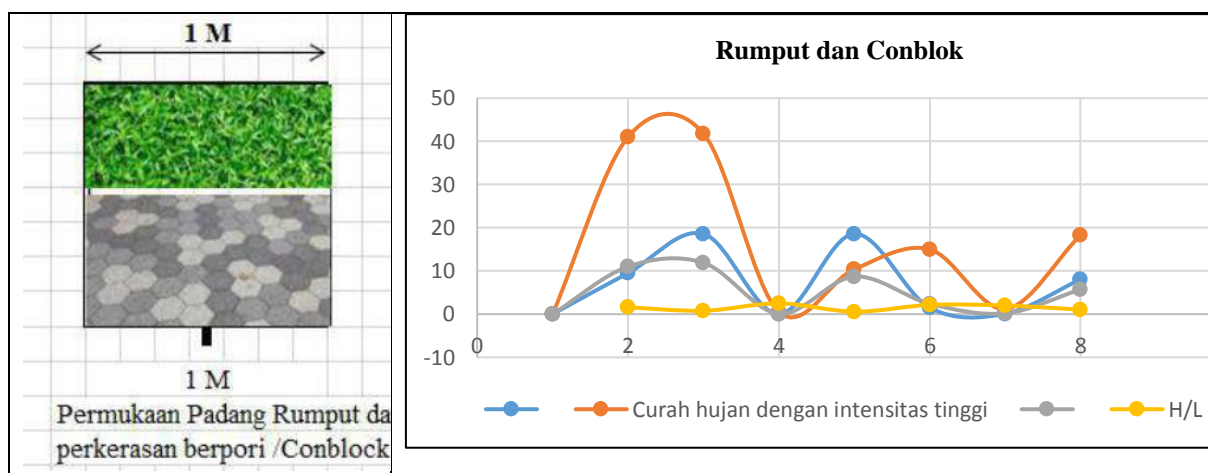
Indikator curah hujan/limpasan	Curah hujan dengan intensitas rendah		Curah hujan dengan intensitas tinggi		H/L
	Rata-rata	SD	Rata-rata	SD	
Kedalaman curah hujan (mm)	25,30	9,5	41,0	11,0	1,62
Durasi hujan (menit)	53,00	18,6	41,8	11,9	0,79
Intensitas hujan (mm/menit)	0,20	0,0	0,5	0,1	2,50
Waktu untuk limpasan (menit)	14,00	18,6	8,4	8,7	0,60
Debit limpasan (mm)	4,00	1,5	12,0	2,4	3,00
Laju aliran puncak (L/meint)	0,60	0,1	0,8	0,2	1,33
Koefisien limpasan (%)	16,18	8,1	17,4	5,7	1,08



Gambar 6 Karakteristik Simulasi Curah Hujan Dan Respon Limpasan Permukaan Kedap Air Dan Permukaan Rumput

Tabel 5 Karakteristik Simulasi Curah Hujan Dan Respon Limpasan Permukaan Rumput dan Conblok

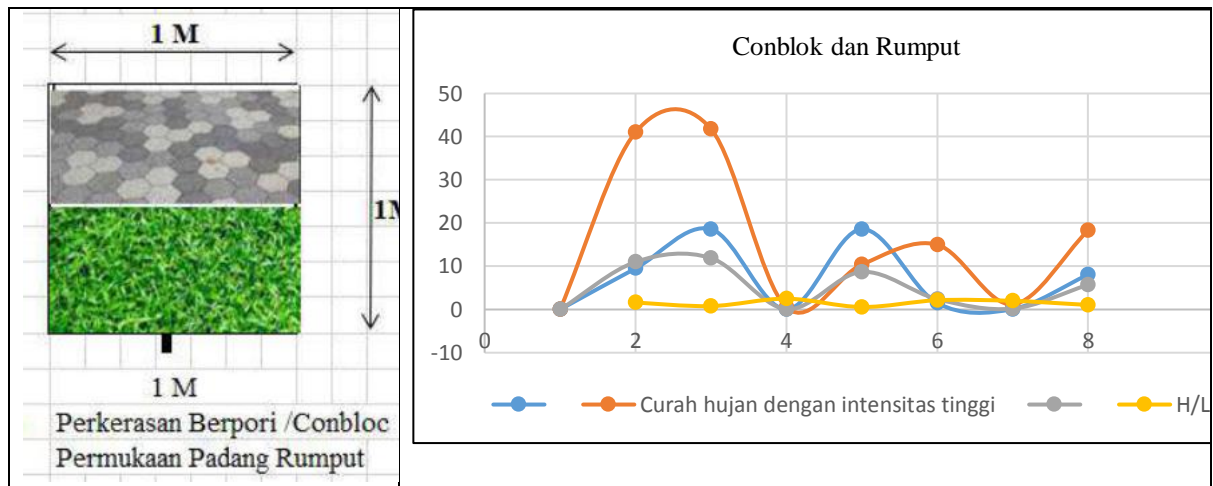
Indikator curah hujan/limpasan	Curah hujan dengan intensitas rendah		Curah hujan dengan intensitas tinggi		H/L
	Rata-rata	SD	Rata-rata	SD	
Kedalaman curah hujan (mm)	25,30	9,5	41,0	11,0	1,62
Durasi hujan (menit)	53,00	18,6	41,8	11,9	0,79
Intensitas hujan (mm/menit)	0,20	0,0	0,5	0,1	2,50
Waktu untuk limpasan (menit)	12,00	18,6	7,4	8,7	0,62
Debit limpasan (mm)	3,00	1,5	11,0	2,4	3,67
Laju aliran puncak (L/meint)	0,60	0,1	0,7	0,2	1,17
Koefisien limpasan (%)	15,68	8,1	17,1	5,7	1,09



Gambar 7 Karakteristik Simulasi Curah Hujan dan Respon Limpasan Permukaan Rumput dan Conblok

Tabel 6 Karakteristik Simulasi Curah Hujan dan Respon Limpasan Permukaan Conlok dan Rumput

Indikator curah hujan/limpasan	Curah hujan dengan intensitas rendah		Curah hujan dengan intensitas tinggi		H/L
	Rata-rata	SD	Rata-rata	SD	
Kedalaman curah hujan (mm)	25,30	9,5	41,0	11,0	1,62
Durasi hujan (menit)	53,00	18,6	41,8	11,9	0,79
Intensitas hujan (mm/menit)	0,20	0,0	0,5	0,1	2,50
Waktu untuk limpasan (menit)	12,00	18,6	7,4	8,7	0,62
Debit limpasan (mm)	3,00	1,5	11,0	2,4	3,67
Laju aliran puncak (L/meint)	0,60	0,1	0,7	0,2	1,17
Koefisien limpasan (%)	15,68	8,1	17,1	5,7	1,09



Gambar 8 Karakteristik Simulasi Curah Hujan dan Respon Limpasan Permukaan Conblok dan Rumput

Keterangan: SD (Standar Deviasi), H/L menunjukkan rasio sebagai indikator curah hujan intensitas tinggi (H) ke rendah (L).

Pembahasan Hasil Penelitian

Berdasarkan Tabel Gambar diatas dengan menggunakan aplikasi excel didapat Indikator curah hujan/limpasan Curah Hujan dengan intensitas rendah. Karakteristik simulasi curah hujan dan respon limpasan Permukaan Kedap Air didapat Koefisien limpasan 1.06 %. Karakteristik simulasi curah hujan dan respon limpasan permukaan rumput didapat Koefisien limpasan 1.14 %. Karakteristik simulasi curah hujan dan respon limpasan perkerasan berpori/comblok didapat Koefisien limpasan 1.07 %. Karakteristik simulasi curah hujan dan respon limpasan permukaan Kedap Air dan Permukaan Rumput didapat Koefisien limpasan 1.08 %. Karakteristik simulasi curah hujan dan respon limpasan permukaan Rumput dan Conblok didapat Koefisien limpasan 1.09 %. Karakteristik simulasi curah hujan dan respon limpasan permukaan Conblok dan Rumput didapat Koefisien limpasan 1.09 %.

KESIMPULAN

Rasio tertinggi pada Intensitas hujan sebesar 1.14 %. permukaan rumput, Rasio terendah pada Intensitas hujan sebesar 1.06 % perkerasan berpori/comblok 2,50 % dan Rasio terendah Waktu Untuk Limpasan sebesar 0,58 %. Untuk penelitian selanjutnya dapat dilakukan pada durasi hujan yang menerus atau melebihi waktu konsentrasi, pada durasi hujan yang lebih lama dari waktu konsentrasi, dan laksanakan di lapangan.

UCAPAN TERIMA KASIH

LLDIKIT.Wilayah II yang telah memberikan dana dan LPPM Universitas Musi Rawasyang telah memberikan bimbingan dalam Penelitian Dosen Pemula (PDP).

DAFTAR PUSTAKA

- [1]. Smith MB (2006) Comment on 'Analysis and modeling of flooding in urban drainage systems. J Hydrol 317(3):355–363. <https://doi.org/10.1016/j.jhydrol.2005.05.027>.

- [2]. Shuster WD, Bonta J, Thurston H, Warnemuende E, Smith DR (2005) Impacts of impervious surface on watershed hydrology: a review. *Urban Water J* 2(4):263–275. <https://doi.org/10.1080/15730620500386529>
- [3]. Miller JD, Kim H, Kjeldsen TR, Packman J, Grebby S, Dearden R (2014) Assessing the impact of urbanization on storm runoff in a peri-urban catchment using historical change in impervious cover. *J Hydrol* 515:59–70. <https://doi.org/10.1016/j.jhydrol.2014.04.011>.
- [4]. Stone B (2004) Paving over paradise: how land-use regulations promote residential imperviousness. *Landsc Urban Plan* 69 (1):101–113. <https://doi.org/10.1016/j.landurbplan.2003.10.028>.
- [5]. Fletcher TD, Andrieu H, Hamel P (2013) Understanding, management and modeling of urban hydrology and its consequences for receiving waters: a state of the art. *Adv Water Resour* 51:261–279. <https://doi.org/10.1016/j.advwatres.2012.09.001>.
- [6]. Jacobson CR (2011) Identification and quantification of the hydrological impacts of imperviousness in urban catchments: a review. *J Environ Manag* 92(6):1438–1448. <https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2011.01.018>.
- [7]. Baek SS, Choi DH, Jung JW, Lee HJ, Lee H, Yoon KS, Cho KH (2015) Optimizing low impact development (LID) for stormwater runoff treatment in an urban area, Korea: Experimental and modeling approach. *Water Res* 86:122–131. <https://doi.org/10.1016/j.watres.2015.08.038>.
- [8]. Li J, Deng C, Li Y, Li Y, Song J (2017) Comprehensive benefit evaluation system for low-impact development of urban stormwater management measures. *Water Resour Manag* 31 (15):4745–4758. <https://doi.org/10.1007/s11269-017-1776-5>.
- [9]. DeFries R, Eshleman KN (2004) Land-use change and hydrologic processes: a major focus for the future. *Hydrol Process* 18 (11):2183–2186. <https://doi.org/10.1002/hyp.5584>.
- [10]. Vorosmarty CJ, Green P, Salisbury J, Lammers RB (2000) Global water resources: vulnerability from climate change and population growth. *Science* 289(5477):284–288. <https://doi.org/10.1126/science.289.5477.284>.
- [11]. Ahiablame LM, Engel BA, Chaubey I (2012) Effectiveness of low impact development practices: literature review and suggestions for future research. *Water, Air, Soil Pollut* 223:4253–4273. <https://doi.org/10.1007/s11270-012-1189-2>.
- [12]. Elliott AH, Trowsdale SA (2007) A review of models for low impact urban stormwater drainage. *Environ Model Softw* 22(3):394–405. <https://doi.org/10.1016/j.envsoft.2005.12.005>.
- [13]. Liu W, Chen W, Peng C (2014) Assessing the effectiveness of green infrastructures on urban flooding reduction: a community scale study. *Ecol Model* 291:6–14. <https://doi.org/10.1016/j.ecolmodel.2014.07.012>.
- [14]. Liu W, Chen W, Peng C (2015) Influences of setting sizes and combination of green infrastructures on community's stormwater runoff reduction. *Ecol Model* 318:236–244. <https://doi.org/10.1016/j.ecolmodel.2014.11.007>.
- [15]. Liu W, Chen W, Feng Q (2018) Field simulation of urban surfaces runoff and estimation of runoff with experimental curve numbers. *Urban Water J* 15(5):418–426. <https://doi.org/10.1080/1573062X.2018.1508597>.
- [16]. Salavati B, Oudin L, Furusho-Percot C, Ribstein P (2016) Modeling approaches to detect land-use changes: urbanization analyzed on a set of 43 US catchments. *J Hydrol* 538:138–151. <https://doi.org/10.1016/j.jhydrol.2016.04.010>.

- [17]. Salvadore E, Bronders J, Batelaan O (2015) Hydrological modeling of urbanized catchments: a review and future directions. *J Hydrol* 529:62–81. <https://doi.org/10.1016/j.jhydrol.2015.06.028>.
- [18]. Shields CA, Tague CL (2012) Assessing the role of parameter and input uncertainty in ecohydrology modeling: implications for a semi-arid and urbanizing coastal California catchment. *Ecosys-tems* 15(5):775–791. <https://doi.org/10.1007/s10021-012-9545-z>.
- [19]. Armson D, Stringer P, Ennos AR (2013) The effect of street trees and amenity grass on urban surface water runoff in Manchester, UK. *Urban Green* 12(3):282–286. <https://doi.org/10.1016/j.fun.2013.04.001>
- [20]. Liu W, Feng Q, Chen W, Wei W, Deo RC (2019) The influence of structural factors on stormwater runoff retention of extensive green roofs: new evidence from scale-based models and real experiments. *J Hydrol* 569:230–238. <https://doi.org/10.1016/j.jhydrol.2018.11.066>.
- [21]. Sarkar R, Dutta S (2011) Field investigation and modeling of rapid subsurface stormflow through preferential pathways in a vegetated hillslope of northeast India. *J Hydrol Eng* 17(2):333–341. [https://doi.org/10.1061/\(ASCE\)HE.1943-5584.0000431](https://doi.org/10.1061/(ASCE)HE.1943-5584.0000431).
- [22]. Pappas EA, Smith DR, Huang C, Shuster WD, Bonta JV (2008) Impervious surface impacts to runoff and sediment discharge under laboratory rainfall simulation. *Catena* 72(1):146–152. <https://doi.org/10.1016/j.catena.2007.05.001>.
- [23]. Mai Y, Zhang M, Chen W, Chen X, Huang G, Li D (2018) Experimental study on the effects of LID measures on the control of rainfall-runoff. *Urban Water J* 15(9):827–836. <https://doi.org/10.1080/1573062X.2018.1561912>.
- [24]. Redfern TW, Macdonald N, Kjeldsen TR, Miller JD, Reynard N (2016) Current understanding of hydrological processes on common urban surfaces. *Prog Phys Geog* 40(5):699–713. [HTTPS://doi.org/10.1177/0309133316652819](https://doi.org/10.1177/0309133316652819).
- [25]. Chakravarti A, Jain MK (2014) Experimental investigation and modeling of the rainfall-runoff process. *Indian J Sci Technol* 7 (12):2096–2106.
- [26]. Chen J, Hill AA, Urbano LD (2009) A GIS-based model for urban flood inundation. *J Hydrol* 373(1):184–192. <https://doi.org/10.1016/j.jhydrol.2009.04.021>.
- [27]. Donny Harisuseno, Khaerudin, R Haribowo, 2018, [Penentuan Waktu Banjir \(Tc\) Dari Proses Hujan, Limpasan Dan Infiltrasi Di Lahan Untuk Mendukung Desain Ekodrainase Perkotaan](#), Laporan Akhir skema Penelitian Dasar Unggulan Perguruan Tinggi (PDUPT).
- [28]. Okma Yendri, Andry, 2021, Model Waktu Banjir Dari Proses Hujan Limpasan dan Infiltrasi Untuk Perencanaan Drainase Perkotaan. <https://stitek-binataruna.e-journal.id/radial/article/view/227>
- [29]. Iserloh T, Ries JB, Arnáez J, Boix-Fayos C, Butzen V, Cerdà A, Gómez JA (2013) European small portable rainfall simulators: a comparison of rainfall characteristics. *Catena* 110:100–112. <https://doi.org/10.1016/j.catena.2013.05.013>.