

PENGARUH INTENSITAS CURAH HUJAN TERHADAP TINGKAT INFILTRASI
PADA *ECO-CONCRETE PAVING BLOCK*

Jeanely Rangkang¹⁾, Lawalenna Samang²⁾, Sakti Adji Adisasmita³⁾, Muralia Hustim⁴⁾

^{1,2,3,4)} Teknik Sipil, Universitas Hasanuddin

¹⁾jeanelyr@yahoo.com, ²⁾samang_1@yahoo.com, ³⁾adjiadisasmita@yahoo.com,

⁴⁾muraliahustim@yahoo.com

ABSTRACT

Eco-concrete paving blocks are concrete blocks that are specially designed for road pavement, which is applied as a permeable pavement surface layer. The gaps between paving are made water penetrable, which is filled with jointing sand, intended to reduce runoff to minimize the ability of stormwater runoff to transport pollutant substances from the catchment surface that can hazard the downstream area, to improve water quality in water bodies. Thus, eco-concrete paving blocks are paving blocks used as permeable pavement surface layer, whose applied by utilizing environmentally friendly technology. The research problem is how the effect of rainfall intensity on infiltration capacity of the eco-concrete paving block? and its interaction with paving's geometry/shape, and pavement slope. Meanwhile, the objective of the study is to evaluate the effect of rainfall intensity on infiltration capacity of an eco-concrete paving block, in consideration with the following variables: paving's geometry, rainfall intensity, and pavement slopes. The research was conducted at the laboratory, by developing test apparatus: infiltration test box is 1m²; a modified rainfall simulator to get rainfall intensities of 75mm/h, 175mm/h, and 275mm/hr. The result shows, pavement infiltration rate is strongly influenced by rainfall intensity and paving shapes at high rainfall intensity; no runoff at all paving shapes tested at low rainfall intensity.

ABSTRAK

Eco-concrete paving block adalah bata beton yang dirancang khusus untuk perkerasan jalan, yang diaplikasikan sebagai lapis permukaan perkerasan permeable. Gap/siar antar paving dibuat tembus air, dan diisi dengan pasir. Hal ini dimaksudkan untuk mereduksi limpasan aliran permukaan (*runoff*) guna meminimalkan kemampuan limpasan aliran permukaan mengangkut zat polutan dari permukaan tangkapan yang dapat membahayakan daerah hilir, untuk meningkatkan kualitas air di badan air. Jadi, *eco-concrete paving block* adalah *paving block* beton yang digunakan untuk lapis permukaan perkerasan permeabel, yang penerapannya memanfaatkan teknologi ramah lingkungan. Permasalahan penelitian adalah bagaimana pengaruh intensitas curah hujan terhadap kapasitas infiltrasi *eco-concrete paving block*? dan interaksinya dengan geometri/bentuk paving, dan kemiringan perkerasan. Sementara itu, tujuan penelitian adalah untuk mengevaluasi pengaruh intensitas curah hujan terhadap kapasitas infiltrasi dari *eco-concrete paving block*, dengan mempertimbangkan variabel-variabel berikut: bentuk paving, intensitas curah hujan, dan sudut kemiringan perkerasan. Penelitian dilaksanakan di laboratorium, dengan mengembangkan perangkat uji: box uji infiltrasi berukuran 1m²; *modified rainfall simulator* untuk mendapatkan intensitas curah hujan 75mm/jam, 175mm/jam dan 275mm/jam. Hasil penelitian menunjukkan bahwa kapasitas infiltrasi dari perkerasan sangat dipengaruhi oleh intensitas curah hujan dan bentuk paving; pada intensitas curah hujan rendah tidak terjadi *runoff* pada semua bentuk paving yang diuji.

Kata kunci: *eco-concrete paving block*; kapasitas infiltrasi; aliran permukaan

1. PENDAHULUAN

Perubahan tata guna lahan di daerah tangkapan air, akibat dari pengembangan fasilitas perumahan, industri dan perkotaan, telah mengganggu rantai siklus hidrologi, menyebabkan penurunan infiltrasi air hujan ke tanah, dan meningkatkan limpasan permukaan (H. Arfan, et.al, 2012). Selanjutnya, meningkatnya urbanisasi menyebabkan ruang terbuka hijau di perkotaan berubah menjadi area perumahan serta infrastruktur penunjang lainnya. Hal ini menyebabkan berkurangnya area resapan yang mengakibatkan meningkatnya limpasan aliran permukaan (*runoff*) di daerah perkotaan. Pendekatan konvensional dalam

mungkin ke badan air, seperti: sungai, danau dan laut. Limpasan air hujan yang mengalir di atas permukaan yang tak tembus air, seperti: jalan beraspal, tempat parkir dan atap rumah mengakibatkan menumpuknya bahan angkutan, seperti bahan kimia, sedimen/zat-zat polutan lain, serta puing dan sampah. Jika limpasan tersebut dibuang tanpa terlebih dahulu diolah, maka air limpasan dapat mempengaruhi kualitas air pada badan air (Shackel et.al, 2003).

Dampak limpasan air hujan merupakan masalah yang signifikan di daerah perkotaan, sebab biasanya perkotaan memiliki persentase lahan yang tidak tembus air (*paved area*) yang lebih luas, dibandingkan

dengan lahan yang tembus air (*unpaved area*). Untuk itu salah satu strategi penanggulangan limpasan air permukaan, yakni melalui pengaplikasian perkerasan permeabel (*permeable pavement*), secara khusus pemanfaatan *eco-concrete paving block* sebagai lapis permukaan, guna mereduksi *runoff* (District of Columbia, 2011). *Eco-concrete paving block* adalah bata beton (*paving block*) yang dirancang khusus untuk perkerasan jalan (mutu A menurut SNI 03-0691-1996), yang diaplikasikan sebagai lapis permukaan perkerasan permeable, dimana gap/siar antar paving dibuat tembus air. Hal ini dimaksudkan untuk mereduksi limpasan aliran permukaan guna meminimalkan kemampuan aliran permukaan mengangkut zat polutan dari permukaan tangkapan yang dapat membahayakan daerah hilir, serta guna meningkatkan kualitas air di badan air. Jadi dapat dikatakan bahwa *eco-concrete paving block* adalah paving block beton yang digunakan untuk lapis permukaan perkerasan dengan menerapkan teknologi berwawasan lingkungan.

Permasalahan penelitian adalah bagaimana pengaruh intensitas curah hujan terhadap kapasitas infiltrasi *eco-concrete paving block*? dan interaksinya dengan bentuk paving, serta kemiringan perkerasan. Sedangkan tujuan penelitian adalah untuk mengevaluasi pengaruh intensitas curah hujan terhadap kapasitas infiltrasi dari *eco-concrete paving block*, dengan mempertimbangkan variabel: bentuk paving, intensitas curah hujan, dan sudut kemiringan perkerasan.

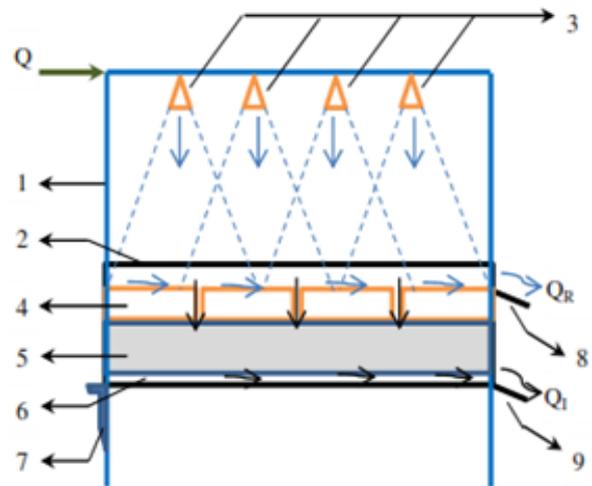
2. TINJAUAN PUSTAKA

Ada beberapa alat yg digunakan untuk menguji tingkat infiltrasi dari perkerasan permeable. Untuk pengujian di lapangan, alat *double-ring infiltrometer* adalah alat yang banyak digunakan oleh peneliti, diantaranya: Rocheta et.al. (2015), Boogaard et.al. (2014), E. Z. Bean (2004) dan lain-lain. Disamping itu Lucke dan Beecham (2013) mengembangkan alat *Experimental Test Rig* dalam skala penuh untuk berbagai sudut kemiringan. Sedangkan alat uji infiltrasi berbentuk tabung (*column infiltration testing apparatus*) untuk pengujian di laboratorium (Ezequiel et.al. 2017), dan *box steel test model* yang dikembangkan oleh Zhang J et.al. (2006). Selain itu, alat uji *The Cantabrian Fixed Infiltrometer* (CFI) yang dikembangkan di *the Universidad de Cantabria* (UC) adalah alat untuk mengukur kapasitas infiltrasi perkerasan permeable di laboratorium. Sañudo-Fontaneda et.al. (2011), Sañudo-Fontaneda et.al. (2013), Castro D. et.al. (2007), Rodriguez-Hernandez et.al. (2012), dan González-Angullo et.al. (2008) adalah para peneliti yang memanfaatkan CFI dalam penelitiannya.

3. METODOLOGI

Alat uji CFI yang dikembangkan di UC, serta *box steel test model* yang dikembangkan oleh Zhang seperti yang dijelaskan di atas, menjadi basis pengembangan model alat uji infiltrasi yang

digunakan pada penelitian ini. Alat yang dikembangkan terdiri atas tiga bagian utama, yaitu: simulator curah hujan, rangka alat uji, dan box uji, seperti pada Gambar 1 berikut.



Sumber: Prototipe yang dikembang peneliti, 2018

Gambar 1. Sketsa Alat Uji Infiltrasi

Keterangan:

- (1) rangka alat uji;
- (2) box uji;
- (3) *sprinkler* yang memproduksi titik-titik hujan;
- (4) *paving blok*;
- (5) lapisan pasir;
- (6) *geotextile*;
- (7) sekrup berulir panjang pengatur kemiringan;
- (8) talang untuk air limpasan (Q_R);
- (9) corong air untuk mengumpulkan air terinfiltrasi (Q_I), dan;
- (Q) *inflow rate* sesuai intensitas yang akan diuji

Gambar 1 menunjukkan sketsa alat uji infiltrasi yang ditandai dengan huruf dan angka yang menjelaskan setiap bagian dimaksud, seperti yang ada pada keterangan di atas. *Inflow rate* (Q) dalam satuan liter/menit, dapat dihitung dengan formula berikut:

$$Q = Q_I + Q_R \dots\dots\dots (1)$$

dimana: Q_I (l/min) adalah air terinfiltrasi dan;
 Q_R (l/min) adalah air limpasan permukaan.

3.1. Simulator curah hujan

Bagian penting dari peralatan yang dikembangkan adalah simulator curah hujan. Simulator curah hujan ditempatkan di atas rangka alat uji, tepat di atas bidang uji. Simulator curah hujan dirancang untuk menghasilkan titik-titik air hujan melalui pipa sederhana yang dilengkai dengan *sprinkler*, yang diposisikan langsung di atas area bidang uji. Simulator curah hujan terhubung ke pompa air yang dilengkapi katup untuk menyesuaikan laju aliran untuk mendapatkan intensitas tertentu. Intensitas yang diambil untuk penelitian ini adalah 75 mm/jam, 175 mm/jam, dan 275 mm/jam. Lima menit

adalah interval waktu yang ditentukan untuk mengumpulkan/ menghitung volume air terinfiltrasi dan volume air limpasan, sampai laju aliran infiltrasi konstan.

3.2. Rangka alat uji

Rangka alat uji berfungsi untuk menyokong box uji dimana lapisan perkerasan ditempatkan. Rangka tersebut memiliki empat kaki dan terbuat dari baja. Kemiringan bidang uji diatur melalui dua sekrup berulir panjang yang ditempatkan pada satu sisi dari rangka alat uji, guna menyesuaikan kemiringan box uji untuk berbagai kemiringan yang diinginkan. Kemiringan bidang uji dalam penelitian ini diambil 0%, 2%, dan 4%.

3.3. Box Uji

Box uji dilengkapi dengan corong saluran air untuk mengumpulkan air terinfiltrasi, dan talang selebar 50 mm untuk mengumpulkan air limpasan. Keduanya ditempatkan pada sisi yang berlawanan dari posisi sekrup untuk mengatur kemiringan. Diasumsikan bahwa air hujan merembes melalui lapisan perkerasan ke bagian bawahnya, dan kemudian mengalir ke corong air terinfiltrasi yang ditempatkan tepat di bawah talang air limpasan.

3.4. Material perkerasan yang digunakan

Sampel perkerasan permeabel yang dianalisa terdiri atas *eco-concrete paving block*, lapisan pasir, dan *geotextile*, yang ditandai dengan nomor 4, 5, dan 6 pada Gambar 1.

Eco-concrete paving block yang diuji pada penelitian ini adalah tipe tiga berlian, tipe S dan tipe kotak. Tabel 1 menunjukkan dimensi dari masing-masing tipe.

Tabel 1. Dimensi Paving Block

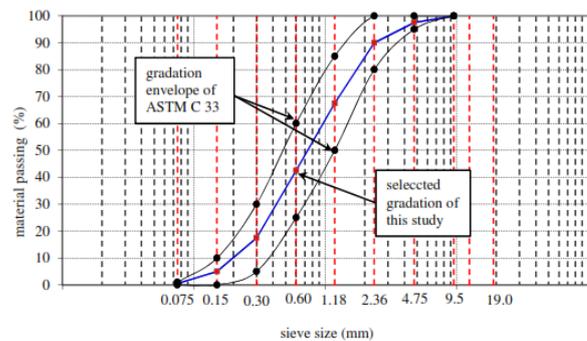
Tipe paving	Tiga berlian	S	Kotak
			
Panjang (mm)	-	220	210
Lebar (mm)	-	105	105
Tinggi (mm)	80	80	80
Luas permukaan (A) (mm ²)	28,059	23,100	22,050
Luas permukaan keliling (S) (mm ²)	57,600	52,000	50,400

Sumber: Hasil analisa, 2018

Paving block yang diuji diproduksi oleh UD. Super Star Manado, Sulawesi Utara. Paving ditempatkan di atas lapisan pasir (*bedding layer*), dimana celah antara paving adalah 5 mm. Celah antar paving diisi dengan pasir bergradasi yang distribusi ukuran butirnya sama dengan gradasi pasir yang digunakan untuk *bedding layer*. Perlakuan ini didasarkan pada studi

laboratorium yang dilakukan oleh peneliti lain tentang pemanfaatan pasir bergradasi halus dan kasar sebagai *jointing sand* (pasir pengisi celah). Studi tersebut menyimpulkan bahwa semakin kasar gradasi dari *jointing sand*, maka kinerja perkerasan akan menjadi lebih baik. Namun, ukuran maksimum pasir harus lebih kecil dari lebar celah (Abolfazl Hassani dan Mohammad, 2008). Spesifikasi *jointing sand* akan dijelaskan pada material *bedding layer*. Selanjutnya, permeabilitas paving merupakan faktor lain yang harus diperhatikan dalam perencanaan perkerasan permeable. Namun beberapa peneliti menyimpulkan bahwa permeabilitas paving sangat rendah, dimana porositas kapiler beton menentukan tingkat permeabilitas dari blok beton. Dalam penelitian mereka, permeabilitas beton diambil sebagai nilai konstan sebesar 1 x 10⁻⁴ m/detik. Jadi disimpulkan bahwa permeabilitas paving block tidak berpengaruh pada permeabilitas permukaan perkerasan (Abolfazl Hassani dan Mohammad, 2008). Uraian di atas yang mendasari sehingga pada penelitian ini, permeabilitas paving block tidak diperhitungkan.

Tebal lapisan pasir (*bedding layer*) pada penelitian ini diambil 100 mm, yang dipadatkan dan diratakan secara manual. *Bedding layer* diletakkan di atas *geotextile*, dengan gradasi menurut ASTM C 33 (*Interlocking Concrete Pavement Institute*, 2015). Material tersebut diambil dari quarry yang berlokasi Manado di Sulawesi Utara. Gambar 2 menunjukkan gradasi bedding layer. Garis biru dengan titik merah berbentuk bujur sangkar pada Gambar 2, adalah kurva gradasi dari material bedding yang dipilih untuk penelitian ini. Sedangkan dua garis hitam dengan titik bulat hitam keduanya merupakan amplop gradasi spesifikasi ASTM C 33.



Sumber: Hasil analisa, 2018

Gambar 2. Curva Gradasi Bedding Layer

Tabel 2 memperlihatkan sifat fisis dari material *bedding* yang diperoleh melalui penyelidikan laboratorium.

Tabel 2. Sifat fisis dari material bedding layer

Properties material bedding	value
Berat isi kering max. γ_d (gr/cm ³)	1.47
Berat jenis, Gs	2.655

Berat isi air, γ_w (gr/cm ³)	1.00
Angka pori, e	0.806
Porositas, n (%)	44.6
Koefisien rembesan, k (mm/detik)	4.325x 10 ⁻¹

Sumber: Hasil analisa, 2018

Geotextile memiliki peran penting dalam struktur perkerasan. Ada enam prinsip penerapan *geosynthetics* dalam teknik sipil (Pratt, 2013), yaitu: mencegah erosi; perangkap sedimen; lapisan pemisahan; mencegah defleksi; mencegah terjadinya perubahan bentuk; dan perangkap polutan/mendukung bio-remediasi.

Geotextile yang dipilih dalam penelitian ini adalah polypropylene dengan spesifikasi teknis: berat 350 g/m² dan permeabilitas 117,9 l/m²s. Namun, fungsi geotextile dalam penelitian ini hanya sebagai filter untuk melindungi material bedding tidak terbawa oleh air. Geotextile ditempatkan di dasar box uji infiltrasi.

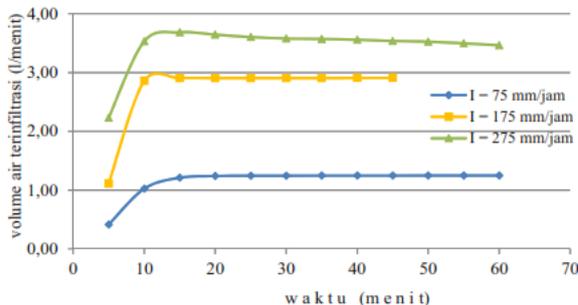
4. HASIL DAN PEMBAHASAN

Beberapa batasan yang diterapkan pada penelitian ini adalah:

- Lapisan perkerasan adalah baru dibangun, jadi tidak terjadi *clogging* (tersumbatnya celah antara paving oleh material endapan).
- Air tidak merembes melalui paving, tapi melalui celah antar paving.
- Tidak menerapkan simulator limpasan.
- Pengujian dihentikan ketika laju aliran konstan.

Berdasarkan hasil uji laboratorium dari tiga tipe paving block, dengan variabel intensitas curah hujan dan kemiringan permukaan perkerasan yang ditentukan, maka diperoleh pola infiltrasi dari masing-masing bentuk paving, hubungan antara kapasitas infiltrasi dengan bentuk paving, dan hubungan antara kapasitas infiltrasi dengan intensitas curah hujan.

Gambar 3 memperlihatkan pola pengaliran air terinfiltrasi dari tipe tiga berlian pada intensitas curah hujan 75 mm/jam, 175 mm/jam, dan 275 mm/jam.



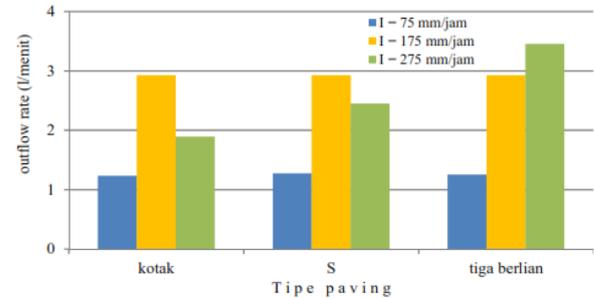
Sumber: Hasil analisa, 2018

Gambar 3. Pola pengaliran tipe tiga berlian pada berbagai intensitas curah hujan

Gambar 3 menunjukkan bahwa pada intensitas curah hujan rendah (I = 75 mm/jam dan 175 mm/jam),

maka inflow rate sama dengan *outflow rate* (volume air terinfiltrasi). Namun pada intensitas curah hujan tinggi yakni pada I = 275 mm/jam, inflow rate > outflow rate, sebab pada kondisi ini sudah terjadi runoff. Fenomena ini terjadi pada semua tipe paving yang diuji.

Selanjutnya hubungan antara outflow rate dengan tipe paving ditunjukkan pada Gambar 4 berikut.

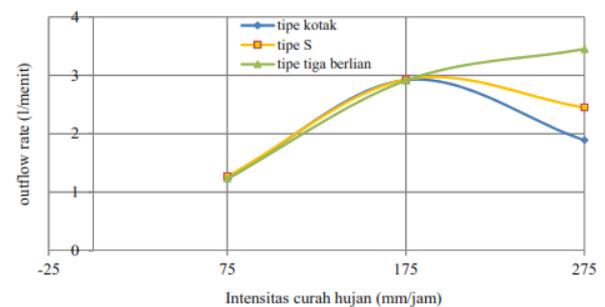


Sumber: Hasil analisa, 2018

Gambar 4. Hubungan antara outflow rate dengan tipe paving

Dari Gambar 4 terlihat bahwa kapasitas infiltrasi sangat dipengaruhi oleh bentuk paving, secara khusus pada intensitas curah hujan tinggi, yakni pada I = 275 mm/jam. Tipe tiga berlian memberikan volume air terinfiltrasi yang paling tinggi yakni 3,45 l/menit, diikuti oleh tipe S sebesar 2,45 l/menit, dan tipe kotak sebesar 1,89 l/menit. Hal ini dikarenakan tipe tiga berlian mempunyai nilai luas keliling permukaan (S) yang lebih besar dibandingkan kedua tipe lainnya (lihat Tabel 1). Sedangkan pada intensitas curah hujan rendah, yakni 75 mm/jam dan 175 mm/jam, *outflow rate* cenderung sama. Hal ini dikarenakan tidak terjadi *runoff*, sehingga *inflow rate* = *outflow rate*.

Lebih lanjut, hubungan antara outflow rate dengan intensitas curah hujan ditunjukkan pada Gambar 5.



Sumber: Hasil analisa, 2018

Gambar 5. Hubungan antara outflow rate dengan intensitas curah hujan.

Gambar 5 memperlihatkan bahwa outflow rate adalah fungsi dari intensitas curah hujan, dimana semakin tinggi intensitas, maka outflow rate akan semakin besar. Namun fenomena ini hanya terjadi

pada intensitas curah hujan rendah. Pada intensitas curah hujan tinggi, maka outflow rate/kapasitas infiltrasi sangat dipengaruhi oleh tipe/bentuk paving (nilai S pada Tabel 1).

5. PENUTUP

5.1. Kesimpulan

Dari hasil pengujian terhadap tiga tipe paving block dan hubungannya dengan intensitas curah hujan, maka dapat disimpulkan beberapa hal, yakni:

- Kapasitas infiltrasi dari perkerasan sangat dipengaruhi oleh intensitas curah hujan
- Bentuk paving dalam hal ini luas keliling permukaan (S) sangat mempengaruhi kapasitas infiltrasi pada intensitas curah hujan tinggi
- Pada intensitas curah hujan rendah terjadi runoff pada semua bentuk paving yang diuji, sehingga pola pengaliran air terinfiltrasi pada semua bentuk paving adalah hampir sama.

DAFTAR PUSTAKA

- Abolfazl Hassani and S. Mohammad, (2008). Seepage Analysis of Interlocking Concrete Block Pavements. *Road Material and Pavement Design*. Vol. 9 – No. 2, p 311-321.
- Boogaard Floris, Terry Lucke, Nick van de Giesen and Frans van de Ven, (2014). Evaluating the Infiltration Performance of Eight Dutch Permeable Pavements Using a New Full-Scale Infiltration Testing Method *Water Journal*. 6, 2070-2083.
- Castro D., González-Angullo N., Rodríguez J. and Calzada M. A., (2007). The Influence of Paving-block Shape on The Infiltration Capacity of Permeable Paving. *Land Contamination and Reclamation*, 15 (3). EPP Publications Ltd.
- E. Z. Bean, W. F. Hunt, D. A. Bidelspach and Robert J. Burak, (2004). Study on The Surface Infiltration Rate of Permeable Pavement. *The 1st Water and Environment Specialty Conference of The Canadian Society for Civil Engineering*, Saskatoon, Saskatchewan, Canada June 2-5, 2004
- District of Columbia, (2011). Draft Stormwater Management Guidebook. Columbia The United State.
- Ezequiel Q. Segismundo, Lee-Hyung Kim, Sang-Man Jeong, and Byung-Sik Lee, (2017). A Laboratory Study on the Filtration and Clogging of the Sand-Bottom Ash Mixture for Stormwater Infiltration Filter Media *Water Journal*. 9, 32.
- González-Angullo N., Castro-Fresno D., Rodríguez J., and Davies J. W., (2008). Runoff Infiltration to Permeable Paving in Clogged Conditions. *Urban Water Journal* 5 (2), p. 117-124.
- H. Arfan, M. S. Pallu, L. Samang, and Imran (2012). Percolation Characteristics with Variations of Rainfall Intensity, Soil Density and Soil Gradation Test. *International Journal of Basic & Applied Sciences IJBAS-IJENS* 12 (3). p. 78 – 85.
- Interlocking Concrete Pavement Institute, (2015). ICPI Tech Spec No. 17. Revised January 2015.
- Lucke Terry and Beecham Simon, (2013). An investigation into the differences in infiltration capacity between porous and permeable concrete pavers installed on sloping sub-catchments. *Novatech 2013*.
- Pratt, C. J., (2013). Application of Geosynthetics in Sustainable Drainage Systems. *1st International Geosynthetics Society, UK Chapter 'Geosynthetics: Protecting the Environment'*, Loughborough, 17 June 2003. Thomas Telford.
- Rocheta Vera Lúcia S., Jorge Manuel G. P. Isidoro, and João L. M. P. de Lima, (2015). Infiltration of Portuguese cobblestone pavements – An exploratory assessment using a double-ring infiltrometer. *Urban Water Journal*, Journal homepage: <http://www.tandfonline.com/loi/nurw20>.
- Rodríguez-Hernandez J., Castro-Fresno D., Fernández-Barrera A. H. and Vega-Zamanillo Á., (2012). Characterization of Infiltration Capacity of Permeable Pavements with Porous Asphalt Surface Using Cantabrian Fixed Infiltrometer. *Journal of Hydrologic Engineering* © ASCE / May 2012 p. 597-603.
- Sañudo-Fontaneda L. A., Castro-Fresno D., Rodríguez-Hernandez J., and Borinaga-Treviño R., (2011). Comparison of The Infiltration Capacity of Permeable Surfaces for Rainwater Energy Valorization. *The 12th International Conference on Urban Drainage*, Porto Alegre/Brazil, p 11-16 September 2011
- Sañudo-Fontaneda L. A., Rodríguez-Hernandez J., Vega-Zamanillo A. and Castro-Fresno D., (2013). Laboratory Analysis of The Infiltration Capacity of Interlocking Concrete Block Pavements in Car Parks. *Water Science and Technology* 67.3 ©IWA Publishing.
- Shackel B., Ball J., and Mearing M., (2003). Using Permeable Eco-paving to Achieve improved Water Quality for Urban Pavement. *Proceedings of 7th International Conference on Concrete Block Paving*, 12th -15th Oct 2003, Sun City.
- Zhang J., Jayasuriya N., and Setunge S., (2006). Application of Pervious Pavements – A Laboratory Scale Study. *The 7th Urban Drainage Modelling and the 4th Water Sensitive Urban Design*, Melbourne, Australia, 2nd -7th April 2006, pp 227-234.