

Uji Kinerja *Permeatic* (*Permeabel Plastic*) Pada Saluran Drainase Sebagai Upaya Penerapan Sistem Drainase Berkelanjutan

The Permeatic (Permeable Plastic) Performance Test on Drainage Channels As The Implementation of Sustainable Drainage Systems

Fahmi Fahrudin Hasibuan, Nursetiawan

Program Studi Teknik Sipil, Fakultas Teknik, Universitas Muhammadiyah Yogyakarta

Abstrak. Perubahan fungsi lahan khususnya pada daerah perkotaan berakibat pada berkurangnya daerah resapan air pada wilayah tersebut. Tidak maksimalnya penyerapan air kedalam tanah mengakibatkan kontradiksi antara air berlebih pada saat musim hujan dan kekeringan pada musim kemarau panjang. Konsep drainase konvensional harus mulai ditinggalkan karena sistem kerjanya hanya membuang air secepatnya ke badan air (sungai). Konsep sistem drainase berkelanjutan harus mulai diterapkan karena dengan konsep tersebut air limpasan dapat diresapkan kembali ke dalam tanah untuk mengurangi beban air limpasan yang diterima sungai dan mengisi cadangan air tanah. Tujuan penelitian ini adalah untuk menganalisa pengaruh penggunaan *permeatic* dan kombinasi *permeatic* dengan pipa resapan dalam penerapan sistem drainase berkelanjutan, dengan menguji kinerja penggunaan *permeatic* dan kombinasi *permeatic* dengan pipa resapan pada saluran drainase dalam skala laboratorium. Hasil penelitian ini menunjukkan bahwa penggunaan *permeatic* pada saluran drainase ternyata mampu meningkatkan daya resap air. Variasi jarak pada *permeatic* memiliki pengaruh yang cukup signifikan dalam hal meningkatkan daya resap air. Pada kondisi normal kemampuan daya resap air sebesar 0,111 L/s, sedangkan dengan menggunakan *permeatic* daya resap air dapat meningkat menjadi 0,168 L/s - 0,25 L/s tergantung jarak yang digunakan pada *permeatic*.

Kata-kata kunci: Sistem drainase berkelanjutan, saluran drainase, *permeatic*, limpasan, infiltrasi.

Abstract. Changes in land use, especially in urban areas that affect water reduction in catchment area in the region. The water absorption is not optimal in the soil that affects a contradiction between the excess water during the rainy season and drought in the long dry season. The concept of conventional drainage should be left since the system works only to throw immediate water into water bodies (rivers). The concept of sustainable drainage systems should begin to be applied for the concept of runoff water that can be absorbed back into the ground to reduce the burden of the received stream runoff water and fill the water table. The purpose of this study was to analyze the effect of *permeatic* application and *permeatic* combinations with infiltration pipes in the implementation of sustainable drainage systems, by testing the performance of *permeatic* use and the combination of *permeatic* with infiltration pipes in drainage channels on a laboratory scale. The results of this study indicate that the use of *permeatic* in drainage channels was able to increase water absorption. The variation in the *permeatic* distance has a significant influence in terms of increasing water absorption. In normal conditions, the ability to absorb the water is 0.111 L/s, but while using *permeatic* the water-absorbing power can be increased to 0.168 L/s - 0.25 L/s depending on the distance used in *permeatic*.

Keywords: Sustainable drainage systems, drainage channel, *permeatic*, runoff, infiltration.

1. Pendahuluan

Permasalahan banjir khususnya yang terjadi di daerah perkotaan padat penduduk disebabkan oleh buruknya sistem pengelolaan atau manajemen DAS (Daerah Aliran Sungai). Penyebab banjir seperti pembangunan yang tidak berwawasan lingkungan, tidak adanya pola hidup bersih di masyarakat, tidak adanya

perencanaan dan pemeliharaan sistem drainase yang baik, tidak adanya konsistensi pihak berwenang dalam RTRW (Rencana Tata Ruang Wilayah), tidak adanya upaya konservasi faktor penyeimbang lingkungan air, dan curah hujan yang sangat tinggi (Rahardjo, 2018).

Konsep drainase berkelanjutan atau dalam bahasa asing lebih dikenal dengan *sustainable*

urban drainage system (SUDS) memiliki tujuan utama, yaitu mengelola volume air untuk menghindari banjir di daerah perkotaan (Zhou, 2014). Teknik SUDS paling populer diterapkan saat ini adalah parit filter dan infiltrasi, perkerasan permeabel, penyimpanan air, sengkedan, panenan air, bak penahanan, lahan basah dan kolam (Zhou, 2014). Dierkes dkk. (2015) membagi perangkat SUDS menjadi dua kelompok, yaitu SUDS Teknis dan SUDS Hijau. Salah satu perbedaan utama antara SUDS Hijau dan Teknis adalah beban hidraulik dan polutan per area (volume) dan waktu. Fungsi sistem SUDS akan dipengaruhi oleh perilaku di sekitarnya seperti membuang sampah sembarangan yang dapat menghambat aliran air, sementara perubahan pada vegetasi SUDS dapat memengaruhi fungsi pembersihan air (Everett dkk., 2016)

Permegrid adalah suatu produk yang memiliki prinsip kerja seperti *permeabel paving* atau perkerasan permeabel tetapi terbuat dari daur ulang limbah plastik (Gambar 1). Menurut Chen dkk. (2019) perkerasan permeabel adalah opsi yang dapat mengurangi beberapa dampak negatif terhadap lingkungan karena perkerasan permeabel memiliki kemampuan untuk mengurangi limpasan permukaan dengan memungkinkan air menyusup ke tanah yang mendasarinya. Hoghooghi dkk. (2018) juga menyatakan bahwa *Permeabel pavement* 28% lebih efektif dalam meningkatkan limpasan dangkal bawah permukaan dan infiltrasi daripada *Rain garden*. Sedyowati dkk. (2017) menyatakan bahwa *paving block* atau *permeabel paving* dapat mengurangi kecepatan limpasan permukaan menjadi lebih dari rata-rata 40% dan maksimum 67%. Menurut Thomas dkk. (2015) *Media Filter Drain* (MFD) juga tergolong dalam sistem SUDS yang lebih berfokus pada pengolahan limpasan *Stormwater*. MFD adalah



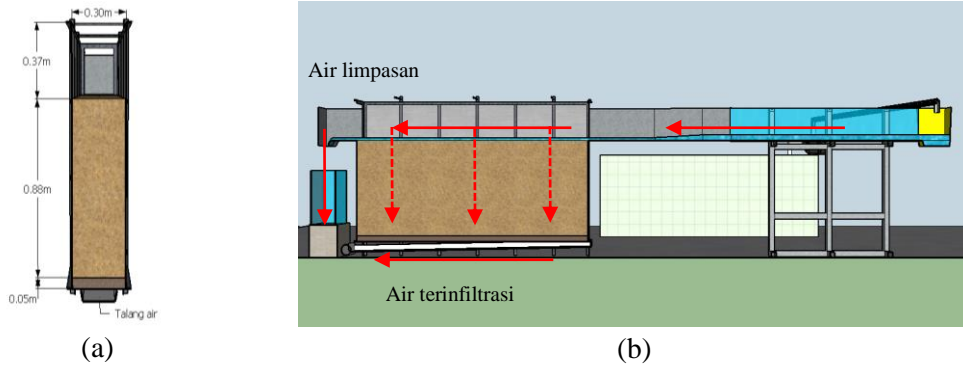
Gambar 1. Bentuk *permegrid* (www.permegrid.co.uk, 2020)

parit yang diisi dengan campuran media yang direkayasa, biasanya dengan hamparan rumput, yang menerima limpasan dari jalan beraspal di sebelahnya. MFD ditunjukkan untuk menghilangkan logam terlarut (seng dan tembaga), polutan khas dari kendaraan dan daerah perkotaan, yang mungkin berdampak negatif pada spesies air di perairan penerima.

Sama halnya dengan *permeabel paving*, *permegrid* atau perkerasan permeabel dan juga MFD, biopori merupakan tergolong dalam sistem SUDS yang cukup populer di Indonesia. Syahrudin dkk. (2019) menyajikan pengaruh penggunaan biopori dengan variasi kedalaman yang berbeda, dimana hasil pengujian permeabilitas tanah menunjukkan bahwa semakin dalam lubang air meresap ke dalam tanah semakin sedikit. Setiawan dan Rohmat (2019) menyatakan ada kecenderungan variasi uji yang hanya biopori masih menunjukkan adanya air yang mengalir atau melimpas. Pada variasi yang hanya rumput (tanpa biopori) tampaknya lebih banyak mengalir dengan persentase yang relatif lebih banyak dibandingkan dengan biopori non-rumput. Jumlah limpasan tampak sangat kecil pada variasi uji yang dilengkapi dengan biopori dan rumput. Hasil pengukuran ini menunjukkan bahwa biopori tanpa rumput tidak cukup efektif untuk mengurangi laju limpasan. Ini bisa terjadi karena air yang masuk ke dalam biopori mengandung sedimen yang dari waktu ke waktu menutupi pori-pori tanah dalam lubang biopori dan kemudian mengurangi kemampuan biopori untuk menyerap air limpasan.

2. Metode Penelitian

Konsep penelitian yang dilakukan dalam Tugas Akhir ini adalah penelitian yang menguji kinerja penggunaan *permeatic* dan kombinasi *permeatic* dengan pipa resapan pada saluran drainase dalam skala laboratorium, dengan skema pengujian menggunakan *flume* uji (Gambar 2). Tujuan dari penelitian ini adalah untuk menganalisa pengaruh penggunaan *permeatic* dan kombinasi *permeatic* dengan pipa resapan dalam penerapan sistem drainase berkelanjutan. *Permeatic* disini merupakan hasil modifikasi dari suatu produk yang bernama *permegrid*. *Permeatic* dan *permegrid* memiliki sistem kerja yang hampir sama, yaitu



Gambar 2. *Flume* uji, (a) potongan melintang, dan (b) skema pengujian

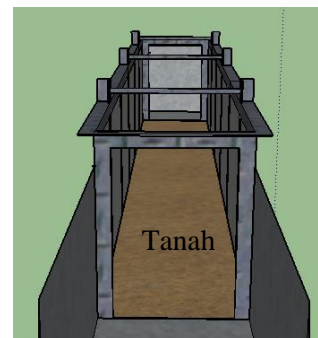
bahan yang bersifat permeable sehingga mampu meresapkan air limpasan permukaan kedalam tanah. Dalam penelitian ini ada beberapa variasi dan skema yang digunakan dalam penerapan sistem drainase berkelanjutan, yaitu *permeatic* dan kombinasi *permeatic* dengan pipa resapan. Ada sepuluh variasi dan tiga skenario pengujian yang akan dilakukan dalam penelitian ini, untuk lebih jelasnya dapat dilihat pada Tabel 1.

Pada Tabel 1. yang dimaksud dengan kondisi tanah tidak jenuh dan jenuh adalah kondisi saat *flume* uji pertama kali teraliri oleh air (kondisi tanah tidak jenuh) dan kondisi setelah teraliri (kondisi tanah jenuh). Sedangkan yang dimaksud dengan kondisi permukaan tanah tertutup dan terbuka adalah saat kondisi permukaan tanah dilapisi oleh plat seng sehingga lapisan permukaan tanah tidak bersentuhan langsung oleh air (kondisi permukaan tanah tertutup) dan saat kondisi permukaan tanah tidak dilapisi oleh plat seng sehingga lapisan permukaan tanah dapat bersentuhan langsung oleh air (kondisi permukaan tanah terbuka).

3. Hasil dan Pembahasan

Hasil Uji S-1

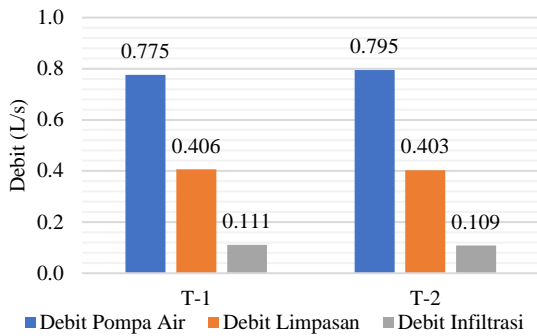
Pengujian ini dilakukan dengan maksud untuk mengetahui besar debit limpasan dan infiltrasi pada kondisi awal yang tidak menggunakan *permeatic* maupun pipa resapan. Kondisi awal terbagi menjadi dua, yaitu kondisi tanah tidak jenuh (T-1) dan kondisi tanah jenuh (T-2) (Gambar 3). Hasil debit limpasan dan infiltrasi untuk yang tidak menggunakan variasi disajikan dalam Gambar 4.



Gambar 3. Kondisi awal pengujian

Tabel 1. Skenario pengujian

No.	Variasi	Kondisi permukaan tanah	Kode Variasi	Kode Skenario
1.	Kondisi tanah tidak jenuh	terbuka	T-1	S-1
2.	Kondisi tanah jenuh	terbuka	T-2	
3.	<i>Permeatic</i> jarak 1 meter	tertutup	P-1	S-2
4.	<i>Permeatic</i> jarak 0,5 meter	tertutup	P-2	
5.	<i>Permeatic</i> jarak 1 meter	terbuka	P-3	
6.	<i>Permeatic</i> jarak 0,5 meter	terbuka	P-4	
7.	<i>Full permeatic</i>	-	P-5	S-3
8.	Kombinasi 1 (Pipa 2,5 inch jarak 0,5 m dengan <i>permeatic</i> jarak 0,5 m)	tertutup	K-1	
9.	Kombinasi 2 (Pipa 2,5 inch jarak 0,5 m dengan <i>full permeatic</i>)	-	K-2	
10.	Kombinasi 3 (Pipa 3 inch jarak 0,5 m dengan <i>full permeatic</i>)	-	K-3	

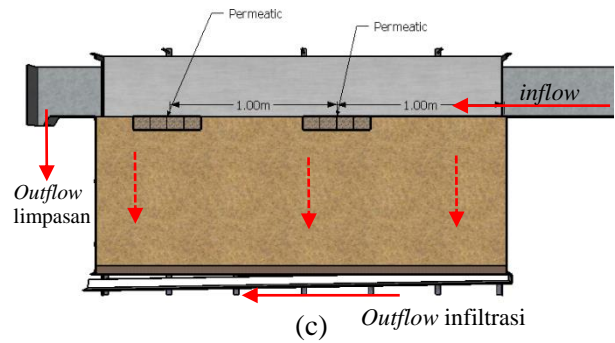
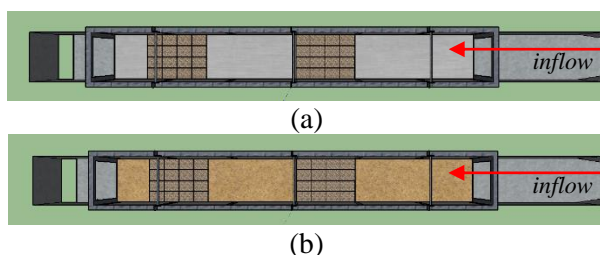


Gambar 4. Perbandingan debit untuk skenario 1 variasi T-1 dan T-2

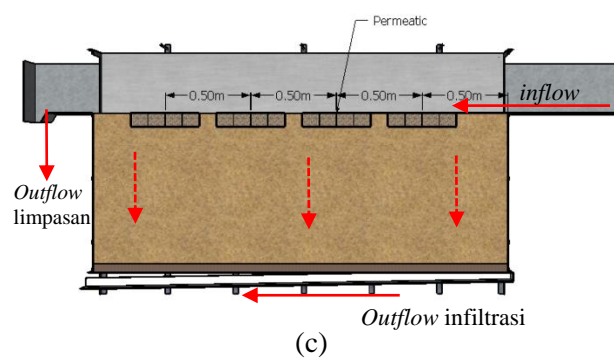
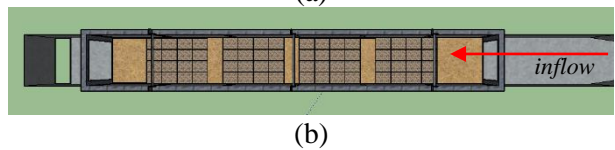
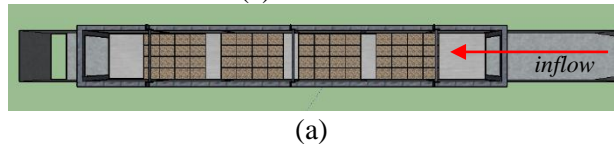
Dari Gambar 4 dapat dilihat bahwa pada kondisi awal, besar nilai debit infiltrasi sebesar 0,111 L/s pada kondisi T-1, dan 0,109 L/s pada kondisi T-2. Pada kondisi T-1 memiliki nilai debit infiltrasi yang lebih besar dibandingkan pada kondisi T-2. Hal ini dikarenakan kapasitas infiltrasi dipengaruhi oleh kadar air tanah. Semakin tinggi kadar air suatu tanah maka kapasitas infiltrasinya berkurang (Triatmodjo, 2008). Walau pun menggunakan pompa air yang sama nilai debit pompa yang dihasilkan berbeda pada kedua kondisi. Hal ini dipengaruhi oleh tegangan listrik yang berubah-ubah, sehingga kinerja yang dihasilkan pompa air tidak sama (Nazaruddin dan Yuliani, 2018).

Hasil Uji S-2

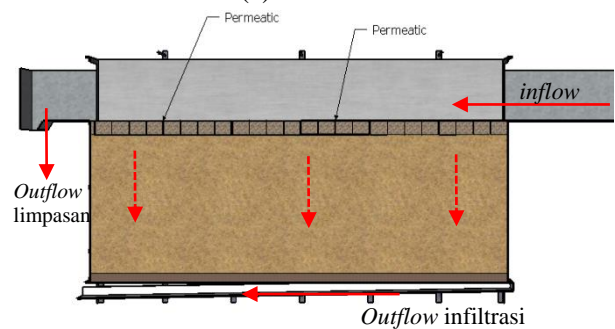
Uji debit limpasan dan infiltrasi di laboratorium memberikan hasil berupa besarnya pengaruh penggunaan *permeatic* untuk meningkatkan debit infiltrasi. Ada dua kondisi dalam pengujian dengan variasi *permeatic*, yaitu kondisi tanah antar *permeatic* tertutup dan kondisi tanah antar *permeatic* terbuka. Terdapat tiga variasi jarak dalam pengujian dengan *permeatic*, yaitu jarak 1 meter, 0,5 meter, dan *full permeatic* (Gambar 5, Gambar 6, dan Gambar 7). Hasil debit limpasan dan infiltrasi untuk yang menggunakan variasi *permeatic* disajikan dalam Gambar 8.



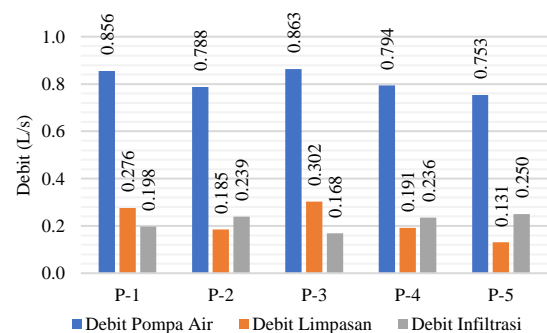
Gambar 5. *Permeatic* jarak 1 m, (a) P-1, (b) P-3, dan (c) detail ukuran



Gambar 6. *Permeatic* jarak 0,5 m, (a) P-2, (b) P-4, dan (c) detail ukuran

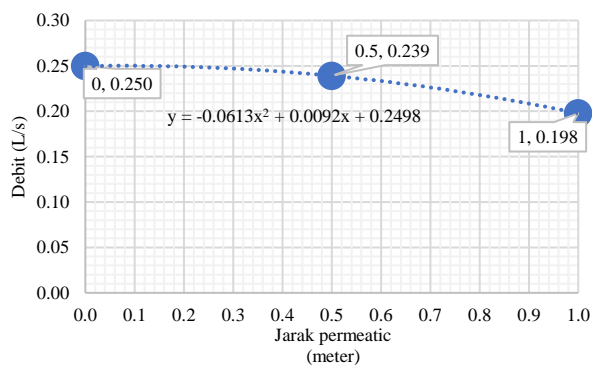


Gambar 7. *Full permeatic* (P-5)

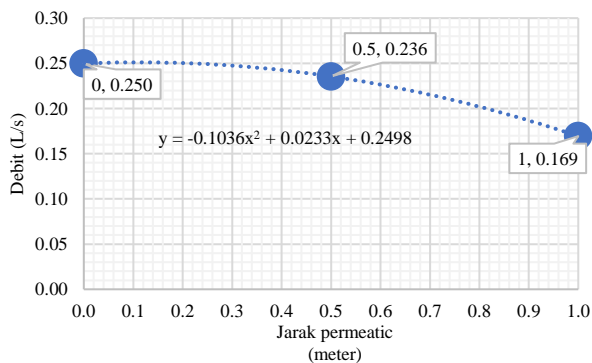


Gambar 8. Perbandingan debit untuk skenario 2 variasi P-1, P-2, P-3, P-4, dan P-5

Dari Gambar 8 dapat dilihat bahwa pada variasi *permeatic* memiliki nilai debit infiltrasi sebesar 0,198 L/s untuk P-1, 0,239 L/s untuk P-2, 0,168 L/s untuk P-3, 0,236 L/s untuk P-4, dan untuk P-5 sebesar 0,25 L/s. Nilai debit infiltrasi pada kondisi tanah antar *permeatic* tertutup (P-1 dan P-2) lebih besar daripada kondisi terbuka (P-3 dan P-4). Hal ini bisa disebabkan karena pada kondisi terbuka butiran tanah halus tergerus oleh arus air, kemudian menutupi pori-pori dari *permeatic*, sehingga kemampuan daya resap air dari *permeatic* berkurang. Hasil analisa regresi debit infiltrasi pada variasi *permeatic* kondisi tertutup (P-1 dan P-2) disajikan dalam Gambar 9 dan pada kondisi terbuka (P-3 dan P-4) dalam Gambar 10.



Gambar 9. Regresi hubungan debit infiltrasi dan jarak *permeatic* pada P-1, P-2, dan P-5

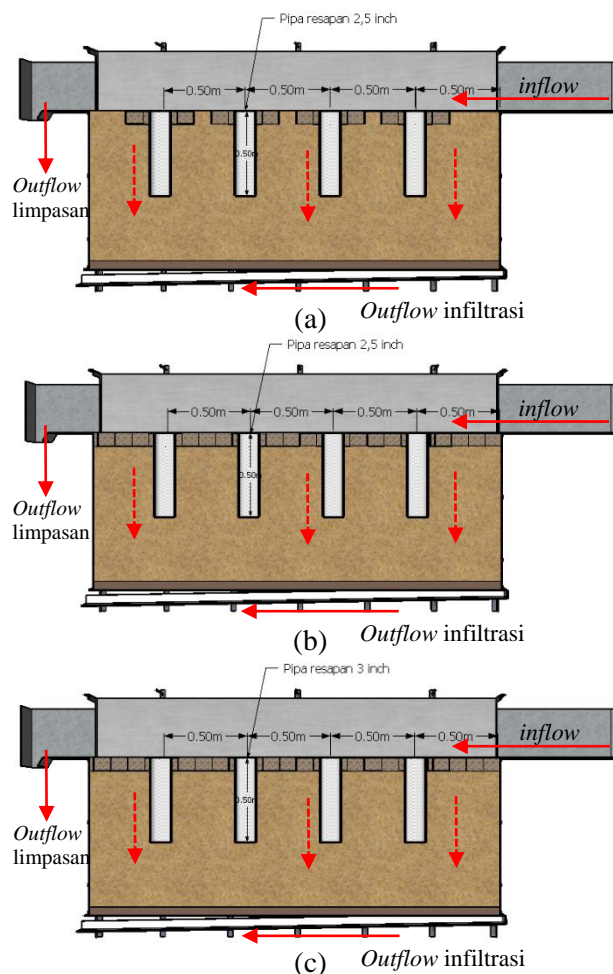


Gambar 10. Regresi hubungan debit infiltrasi dan jarak *permeatic* pada P-3, P-4, dan P-5

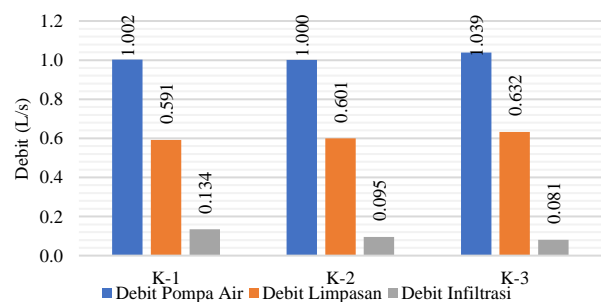
Dari Gambar 9 dan 10 dapat dilihat bahwa, apabila jarak antar *permeatic* semakin besar maka debit infiltrasi yang dihasilkan akan semakin kecil. Sebaliknya, apabila jarak antar *permeatic* semakin kecil maka debit infiltrasi yang dihasilkan akan semakin besar sampai dengan jarak 0 meter (*full permeatic*). Hal ini berlaku untuk semua kondisi *permeatic*, baik dalam kondisi tertutup mau pun terbuka. Koefisien korelasi yang diperoleh pada kondisi tertutup dan pada kondisi terbuka adalah $r=1$.

Hasil Uji S-3

Uji debit limpasan dan infiltrasi di laboratorium memberikan hasil berupa besarnya pengaruh kombinasi *permeatic* dan pipa resapan dalam meningkatkan debit infiltrasi pada saluran drainase atau *flume* uji. Ada tiga kombinasi (K-1, K-2, dan K-3) dalam penggunaan *permeatic* dan pipa resapan yang dapat dilihat pada Gambar 11. Hasil debit limpasan dan infiltrasi dengan menggunakan variasi kombinasi *permeatic* dan pipa resapan disajikan Gambar 12.

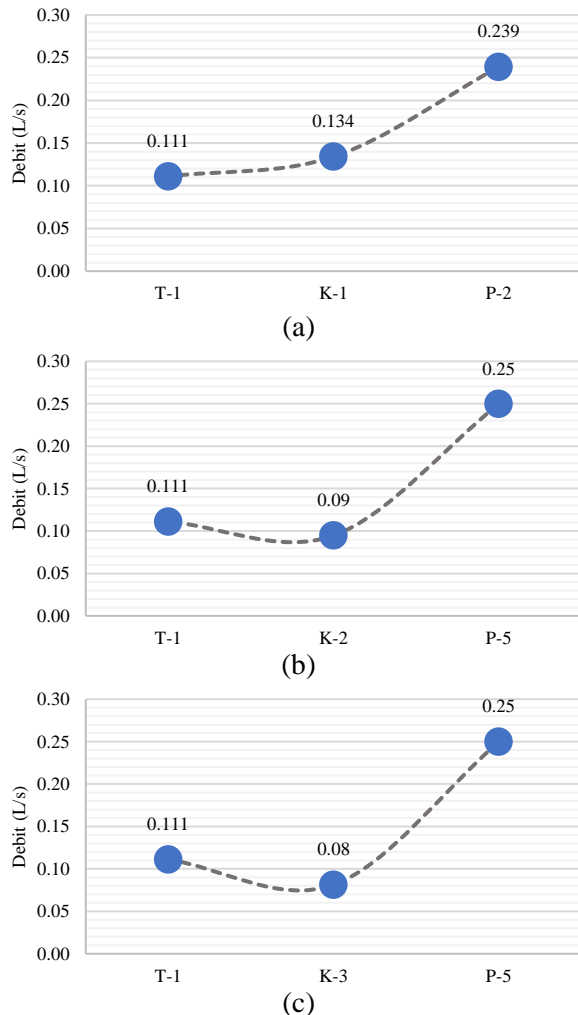


Gambar 11. Tampak samping kombinasi, (a) K-1, (b) K-2, dan (c) K-3



Gambar 12. Perbandingan debit untuk skenario 3 variasi K-1, K-2, dan K-3

Dari Gambar 15 dapat dilihat bahwa pada variasi kombinasi besar nilai debit infiltrasi sebesar 0,134 L/s pada K-1, 0,095 L/s pada K-2, dan 0,081 L/s pada K-3. Perbandingan debit infiltrasi pada ketiga kombinasi dengan pengaruh dari *permeatic* dan kondisi awal dalam penerapan drainase berkelanjutan disajikan dalam Gambar 13.



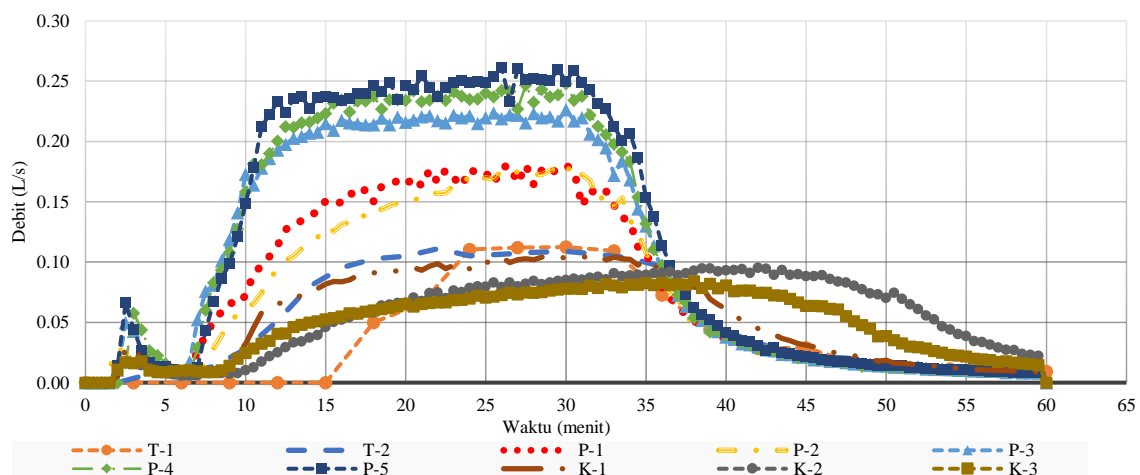
Gambar 13. Perbandingan debit infiltrasi (a) K-1, (b) K-2, dan (c) K-3

Pada Gambar 13 dapat dilihat bahwa semua variasi kombinasi tidak berpengaruh besar dalam meningkatkan kapasitas infiltrasi pada saluran drainase, dibandingkan dengan pengaruh dari *permeatic*. Ada kecenderungan penurunan nilai debit infiltrasi pada setiap kombinasi, sehingga terlihat bahwa pengaruh dari kombinasi *permeatic* dengan pipa resapan tidak terlalu besar dalam meningkatkan kapasitas infiltrasi pada saluran drainase. Bahkan debit infiltrasi yang dihasilkan oleh K-2 dan K-3 lebih kecil dari debit infiltrasi pada kondisi awal (T-1). Hal ini disebabkan oleh penggunaan geotekstil sebagai pemisah dua material tanah dan pasir dalam *flume* uji yang memiliki kelemahan. Geotekstil jika digunakan dalam jangka panjang maka kinerjanya akan menurun yang di sebabkan oleh penyumbatan butiran tanah yang tertahan (Hadiyatmo, 2008). Posisi tanah diatas geotekstil dan ditambah dengan intensitas air yang masuk kedalam tanah dalam *flume* uji cukup besar, sehingga membuat butiran halus tanah turun kebawah dan tertahan di geotekstil yang digunakan. Hal tersebut yang menyebabkan kinerja pada variasi kombinasi kurang maksimal.

Pembahasan

Hidrograf limpasan dan infiltrasi yang di dapat pada setiap variasi memiliki perbedaan khususnya pada hidrograf infiltrasi di menit ke-0 hingga menit ke-6,5. Tren yang naik-turun pada menit tersebut memiliki nilai yang berbeda, perbedaan tersebut dapat dilihat pada Gambar 14.

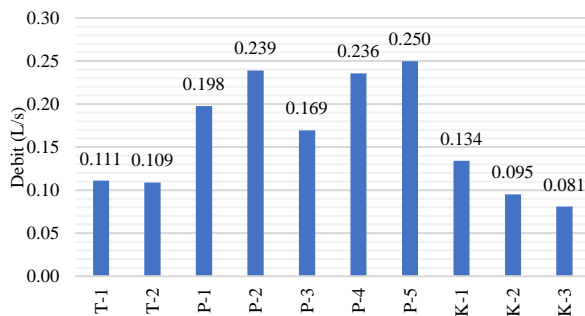
Pada Gambar 14 dapat dilihat bahwa terdapat perbedaan tren untuk debit infiltrasi pada semua variasi di menit awal pengujian (menit 0 hingga 6,5). Pada variasi T-1 di menit



Gambar 14. Perbandingan hidrograf infiltrasi

0 hingga 6,5 tidak terjadi tren yang naik turun seperti tren yang terjadi pada hidrograf infiltrasi variasi lainnya (T-2, P-1, P-2, P-3, P-4, P-5, K-1, K-2, dan K-3). Hal terjadi karena tidak ada air yang tertahan di saluran pipa air infiltrasi pada saat pengujian variasi T1, sehingga tidak terjadi peningkatan volume air di awal waktu pada pengukuran debit infiltrasi seperti yang terjadi pada hidrograf infiltrasi variasi lainnya (T-2, P-1, P-2, P-3, P-4, P-5, K-1, K-2, dan K-3). Oleh sebab itu terbukti bahwa pada hidrograf infiltrasi T-2, P-1, P-2, P-3, P-4, P-5, K-1, K-2, dan K-3 di menit awal (menit ke-0 hingga menit ke-6,5) terjadi tren yang naik turun disebabkan oleh air yang tertahan di saluran pipa air infiltrasi yang disebabkan oleh pengujian sebelumnya.

Penggunaan variasi *permeatic* memiliki pengaruh yang besar dalam meningkatkan kapasitas infiltrasi pada saluran drainase. Hal ini dapat dilihat pada Gambar 15 yang menunjukan perbandingan nilai debit infiltrasi pada setiap variasi.



Gambar 14. Perbandingan debit infiltrasi pada semua variasi

Dari Gambar 15 dapat dilihat bahwa *permeatic* dengan variasi P-5 memiliki kemampuan meningkatkan kapasitas infiltrasi paling besar, yaitu sebesar 0,250 L/s, lebih dari dua kali nilai debit infiltrasi pada kondisi normal (T-1). Hal ini karena *permeatic* dengan variasi P-5 memiliki volume tampungan yang lebih besar dari variasi yang lain. Dari Gambar 15 juga dapat diketahui bahwa variasi terbaik dalam meningkatkan debit infiltrasi selain P-5, dapat juga dengan variasi P-2. Kombinasi *permeatic* dengan pipa resapan sebagai upaya penerapan saluran drainase berkelanjutan seharusnya mampu meningkatkan kapasitas infiltrasi lebih besar lagi. Namun, dalam pengujian ini kombinasi dari *permeatic* dengan pipa resapan tidak menunjuknya pengaruh yang

besar dalam hal meningkatkan kapasitas infiltrasi pada saluran drainase, seperti terlihat pada Gambar 13 dan Gambar 15. Penyebab hal ini terjadi adalah perencanaan penggunaan geotekstil yang kurang matang, sehingga fungsi dari geotekstil bekerja kurang maksimal. Perencanaan penggunaan geotekstil sebagai pemisah yang memungkinkan aliran air bebas mengalir di dalam *flume* uji tanpa ada tanah yang lolos melewati geotekstil, ternyata memiliki batasan umur penggunaan yang tidak diperhitungkan dalam penelitian ini. Jika geotekstil tersebut digunakan dalam jangka waktu yang lama, maka kinerja dari geotekstil tersebut akan berkurang. Penyebab berkurangnya kinerja dari geotekstil tersebut adalah penyumbatan oleh butiran halus tanah yang terbawa oleh aliran air dalam *flume* uji.

Perlu adanya perhatian khusus dalam penggunaan geotekstil sebagai filter terutama ukuran butir tanah, tidak hanya sebagai penahan. Distribusi ukuran butir tanah yang akan disaring harus disesuaikan dengan distribusi ukuran lubang bukaan pori-pori geotekstil. Geotekstil nir-anyam benang-benang kontinu *needle punched* umumnya cocok digunakan sebagai filter untuk berbagai jenis tanah dengan sebaran ukuran butiran yang luas (Hadiyatmo, 2008).

4. Kesimpulan

Berdasarkan hasil analisis dan pembahasan pada penelitian ini, dapat di tarik sebuah kesimpulan antara lain sebagai berikut.

1. Pengaruh penggunaan *permeatic* pada saluran drainase adalah mampu meningkatkan daya resap air. Daya resap air pada kondisi awal sebesar 0,111 L/s, dengan menggunakan *permeatic* pada jarak 1 meter (terbuka) daya resap air meningkat menjadi 0,168 L/s, *permeatic* pada jarak 1 meter (tertutup) daya resap air meningkat menjadi 0,198 L/s, *permeatic* pada jarak 0,5 meter (terbuka) daya resap air meningkat menjadi 0,236 L/s, *permeatic* pada jarak 0,5 meter (tertutup) daya resap air meningkat menjadi 0,239 L/s, dan *permeatic* pada *full permeatic* daya resap air meningkat menjadi 0,25 L/s.
2. Variasi jarak pada penggunaan *permeatic* memiliki pengaruh yang cukup besar.

Semakin rapat jarak *permeatic*, maka kapasitas infiltrasi semakin besar. Sebaliknya, semakin jarang jarak *permeatic*, maka kapasitas infiltrasi semakin menurun sampai pada kaapasitas infiltrasi pada kondisi normal.

3. Kombinasi antara *permeatic* dan pipa resapan pada penelitian tidak memiliki pengaruh dalam meningkatkan daya resap air atau kapasitas infiltrasi pada saluran drainase. Hal ini terjadi karena permasalahan penyumbatan pada penggunaan geotekstil, sehingga menurunkan kapasitas infiltrasi dari kombinasi antara *permeatic* dan pipa resapan.
4. Pengaplikasian terbaik dalam meningkatkan kapasitas infiltrasi adalah dengan menggunakan *full permeatic* (P-5). Terbaik kedua adalah *permeatic* jarak 0,5 meter (P-2). Semua tergantung dari ukuran dan bentuk penampang dari saluran drainase yang digunakan.

5. Daftar Pustaka

- Chen, L.-M., Chen, J.-W., Chen, T.-H., Lecher, T., & Davidson, P., 2019, Measurement of Permeability and Comparison of Pavements, *Water*, 11(3).
- Dierkes, C., Lucke, T., & Helmreich, B., 2015, General Technical Approvals for Decentralised Sustainable Urban Drainage Systems (SUDS)—The Current Situation in Germany, *Sustainability*, 7(3), 3031-3051.
- Everett, G., Lamond, J., Morzillo, A. T., Chan, F. K. S., & Matsler, A. M., 2016, Sustainable drainage systems: helping people live with water, *Proceedings of the Institution of Civil Engineers - Water Management*, 169(2), 94-104.
- Hadiyatmo, H. C., 2008, *Geosintetik untuk Rekayasa Jalan Raya*, Gadjah Mada University Press, Yogyakarta.
- Hoghooghi, N., Golden, H. E., Bledsoe, B. P., Barnhart, B. L., Brookes, A. F., Djang, K. S., . . . Pettus, P. P., 2018, Cumulative effects of Low Impact Development on watershed hydrology in a mixed land-cover system, *Water (Switzerland)*, 10(8).
- Nazaruddin, dan Yuliani, 2018, Pengaruh Tegangan Listrik Terhadap Performa Pompa, *Jurnal Sainstek STT Pekanbaru*, Vol. 6 No. 1, 15-22.
- Permegrid, 2020, *The Permeabel Ground Solition*, <https://www.permegrid.co.uk/> (diakses pada 20 Februari 2020 pukul 16.30 WIB).
- Rahardjo, P. N., 2018, 7 Penyebab Banjir di Wilayah Perkotaan yang Padat Penduduknya, *In: Center for Environmental Technology*.
- Sedyowati, L., Suhardjono, S., Suhartanto, E., & Sholichin, M., 2017, Runoff velocity behaviour on smooth pavement and paving blocks surfaces measured by a tilted plot, *Journal of Water and Land Development*, 33(1), 149-156.
- Setiawan, I., & Rohmat, D., 2019, Test the Effectiveness of Biopore in the Framework of Eco-Campus Development at Universitas Pendidikan Indonesia, *Paper presented at the IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*.
- Syahrudin, M. H., Amiruddin, Halide, H., Sakka, & Makhrani, 2019, Groundwater Conservation with Hole Infiltration of Biopore Cube. *Paper presented at the IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*.
- Thomas, A., Haselbach, L., Poor, C., & Freimund, M., 2015, Long-Term Metal Retention Performance of Media Filter Drains for Stormwater Management, *Sustainability*, 7(4), 3721-3733.
- Triatmodjo, B., 2008, *Hidrologi Terapan*, Beta Offset, Yogyakarta.
- Zhou, Q., 2014, A review of sustainable urban drainage systems considering the climate change and urbanization impacts, *Water (Switzerland)*, 6(4), 976-992.