

Pengaruh Tutupan Lahan Terhadap Laju Infiltrasi Limpasan Air Hujan

Iin Karnisah¹, Enung², A.Djihad³

¹Jurusan Teknik Sipil, Politeknik Negeri Bandung, Bandung 40012

E-mail : iinkarnisah@polban.ac.id

²Jurusan Teknik Sipil, Politeknik Negeri Bandung, Bandung 40012

E-mail : enung1982@gmail.com

ABSTRAK

Pesatnya pembangunan menyebabkan peningkatan tutupan lahan sehingga resapan air hujan (infiltrasi) kedalam tanah akan berkurang sedangkan limpasan aliran permukaan bertambah besar yang berakibat terjadi peningkatan banjir. Laju Infiltrasi merupakan hubungan antara kapasitas infiltrasi dan waktu yang terjadi selama dan beberapa saat setelah hujan. Laju infiltrasi terbesar pada saat permulaan hujan dan menurun hingga mencapai angka minimum yang konstan. Infiltrasi sangat tergantung pada jenis tanah dan kemampuan tanah tersebut untuk meresapkan air. Penelitian ini bertujuan untuk mengkaji karakteristik berbagai jenis tutupan lahan terkait kemampuannya dalam meresapkan air dengan melakukan pengujian secara langsung di lapangan menggunakan alat double ring infiltrometer. Hasil penelitian data lapangan menunjukkan laju infiltrasi konstan dengan jenis tanah lempung kepasiran untuk berbagai jenis tutupan lahan, tanah asli 0.156 cm/jam, beton porous 0.038 cm/jam, aspal 0.029 cm/jam dan tanah dipadatkan sebesar 0.016 cm/jam. Berdasarkan metode Horton nilai laju infiltrasi untuk berbagai jenis tutupan lahan memiliki karakteristik yang sama dengan pengukuran di lapangan dimana nilai laju infiltrasi awal besar dan semakin kecil lalu mencapai nilai konstan pada waktu 4 (empat) jam. Nilai laju infiltrasi tersebut dapat dijadikan acuan untuk menentukan jenis tutupan lahan ramah lingkungan terutama yang dapat mengurangi limpasan air hujan.

Kata Kunci

Laju Infiltrasi, tanah asli, beton porous, aspal, double ring infiltrometer, metode Horton

1. PENDAHULUAN

Urbanisasi yang diikuti oleh perubahan fungsi lahan memiliki dampak hidrologi yang merugikan seperti peningkatan banjir, berkurangnya kualitas air, dan penurunan aliran dasar. Dalam proses siklus hidrologi terdapat beberapa komponen penting yaitu proses evapotranspirasi, proses pembentukan hujan, proses infiltrasi, dan limpasan permukaan (direct run off). Apabila laju infiltrasi yang terjadi kecil, maka limpasan permukaan yang akan terjadi pasti akan lebih besar, sesuai dengan prinsip water balance. Proses infiltrasi dapat mengurangi sedimen dan polutan, menurunkan arus puncak, dan mengisi kembali air tanah. Infiltrasi juga menunda pengangkutan air limpasan ke saluran air terdekat, membantu meringankan dan mengurangi banjir bandang. Infiltrasi sangat baik digunakan pada tanah yang berdrainase. Di lokasi tersebut infiltrasi dapat menjadi cara yang paling efektif untuk mengelola limpasan.

Infiltrasi sangat tergantung pada jenis tanah dan kemampuan tanah tersebut untuk meresapkan air. Tanah

jenis pasir umumnya melewati air cukup mudah sementara tanah liat membatasi gerakan air. Hal ini terkait dengan berapa banyak ruang pori tersedia

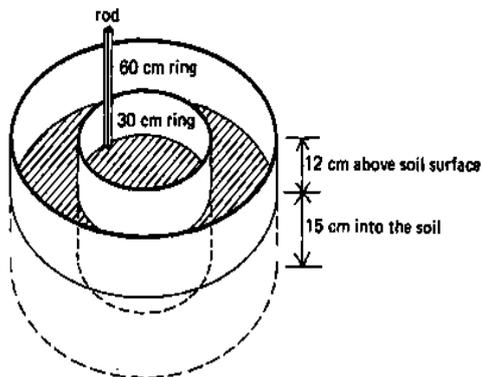
antara partikel tanah. Ketika tanah menjadi jenuh (ruang pori mereka benar-benar diisi dengan air) infiltrasi akan memperlambat atau tidak terjadi sama sekali, hasil yang sama terjadi ketika tanah yang dipadatkan. Selain tergantung jenis tanahnya, infiltrasi juga dipengaruhi oleh tutupan tanahnya. Pembangunan infrastruktur yang tidak dapat dihindari menyebabkan harus dicari alternative jenis infrastruktur yang dapat mengurangi limpasan dan dapat meningkatkan laju infiltrasi. Seperti misalnya dengan penggunaan beton porous, parit infiltrasi, sumur kering, dan kawasan infiltrasi.

Penelitian ini bertujuan untuk mengkaji karakteristik berbagai jenis tutupan lahan terkait kemampuannya dalam meresapkan air (infiltrasi) dengan melakukan pengujian secara langsung di lapangan menggunakan alat double ring infiltrometer.

2. TINJAUAN PUSTAKA

Infiltrasi didefinisikan sebagai proses masuknya air hujan kedalam tanah. Infiltrasi merupakan proses yang sangat kompleks, dan tergantung dari banyak faktor seperti sifat fisik tanah, keadaan tanah, keadaan penutup permukaan lahan (vegetal cover), serta intensitas dan lama

hujan [1]. Sifat hujan yang terkait dengan laju infiltrasi adalah intensitas dan lama hujan. Hujan



dengan intensitas tinggi umumnya mempunyai waktu (duration) yang pendek, dan sebaliknya. Apabila intensitas hujan lebih kecil dibandingkan dengan laju infiltrasi, maka semua air hujan (kecuali yang tertahan dalam tampungan permukaan (surface storage) akan terinfiltrasi. Apabila intensitas hujan lebih tinggi daripada laju infiltrasi, maka sebagian air hujan akan mengalir sebagai overlandflow mengikuti variabilitas infiltrasi (Sri Harto,2006)

Gambar 1. Skema alat double ring infiltrometer
Sumber: <http://www.fao.org/docrep/s8684e/s8684e0a.htm>

Metode yang dapat digunakan untuk pengukuran infiltrasi adalah pengukuran dengan infiltrometer dan analisis hidrograf. Metode infiltrometer dibedakan menjadi infiltrometer genangan dan simulator hujan [2]. Salah satu alat pengukuran laju infiltrasi dengan metode infiltrometer genangan dilapangan yaitu dengan menggunakan alat double ring infiltrometer. Standar pengujian menggunakan alat double ring infiltrometer mengacu ke ASTM D3385 - 9403 Standard Test Method for Infiltration Rate of Soils in Field Using Double-Ring Infiltrometer. Sedangkan skema alat double ring infiltrometer seperti pada Gambar 1. Laju infiltrasi dengan menggunakan alat double ring infiltrometer dapat dihitung dengan persamaan berikut :

$$i = \frac{4V}{3.14 D^2 \Delta t} \quad (1)$$

Keterangan :

i = tingkat infiltrasi (cm/jam)

V = volume air yang ditambahkan dalam waktu Δt (cm³)

D = diameter dalam cincin uji (cm)

t = waktu (jam)

Model infiltrasi yang akan dipergunakan adalah metode Horton:

$$f = f_c + (f_0 - f_c) \cdot e^{-kt} \quad (2)$$

Keterangan :

f = laju infiltrasi (cm/jam)jam

f_c = laju infiltrasi konstant (cm/jam)

k = konstanta

t = waktu (jam)

Kapasitas infiltrasi dan jumlah total air terinfiltrasi merupakan parameter penting pada perkerasan berpori. Pratt et al. (1989) mendapatkan hasil penelitian bahwa tingkat aliran puncak perkerasan berpori adalah 5 hingga 10 menit jika dibandingkan tingkat aliran perkerasan konvensional, yaitu 2 hingga 3 menit [3]. Hasil penelitian terhadap kuantitas air pada area perkiraan di Nottingham yang dilakukan oleh Bond et al. (1999) menunjukkan bahwa terjadi penurunan kuantitas air yang dialirkan. Pada penelitian tersebut dipakai dua macam agregat untuk sub base, yaitu blast furnace slag dan granite. Jumlah air yang dialirkan secara keseluruhan berkurang masing-masing 34% dan 47%. Hal itu terjadi karena air tertampung pada sub base. Tingkat outflow (pengaliran keluar) rendah, sehingga waktu untuk mengalirkan menjadi lebih lama [3].

Newton et al. (2003) mengamati reduksi volume limpasan permukaan melalui perkerasan berpori. Hasil penelitian menunjukkan bahwa keseluruhan perkerasan porous dapat mengurangi volume limpasan permukaan mulai dari 30% hingga 60%. Berdasarkan penelitian tersebut juga diketahui bahwa pada system perkerasan kombinasi antara yang berpori dan tidak, maka volume reduksi sangat tergantung pada perbandingan area perkerasan yang tidak porous dan perkerasan konvensional.

Nichols et al.(2014) melakukan penelitian mengenai perbandingan dua metode dalam menentukan laju infiltrasi pada perkerasan beton berpori yaitu dengan pengukuran menggunakan alat Double Ring Infiltrometer modifikasi dan model desain simulator hujan. Pengukuran menggunakan alat Double Ring Infiltrometer modifikasi didapatkan hasil laju infiltrasi permukaan 60% lebih besar daripada hasil pengukuran menggunakan model simulator hujan. Pengukuran menggunakan model simulator memerlukan lebih sedikit pengukuran pada area yang luas dengan tetap menjaga akurasi dan meningkatkan efisiensi [4].

Dede, dkk (2006) melakukan kajian pada tanah Oxisol yang ditempati oleh lima macam penggunaan lahan. Hasil kajian menunjukkan

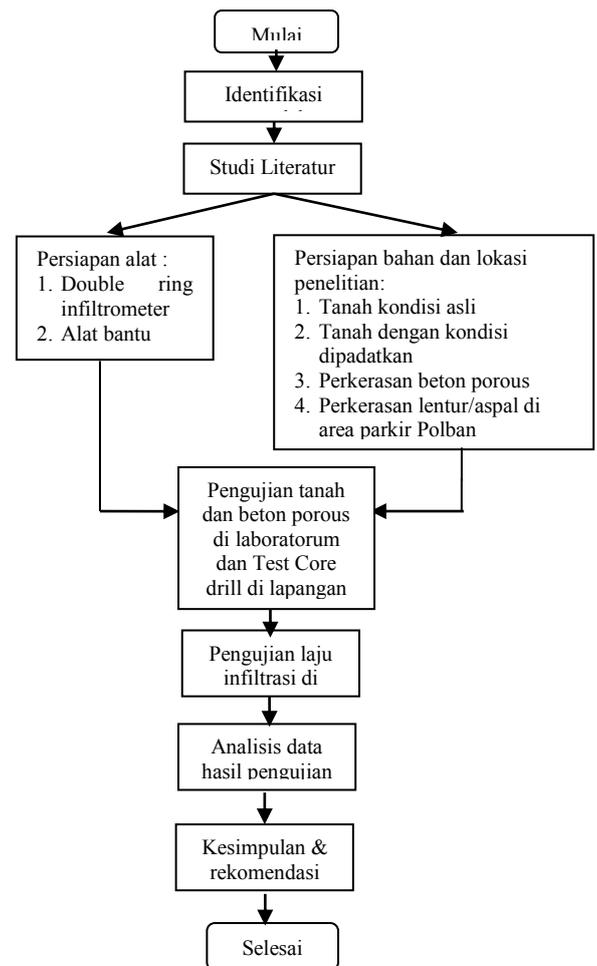
bahwa terdapat tiga parameter fisik tanah yang mempunyai efek signifikan terhadap permeabilitas tanah (K), yaitu kelembaban tanah (2%), kandungan pori drainase cepat (0%), dan kandungan pori drainase lambat (0%). Ketiga parameter ini mempengaruhi nilai K sekitar 67.7% dengan nilai koefisien korelasi 0.831. Hubungan antara kelembaban tanah (2) dengan nilai pF mengikuti hubungan polinomial derajat 3 dengan nilai korelasi sama dengan 1. Secara teknis upaya perbaikan struktur tanah, drainase tanah, dan perbaikan penutupan lahan oleh vegetasi diprediksi mampu memperbaiki permeabilitas tanah, suction head, dan beda kelembaban tanah untuk meningkatkan laju infiltrasi.

Gregory, et all. (2006) melakukan penelitian mengenai pengaruh pemadatan tanah di perkotaan terhadap laju infiltrasi. Pengaruh pemadatan terhadap laju infiltrasi pada jenis tanah berpasir di North Central Florida diukur dengan menggunakan alat double ring infiltrometer dengan berbagai variasi pemadatan. Laju infiltrasi rata-rata pada tanah yang tidak dipadatkan yaitu antara 377 to 634 mm hr⁻¹ (14.8 to 25.0 in hr⁻¹) untuk hutan alami, antara 637 to 652 mm hr⁻¹ (25.1 to 25.7 in hr⁻¹) untuk hutan yang ditanami, dan 225 mm hr⁻¹ (8.9 in hr⁻¹) area padang rumput. Sedangkan Laju infiltrasi rata-rata pada tanah yang dipadatkan yaitu antara 8.175 mm hr⁻¹ (0.3-6.9 in hr⁻¹), 160 to 188 mm hr⁻¹ (6.3 to 7.4 in hr⁻¹), and 23 mm hr⁻¹ (0.9 in hr⁻¹) untuk kondisi yang sama. Meskipun terdapat perbedaan yang cukup besar antara dua kondisi tersebut (tanah yang dipadatkan dan tanah yang tidak dipadatkan), proses pelaksanaan pemadatan mengurangi laju infiltrasi antara 70 sampai dengan 99% [5].

3. METODE PENELITIAN

Secara garis besar metodologi penelitian yang akan dilaksanakan yaitu seperti pada Gambar 2. Pada tahapan persiapan ada beberapa hal yang dilakukan yaitu mulai dari melakukan identifikasi masalah, melakukan kajian pustaka, dan mempersiapkan alat dan bahan untuk pengujian infiltrasi. Alat yang digunakan dalam penelitian ini yaitu alat double ring infiltrometer (Gambar 3) dengan bagian-bagian alat sebagai berikut:

1. 12" stainless steel ring
2. 24" stainless steel ring
3. 3000 cc mariotte tube with base
4. 10000 cc mariotte tube with base
5. Brass fitting with ¼ NPFT and 3/8" ID tube connection. Brass barb tee for water source connection
6. 30 ft xx 3/8" tubing
7. Aluminium cover/drive plate
8. Splash pads (6" square neopren material)



Gambar 2. Tahapan Penelitian



Gambar 3. Double Ring Infiltrometer

Metode uji mengacu ke ASTM D 3385-9403 (Standard Test Method for Infiltration Rate of Soil in Field Using Double Ring Infiltrometer). Selain itu juga perlu disiapkan alat bantu seperti alat ukur, palu karet, dan alat bantu lainnya.

Lokasi penelitian dilakukan di lingkungan Politeknik Negeri Bandung, begitu juga dengan bahan yang digunakan menggunakan bahan yang tersedia di lingkungan kampus Politeknik Negeri Bandung (Polban) dan bahan yang ada di pasaran.

Berikut tahapan pengujian yang akan dilakukan untuk masing-masing jenis bahan.

- a. Pengujian infiltrasi tanah asli:
Tanah asli yang dimaksud adalah tanah yang sesuai dengan kondisi yang ada di lapangan dan tidak mendapatkan perlakuan apapun dan dalam kondisi undisturbed. Sebelumnya tanah tersebut dibersihkan dari rumput maupun tanaman yang menutupinya.
- b. Pengujian infiltrasi tanah yang dipadatkan
Tanah yang akan diuji infiltrasinya terlebih dahulu dipadatkan dengan menggunakan alat stamper dan kemudian dilakukan pengujian nilai CBR lapangan untuk mengetahui kepadatan dari tanah tersebut.
- c. Pengujian infiltrasi pada perkerasan lentur (aspal) di area parkir Politeknik Negeri Bandung. Untuk mengetahui laju infiltrasi pada perkerasan lentur dilakukan pengujian langsung di area parkir lingkungan Politeknik Negeri Bandung. Jenis sample dibatasi sesuai dengan kondisi riil dilapangan. Untuk mengetahui tebal lapis perkerasan dilakukan pengambilan sampel core drill.
- d. Pengujian infiltrasi Perkerasan beton porous
Beton berpori adalah suatu elemen bahan bangunan yang dibuat dari campuran agregat kasar, semen, air, dan sedikit agregat halus dengan atau tanpa bahan tambah lainnya yang tidak mengurangi mutu beton tersebut, campuran ini menciptakan suatu sel terbuka struktur, membiarkan air hujan untuk menembus mendasari lahan. Beton porous yang akan diuji terlebih dahulu dirancang dengan dimensi model 1m² dengan ketebalan 10 cm dan dibuat sesuai dengan standar yang berlaku untuk lahan parkir dengan pemadatan tanah melalui uji sand cone.

4. HASIL DAN PEMBAHASAN

Pengujian infiltrasi dilakukan langsung dilapangan atau dengan membuat model sesuai kondisi lapangan. Metode pengujian infiltrasi dengan alat double ring infiltrometer sesuai dengan ASTM D 3385-9403 (*Standard Test Method for Infiltration Rate of Soil in Field Using Double Ring Infiltrometer*). Lokasi pengujian seperti pada Gambar 4 dibawah ini :



Gambar 4. Lokasi penelitian

Sebelum dilakukan pengujian infiltrasi di lapangan, dilakukan pengambilan sampel tanah di lapangan / lokasi yang akan dilakukan pengujian infiltrasi dan selanjutnya dilakukan pengujian di laboratorium Uji Tanah Teknik Sipil Polban. Pengujian tanah di Laboratorium Tanah meliputi indeks properties (specific of gravity /berat jenis tanah, atterberg limit/indeks plastis tanah, grain size/jenis tanah) dan technical properties yaitu : compaction : nilai kepadatan tanah (γ_d), CBR/California Bearing Ratio : nilai CBR/daya dukung tanah , sand cone test : nilai berat isi kering (γ_d) dilapangan & memeriksa derajat kepadatan tanah /Dr). Pengujian tanah tersebut secara umum dimaksudkan untuk mengetahui jenis tanah, tingkat kejenuhan tanah, dan tingkat kepadatan tanah yang berpengaruh terhadap laju infiltrasi. Dari hasil pengujian tanah diperoleh kesimpulan jenis tanah yang diuji termasuk kedalam jenis tanah lanau kepasiran mengandung lempung.

Berikut adalah hasil pengujian tanah pada Tabel 1 dibawah ini :

Tabel 1. Hasil pengujian tanah di lokasi lingkungan kampus Polban

No.	Keterangan	Jenis/Nilai	Satuan
1	Berat isi kering (γ_d)	1.454	gram/cm ³
2	a. Nilai CBR unsoaked	23	%
	b. Nilai CBR soaked	18	%
3	Kepadatan tanah (D_r)	96.44	%

Berdasarkan hasil pengujian tanah di atas kondisi tanah di lokasi lingkungan kampus Polban tersebut termasuk jenis tanah yang padat dan memiliki daya dukung tanah yang baik.

Kuat tekan untuk tutupan lahan struktur beton porous adalah 13.7 MPa (139.5 kg/cm²) memenuhi standar lapis permukaan untuk lahan parkir setara dengan kuat tekan paving mutu C > 12.5 MPa.

Jenis tutupan lahan perkerasan lentur (aspal) di area parkir Politeknik Negeri Bandung, berdasarkan hasil pengujian Core Drill, ketebalan aspal rata-rata adalah 21.81 mm, tidak memenuhi syarat tebal aspal untuk lahan parkir yaitu 25 – 30 mm.

Pengujian infiltrasi di lapangan untuk jenis tutupan lahan tanah asli, dapat dilihat pada Gambar 5. Berdasarkan hasil pengujian infiltrasi dengan menggunakan alat infiltrometer diperoleh hasil laju infiltrasi awal terbesar terjadi pada kondisi tutupan lahan tanah asli yaitu sebesar 0.293 cm/jam dan yang paling kecil yaitu untuk tutupan lahan untuk tanah yang dipadatkan yaitu sebesar

0.044 cm/jam. Besaran laju infiltrasi awal untuk berbagai jenis tutupan lahan seperti pada Gambar 6.



Gambar 5. Pengujian Infiltrasi di Lapangan



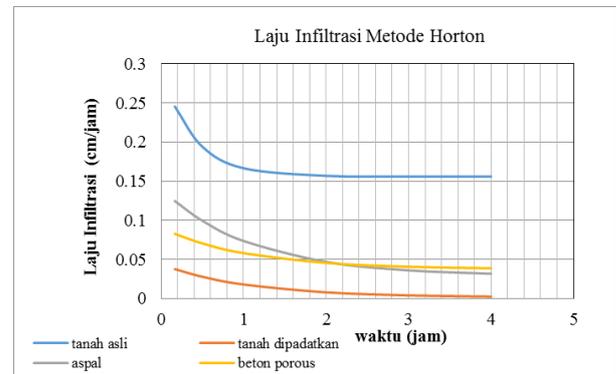
Gambar 6. Perbandingan Laju Infiltrasi Awal untuk Berbagai Jenis Tutupan Lahan

Nilai laju infiltrasi awal secara berurutan dari besar ke kecil yaitu: Tanah asli, aspal, beton porous, dan tanah yang dipadatkan. Sedangkan nilai laju infiltrasi untuk berbagai jenis tutupan lahan (setelah relative konstan) berdsarkan data lapangan dapat dilihat pada Gambar 7.



Gambar 7. Perbandingan Laju Infiltrasi untuk Berbagai Jenis Tutupan Lahan

Berdasarkan Gambar 7 nilai laju infiltrasi paling besar yaitu untuk tanah asli sebesar 0.156 cm/jam (basic infiltration rate untuk tanah clay sebesar 0.1-0.5 cm/jam). Laju infiltrasi untuk tutupan permukaan sebagai lahan parkir dari beton porous, dan aspal secara berturut-turut yaitu 0.038 cm/jam, dan 0.029 cm/jam. Tanah yang telah dipadatkan dengan kepadatan 96.44% (hasil uji CBR) menurunkan laju infiltrasi menjadi 0.016 cm/jam, berkurang sebesar 85% dari kondisi tanah asli sebelum dipadatkan.



Gambar 8. Perbandingan Laju Infiltrasi Metode Horton untuk Berbagai Jenis Tutupan Lahan

Berdasarkan Metode Horton dapat dilihat pada Gambar 8, memiliki urutan laju infiltrasi dari yang terbesar adalah jenis tanah asli, aspal, beton porous dan tanah dipadatkan. Lebih detail nilai laju infiltrasi metode Horton untuk berbagai jenis tutupan lahan dapat dilihat pada Tabel 2 dibawah ini.

Tabel 2. Laju Infiltrasi, ft (cm/jam) Metode Horton untuk Berbagai Jenis Tutupan Lahan

t (jam)	tanah asli	aspal	beton porous	tanah dipadatkan
0.17	0.245	0.125	0.083	0.038
0.5	0.194	0.100	0.071	0.028
1	0.167	0.074	0.058	0.018
2	0.157	0.047	0.046	0.008
3	0.156	0.036	0.041	0.004
4	0.156	0.032	0.039	0.003

Laju infiltrasi berdasarkan hasil analisa dengan Metode Horton dengan waktu konstan dalam pengukuran 4 jam untuk berbagai jenis tutupan lahan memiliki urutan laju infiltrasi yang sama dengan pengukuran di lapangan dengan urutan dari yang terbesar adalah tanah asli dengan nilai 0.156 cm/jam, dan berikutnya beton porous 0.039 cm/jam, aspal 0.032 cm/jam dan yang terkecil adalah tanah yang dipadatkan dengan nilai laju infiltrasi adalah 0.003 cm/jam.

Pengujian infiltrasi dengan alat infiltrometer dipengaruhi oleh cuaca pada saat pengujian dan cuaca sebelum pengujian yang berpengaruh terhadap kondisi kejenuhan tanah. Laju infiltrasi untuk permukaan lahan dengan beton porous dipengaruhi oleh ketebalan beton dan porositas dari beton itu sendiri, begitu juga halnya untuk perkerasan aspal juga dipengaruhi oleh tebal perkerasan aspal.

Struktur beton porous yang digunakan dalam penelitian ini memiliki kuat tekan yang setara dengan kuat tekan paving mutu C (> 12.5 MPa). Dengan demikian beton porous tersebut dapat digunakan sebagai lapis permukaan untuk lapangan parkir. Berdasarkan besar laju infiltrasinya, struktur untuk lapis permukaan lahan parkir yang memiliki laju infiltrasi terbesar berturut turut yaitu beton porous dan aspal. Semakin besar laju infiltrasi maka kemampuan permukaan untuk meresapkan air lebih besar, dan hal ini dapat mengurangi limpasan air hujan.

5. KESIMPULAN DAN SARAN

Berdasarkan hasil penelitian yang sudah dilakukan dapat disimpulkan beberapa hal sebagai berikut:

1. Berbagai jenis tutupan lahan memiliki kemampuan dalam meresapkan air yang berbeda tergantung karakteristik & ruang pori tanah.
2. Kemampuan tutupan lahan dalam meresapkan air tergantung kadar air pada saat kondisi awal sehingga nilai laju infiltrasi awal lebih besar dan akan mencapai nilai konstan pada waktu

tertentu karena tanah sudah mencapai titik jenuh dalam waktu 4 (empat) jam.

3. Dari hasil pengukuran laju infiltrasi untuk berbagai jenis tutupan lahan dengan alat infiltrometer diperoleh hasil sebagai berikut (berurutan dari nilai laju infiltrasi yang terbesar):
 - a. Laju infiltrasi tanah asli yaitu sebesar 0.156 cm/jam, sesuai dengan basic infiltration rate untuk tanah clay sebesar 0.1-0.5 cm/jam.
 - b. Laju infiltrasi beton porous sebesar 0.038 cm/jam
 - c. Laju infiltrasi aspal sebesar 0.029 cm/jam
 - d. Laju infiltrasi tanah dipadatkan sebesar 0.016 cm/jam
4. Berdasarkan metode Horton nilai laju infiltrasi untuk berbagai jenis tutupan lahan memiliki karakteristik yang sama dimana nilai laju infiltrasi awal besar dan semakin kecil lalu mencapai nilai konstan pada waktu 4 (empat) jam, dengan hasil sesuai Tabel 2.
5. Nilai Laju infiltrasi yang diperoleh dalam penelitian ini berlaku untuk lokasi di lingkungan kampus Politeknik Negeri Bandung dengan kondisi tanah jenis lanau kepasiran mengandung lempung dan memiliki kriteria hasil pengujian tanah yang telah dilakukan sesuai hasil pada Tabel 1 di atas.
6. Nilai laju infiltrasi tersebut dapat dijadikan acuan untuk menentukan jenis tutupan lahan ramah lingkungan terutama yang dapat mengurangi limpasan air hujan.

UCAPAN TERIMA KASIH

Terimakasih kami ucapkan kepada Politeknik Negeri Bandung khususnya kepada Unit Penelitian & Pengabdian Masyarakat yang telah memberikan kesempatan kepada kami untuk mengembangkan keilmuan kami khususnya dalam bidang teknik sumberdaya air, semoga tulisan ini dapat bermanfaat dalam upaya meminimalisir limpasan dan konservasi air hujan.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] Harto, Sri Br. (2000), Hidrologi, Teori-Masalah-Penyelesaian, Nafiri Offset, Yogyakarta
- [2] Triatmodjo, Bambang (2006). Hidrologi Terapan. Yogyakarta: Beta Offset.
- [3] Bond P.C., Pratt C.J. and Newman A.P., 1999. A review of stormwater quantity and quality performance of permeable pavements in the UK. Proc. 8th International Conference on Urban Storm Drainage, Sydney, Australia, pp.248-255

[4] Peter W.B.Nichols 1,* , Terry Lucke 1 and Carsten Dierkes 2, Comparing Two Methods of Determining Infiltration Rates of Permeable Interlocking Concrete Pavers, *Water* 2014, 6, 2353-2366; doi:10.3390/w6082353 water ISSN 2073-4441 www.mdpi.com/journal/water

[5] J.H. Gregory, M.D. Dukes, P.H. Jones, and G.L. Miller, Effect of urban soil compaction

on infiltration rate, *Journal of Soil and Water Conservation* May/June 2006vol. 61 no. 3 117-124

[6] ASTM D 3385 “Test Method for Infiltration Rate of Soils in Field Using Double-Ring Infiltrometer”