

JURNAL TEKNIK SIPIL USU

KAJIAN EFEKTIVITAS LUBANG RESAPAN BIOPORI DALAM MEREDUKSI DEBIT BANJIR AKIBAT AIR LIMPASAN HUJAN (*RUN-OFF*) PADA KAWASAN PERUMAHAN (STUDI KASUS: PERUMAHAN CLASSIC 3, MEDAN)

Muhammad hafizh¹, Terunajaya²

¹Departemen Teknik Sipil, Universitas Sumatera Utara, Jl. Perpustakaan No. 1 Kampus USU, Medan

Email: mohhafidzh@gmail.com

²Staf Pengajar Departemen Teknik Sipil, Universitas Sumatera Utara, Jl Perpustakaan No. 1 Kampus USU, Medan

Email : irteruna@yahoo.com

ABSTRAK

Bahaya banjir pada kawasan perumahan sering terjadi akibat perubahan tata guna lahan dari areal resapan menjadi areal kedap air. salah satu solusi untuk mengatasi bahaya banjir di kawasan perumahan adalah lubang resapan biopori. Teknologi lubang resapan biopori berfungsi untuk mengurangi limpasan air hujan dengan meresapkan lebih banyak volume air ke dalam tanah sehingga mampu meminimalkan kemungkinan terjadinya banjir. Studi ini bertujuan untuk mengetahui nilai permeabilitas, nilai laju infiltrasi sebelum dan sesudah adanya lubang resapan biopori dan jumlah lubang resapan biopori untuk mengetahui nilai reduksi debit banjir akibat lubang resapan biopori. Penelitian ini mengambil lokasi di Perumahan Classic III Medan dengan luas 15.320 m² yang terdiri dari 109 unit rumah. Alat yang digunakan dalam pengujian infiltrasi di lapangan adalah *single ring infiltrometer*, kemudian sampel tanah di lokasi studi diambil untuk uji permeabilitas di Laboratorium Mekanika Tanah. Berdasarkan penelitian diperoleh nilai koefisien permeabilitas (k) tanah adalah $8,774 \times 10^{-4}$ cm/detik, nilai laju infiltrasi konstan (fc) di adalah 8,40 cm/jam, sedangkan nilai laju infiltrasi (fc) rata-rata lubang resapan biopori adalah 95,20 cm/jam. Total debit banjir kawasan perumahan sebelum direncanakan lubang resapan biopori adalah $52,365 \times 10^{-3}$ m³/detik, jika pada setiap rumah membuat 1 unit lubang resapan biopori maka debit banjir berkurang sebesar $9,154 \times 10^{-3}$ m³/detik menjadi $43,211 \times 10^{-3}$ m³/detik. Lubang resapan biopori terbukti efektif mereduksi debit banjir sebesar 17,46 % dari total debit banjir di kawasan perumahan, sehingga berdasarkan perhitungan jumlah lubang resapan biopori yang ideal adalah sebanyak 1096 unit lubang atau 10 unit lubang resapan biopori per rumah.

Kata kunci: Lubang resapan biopori, infiltrasi, permeabilitas

ABSTRACT

The danger of flooding in residential areas often occur due to changes of land use from catchment areas become water-resistant areas. One of the solutions to overcome the danger of flooding in residential areas is biopore infiltration hole. Biopore infiltration hole technology serves to reduce rain water runoff to absorb more of the volume of water into the soil so as to minimize the possibility of flooding. Objects of the study is to determine the value of the permeability, infiltration rate values before and after the biopore infiltration hole planned and the number of holes to determine the value of the reduction of flood discharge due to biopore infiltration hole. This research took place in the Classic III residential with an area of 15.320 m² which consists of 109 housing units. The tools used in the infiltration testing in the field was a single ring infiltrometer, and soil samples in the study area was taken for permeability testing in Soil Mechanics Laboratory. The study obtained the value of permeability coefficient (k) of land was $8,774 \times 10^{-4}$ cm/sec,

the value of constant infiltration rate (f_c) was at 8,40 cm/hour, while the value of infiltration rate (f) average after the planned of biopore infiltration hole was 95,20 cm/hour. Total discharge flood at residential areas before the planned of biopore infiltration hole was $52,365 \times 10^{-3} \text{ m}^3/\text{sec}$, if each house plan 1 unit biopore infiltration hole then the flood discharge is reduced in the amount of $9.154 \times 10^{-3} \text{ m}^3/\text{s}$ become $43,211 \times 10^{-3} \text{ m}^3/\text{sec}$. Biopore infiltration holes proved to be effective to reduce the flood discharge at 17,46 % of the total discharge of flooding in residential areas, so based on studies, the ideal number of holes was as many as 1096 units of holes or 10 biopore infiltration hole units per house.

Keywords: Biopore infiltration hole, Infiltration, Permeability

PENDAHULUAN

Latar Belakang

Permasalahan yang sering kita hadapi dewasa ini yang berkaitan dengan air adalah krisis air bersih dan banjir. Umumnya di daerah padat penduduk seperti perumahan, terjadi penurunan permukaan air tanah yang disebabkan menurunnya kemampuan tanah untuk meresapkan air. Pembangunan perumahan sebagai bentuk pengembangan kota yang memicu pertumbuhan wilayah perkotaan, mengakibatkan makin berkurangnya area resapan air hujan, karena meningkatnya luas daerah yang tertutupi oleh perumahan. Selain itu, perubahan tata guna lahan dari persawahan menjadi perumahan dapat mengancam produktivitas lahan dan menurunkan fungsinya dalam hal menahan dan mendistribusikan air hujan.

Untuk mengatasi permasalahan tersebut, maka perlu dipertahankan kesetimbangan melalui proses pengambilan dan pengisian air hujan (presipitasi dan infiltrasi) dengan meresapkan ke dalam pori-pori / rongga tanah atau batuan, serta dilakukan upaya konservasi air. Lubang resapan biopori merupakan salah satu rekayasa teknik konservasi air, berupa lubang-lubang yang dibuat pada permukaan bumi yang berperan sebagai pintu masuk air hujan yang jatuh ke permukaan bumi. Teknologi biopori ini akan dapat mengurangi limpasan air hujan dengan meresapkan lebih banyak volume air hujan ke dalam tanah sehingga dapat meminimalkan kemungkinan terjadinya banjir. Lubang resapan biopori diisi dengan sampah-sampah organik untuk memancing mikroorganisme dalam tanah, pergerakan-pergerakan mikroorganisme dalam tanah membuat alur-alur pori dalam tanah guna mempercepat penyerapan air oleh tanah yang selanjutnya disimpan pada daerah cekungan air dalam tanah.

TINJAUAN PUSTAKA

Uji Permeabilitas

Uji Permeabilitas tanah dilakukan menggunakan alat *Constand Head Permeability Test*. Nilai rata-rata koefisien permeabilitas dihitung dengan metode sebagai berikut:

$$k = 2.303 \frac{a(L)}{A(t)} \log \frac{h_1}{h_2}$$

Dimana :

- Q = volume air yang dikumpulkan,
- A = luas penampang sampel,
- t = waktu
- k = koefisien permeabilitas

Tabel berikut menunjukkan jenis tanah berdasarkan harga koefisien permeabilitas tanah (Das, 1985).

Jenis Tanah	K	
	(cm/detik)	(ft/detik)
Kerikil bersih	1,0-100	2,0-200
Pasir kasar	1,0-0,01	2,0-0,02
Pasir halus	0,01-0,001	0,02-0,002
Lanau	0,001-0,00001	0,002-0,00002
Lempung	Kurang dari 0,000001	Kurang dari 0,000002

Analisa Hidrologi

Dalam statistik analisa curah hujan dikenal beberapa model distribusi frekuensi curah hujan. Metode distribusi curah hujan menggunakan model-model diantaranya:

- Metode Normal
- Metode Log Normal
- Metode Log Pearson Tipe 3
- Metode Gumbel

Intensitas hujan diperoleh dengan cara melakukan analisa data hujan baik secara statistik maupun secara empiris. Metode yang dipakai dalam perhitungan intensitas curah hujan adalah Metode Monobe yaitu apabila data hujan jangka pendek tidak tersedia yang ada hanya data hujan harian. Persamaan umum yang dipergunakan untuk menghitung hubungan antara intensitas hujan T jam dengan curah hujan maksimum harian adalah sebagai berikut:

$$I = \frac{R_{24}}{24} \left(\frac{24}{t} \right)^{\frac{2}{3}}$$

dimana:

- I = intensitas curah hujan (mm/jam)
R₂₄ = curah hujan maksimum dalam 24 jam (mm)
t = lamanya curah hujan (menit) atau (jam)

Metode yang umum digunakan dalam menghitung debit banjir adalah metode rasional, metode ini hingga sekarang masih digunakan untuk memperkirakan debit puncak (*peak discharge*). Metode ini dijelaskan dengan persamaan berikut:

$$Q = 0,002778.C.I.A$$

dimana :

- Q = Debit banjir maksimum (m³/det)
C = Koefisien pengaliran/limpasan
I = Intensitas curah hujan rata-rata (mm/jam)
A = Luas daerah pengaliran (Ha)

Uji Infiltrasi Tanah

Pengujian infiltrasi tanah dilakukan dengan Metode Horton. Model Horton menjelaskan bahwa kapasitas infiltrasi berkurang seiring dengan bertambahnya waktu hingga mendekati nilai yang konstant.

Model Horton dapat dinyatakan secara matematis mengikuti persamaan berikut:

$$f = f_c + (f_0 - f_c) \times e^{-kt}$$

dimana:

- f = laju infiltrasi nyata (cm/jam)
f_c = laju infiltrasi tetap (cm/jam)
f₀ = laju infiltrasi awal (cm/jam)
k = konstanta geofisik
t = waktu (t)
e = 2.718281820

Penentuan Jumlah Lubang Resapan Biopori

Penentuan jumlah lubang resapan biopori secara spesifik yang sesuai pada suatu wilayah tertentu dengan luasan tertentu dan intensitas hujan tertentu pula, dihitung dengan persamaan (Brata, 2008) :

$$n = \frac{I \times L}{v}$$

Keterangan :

- n : Jumlah Lubang Resapan Biopori
I : Intensitas hujan terbesar dalam 10 tahun (mm/jam)
L : Luas bidang kedap air (m²)
v : Laju peresapan air rata-rata per lubang (liter /detik)

METODOLOGI

Penelitian mengambil studi kasus pada kawasan Perumahan Classic III Pasar I, Kecamatan Medan Selayang, Medan, Sumatera Utara. Luas areal perumahan 15.320 m² dengan 109 unit rumah yang terdiri dari 35 unit rumah tipe 105, 48 unit rumah tipe 95 dan 26 unit rumah tipe 70. Lokasi perumahan terletak pada elevasi 27,97 m di atas permukaan laut.

Pengumpulan Data

Pengumpulan data adalah hal yang paling penting yang harus dilakukan dalam sebuah penelitian, sehingga data-data yang bersangkutan dengan penelitian sangat mendukung penyelesaian penelitian ini. Adapun pengumpulan data pada penelitian ini meliputi:

a. Studi Literatur

Rumusan-rumusan serta konsep-konsep teoritis dari berbagai literatur dipelajari dan dipahami agar landasan teoritis terpenuhi dalam mengembangkan konsep penelitian mengenai kajian lubang resapan biopori dalam mengurangi debit banjir akibat limpasan air hujan di kawasan perumahan. Studi literatur meliputi pengumpulan data dan informasi dari buku dan jurnal-jurnal yang mempunyai relevansi, serta masukan dari berbagai pihak.

b. Studi Lapangan

Data Pengamatan Langsung

Data pengamatan langsung adalah data yang diperoleh dengan pengamatan dan pengukuran oleh penulis di lokasi penelitian guna mengetahui kondisi lapangan. Di sini p

enelitian dilakukan di laboratorium dan di lapangan guna mendapatkan nilai koefisien permeabilitas tanah, laju infiltrasi sebelum adanya lubang resapan biopori, laju infiltrasi setelah adanya lubang biopori dan data lokasi perumahan.

Data Laporan

Data laporan adalah data yang mendukung penelitian dan memberikan gambaran umum tentang hal-hal yang mencakup penelitian yang dilaporkan oleh pihak lain. Pengumpulan data laporan didapatkan melalui instansi-instansi yang terkait dalam permasalahan seperti Badan Meteorologi dan Klimatologi Sampali, Medan.

Pengolahan Data

Pengolahan data pada penelitian ini berisikan spesifikasi data yang akan digunakan dalam penelitian yaitu meliputi:

- Analisa laju infiltrasi dan koefisien permeabilitas tanah, pada penelitian ini, pengukuran laju infiltrasi pada suatu lahan dengan atau tanpa lubang resapan biopori menggunakan alat *single ring infiltrometer*. Selanjutnya pengolahan data dilakukan dengan menggunakan rumus Horton. Sedangkan untuk mendapatkan koefisien permeabilitas tanah dilakukan dengan uji laboratorium *Falling Head Permeability Test*.
- Analisa Hidrologi, setelah data curah hujan diperoleh yaitu data curah hujan 10 tahun terakhir mulai tahun 2003 s.d 2012, langkah selanjutnya adalah analisis hidrologi. Data tersebut diolah dengan memperhitungkan jenis distribusi curah hujan rencana dan intensitas curah hujan rencana
- Pengurangan debit banjir berdasarkan penelitian akan dibandingkan hasil pengurangan debit banjir dengan lubang resapan biopori sehingga dapat diketahui efisiensi debit banjir yang berkurang.

Parameter Penelitian

Dari Hasil pengolahan data akan dilakukan analisa sehingga dapat diperoleh kesimpulan akhir yang berarti. Adapun parameter penelitian yaitu:

- Nilai laju infiltrasi tanah (ft), nilai laju infiltrasi digunakan untuk menentukan kriteria jenis tanah, perhitungan kapasitas lubang resapan biopori dan perbandingan dengan intensitas curah hujan rencana.

- b. Nilai koefisien permeabilitas tanah (k), nilai ini digunakan untuk menghitung debit resapan air hujan yang meresap pada lahan perumahan melalui sumur resapan.
- c. Intensitas curah hujan rencana (I), data ini digunakan untuk mengetahui debit masukan dari limpasan air hujan yang terinfiltrasi langsung ke dalam tanah sehingga kemudian dikurangi dengan debit resapan air hujan dengan adanya lubang resapan biopori.
- d. Jumlah lubang resapan biopori yang ideal (n), data ini digunakan untuk mengetahui kebutuhan lubang resapan biopori pada daerah penelitian sehingga jumlah yang didapat diharapkan mampu mereduksi debit banjir sebelum adanya lubang resapan biopori.
- e. Pengaruh efisiensi debit banjir yang berkurang/tereduksi akibat penerapan lubang resapan biopori di kawasan perumahan Classic III, Medan.

Prosedur Penelitian

Tahapan-tahapan penelitian pada studi ini adalah sebagai berikut:

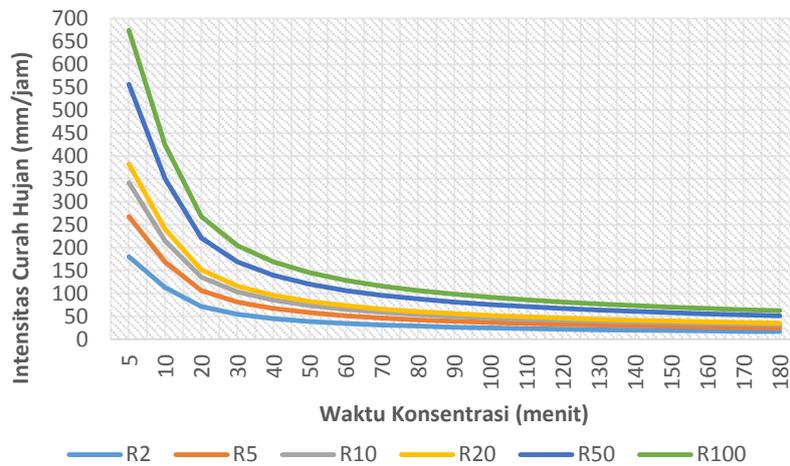
- a. Mengambil sampel tanah di lokasi penelitian, kemudian melakukan uji *Falling Head Permeability Test* di Laboratorium Mekanika Tanah untuk menghitung nilai koefisien permeabilitas dan mengetahui jenis tanah di lokasi studi.
- b. Mengitung curah hujan rencana 10 tahun terakhir di lokasi penelitian untuk mendapatkan intensitas curah hujan rencana.
- c. Membuat lubang resapan biopori dengan menggunakan bor biopori kemudian lubang diisi dengan sampah organik.
- d. Melakukan uji infiltrasi tanah dengan *Single Ring Infiltrometer* untuk mengetahui nilai laju infiltrasi nyata pada lokasi penelitian sebelum dan setelah terdapat lubang resapan biopori.
- e. Menghitung jumlah lubang resapan biopori sesuai spesifikasi lokasi penelitian.

HASIL DAN PEMBAHASAN

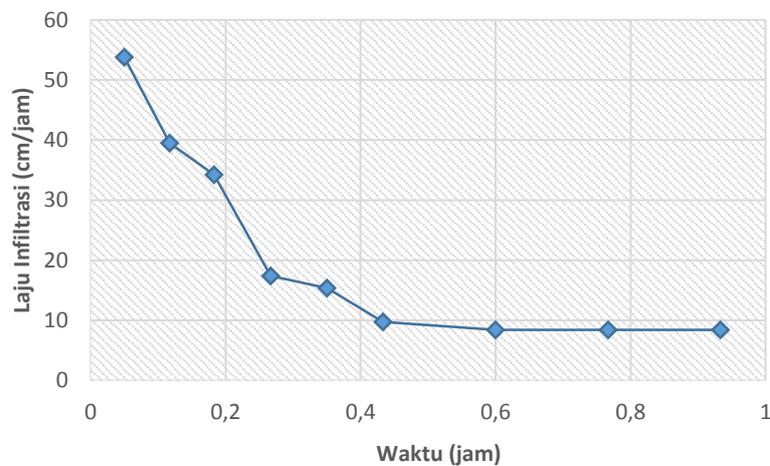
Dari hasil pengujian *falling head permeability* pada sampel tanah di lokasi penelitian, diperoleh koefisien permeabilitas (k) sebesar 0.000877389 cm/detik. Sehingga jenis tanah pada kedalaman 1 meter di lokasi penelitian termasuk jenis tanah lanau.

No.	Panjang Sampel (L) (cm)	Temp. (T) (°C)	Waktu (t) (dtk)	Tinggi Muka Air (h) (cm)	Permeability (KT°C)	MT°C/M20°C	Permeability (K20)
1	13	28	0	100	0	0.828	0
2	13	28	15	84.3	0.001650163	0.828	0.001366335
3	13	28	15	73.5	0.001591187	0.828	0.001317503
4	13	28	15	61.7	0.001487158	0.828	0.001231367
5	13	28	15	53.5	0.001460556	0.828	0.001209340
6	13	28	15	47.2	0.001440642	0.828	0.001192852
7	13	28	15	40.5	0.001320636	0.828	0.001093487
8	13	28	15	34.0	0.001193079	0.828	0.000987869
9	13	28	15	30.2	0.001141475	0.828	0.000945142
10	13	28	15	26.2	0.001118626	0.828	0.000926223
11	13	28	15	21.7	0.001029631	0.828	0.000852535
12	13	28	15	19.9	0.000936424	0.828	0.000775359
13	13	28	15	17.3	0.000709459	0.828	0.000587432
14	13	28	15	14.8	0.000568519	0.828	0.000470734
15	13	28	15	13.3	0.000247124	0.828	0.000204619
							0.000877386

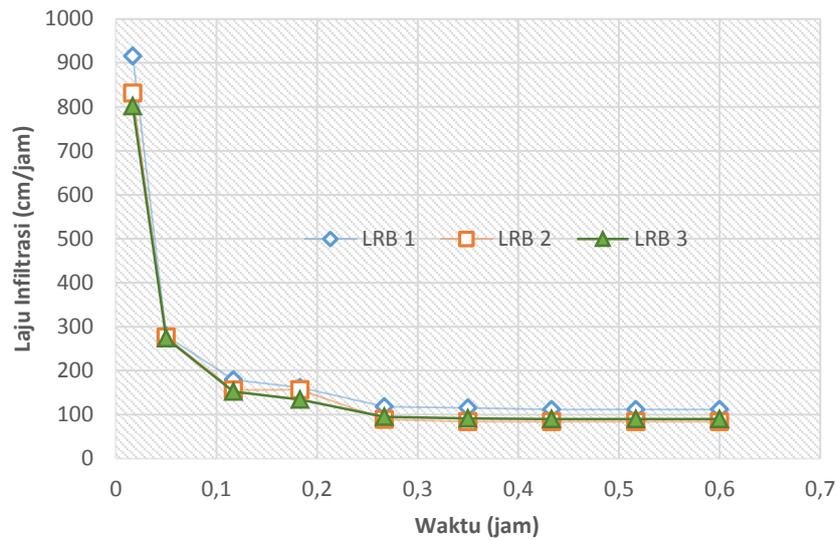
Dalam penelitian ini analisis distribusi curah hujan selama 10 tahun setelah dilakukan pengujian kecocokan sebaran, jenis distribusi curah hujan yang digunakan adalah distribusi Log Pearson tipe III. Kurva IDR untuk intensitas curah hujan rencana adalah sebagai berikut:



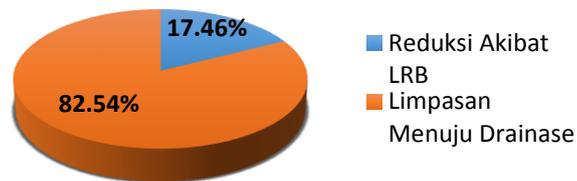
Pengukuran laju infiltrasi ini dilakukan pada tanah sebelum terdapat lubang resapan biopori dan tanah setelah dibuat lubang resapan biopori. Hasil perhitungan infiltrasi pada tanah sebelum terdapat lubang resapan biopori menunjukkan nilai laju infiltrasi nyata sebesar 8.4 cm/jam. Hal ini menunjukkan terdapat perbedaan antara intensitas hujan yang terjadi pada kawasan perumahan dengan kecepatan infiltrasi pada tanah di kawasan perumahan, dimana intensitas curah hujan untuk PUH 2 tahun adalah 17,96 cm/jam lebih besar dari laju infiltrasi tanah, yaitu sebesar 8.4 cm/jam ($I > f$), sehingga air limpasannya merupakan selisih antara intensitas hujan dengan kecepatan infiltrasi, yaitu sebesar 9.56 cm/jam. Berikut grafik Horton untuk laju infiltrasi tanah pada tanah sebelum terdapat lubang resapan biopori.



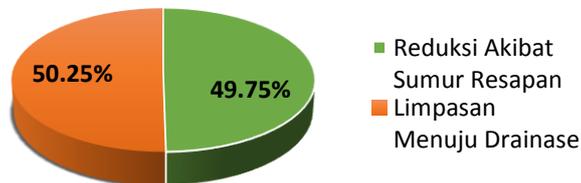
Dari pengujian infiltrasi pada tanah setelah terdapat lubang resapan biopori pada 3 titik pengujian, diperoleh laju infiltrasi rata-rata LRB adalah 95,2 cm/jam. Sehingga dari perhitungan terlihat nilai peningkatan laju infiltrasi dari tanah normal terhadap tanah dengan lubang resapan biopori sebesar 1133,33 %. Grafik Horton untuk laju infiltrasi tanah setelah terdapat lubang resapan biopori adalah sebagai berikut.



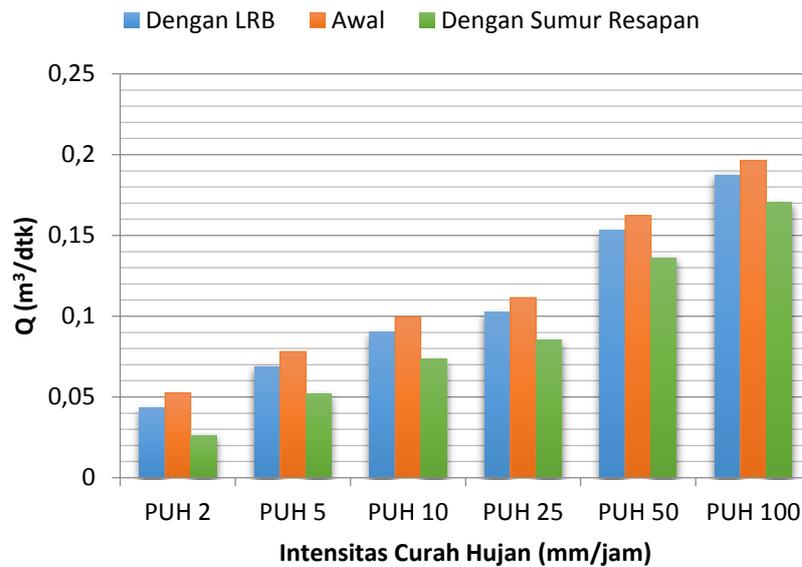
Total debit banjir pada kawasan studi adalah sebesar $52.365 \times 10^{-3} \text{ m}^3/\text{detik}$. Berdasarkan hasil perhitungan bila setiap rumah dengan sadar membuat 1 buah lubang resapan biopori, maka untuk setiap rumah dapat mereduksi debit banjir yang masuk ke dalam lubang resapan biopori akibat limpasan air hujan sebesar $0.839 \times 10^{-4} \text{ m}^3/\text{detik}$ atau 0.0839 liter/detik. Sehingga, efisiensi debit banjir (η banjir) total kawasan perumahan jika setiap rumah membuat 1 lubang resapan biopori adalah sebesar 17,46 %.



Sebagai perbandingan, dilakukan juga penelitian nilai reduksi debit banjir jika setiap rumah membuat 1 unit sumur resapan, maka untuk setiap rumah dapat mereduksi debit banjir yang masuk ke dalam sumur resapan akibat limpasan air hujan sebesar $0,239 \times 10^{-3} \text{ m}^3/\text{detik}$ 0,239 liter/detik. Efisiensi debit banjir (η banjir) total kawasan perumahan jika setiap rumah membuat 1 sumur resapan adalah sebesar 49,75%.



Debit banjir pada kondisi awal, debit banjir setelah terdapat LRB dan debit banjir setelah terdapat sumur resapan dengan PUH 2 s.d 100 tahunan dapat dirangkum dalam diagram sebagai berikut:



Dari hasil perhitungan diperoleh jumlah lubang resapan biopori yang ideal untuk perumahan Classic III, Medan adalah sebanyak 1096 unit lubang resapan biopori, total rumah pada kawasan studi adalah 109 unit rumah, sehingga untuk 1 rumah diperlukan $10,06 \approx 10$ unit lubang resapan biopori, jumlah tersebut diharapkan mampu mengatasi masalah banjir di lokasi studi.

PENUTUP

Kesimpulan

1. Pengujian *falling head permeability* yang dilakukan di laboratorium mekanika tanah, menunjukkan bahwa kondisi tanah pada lokasi penelitian dikategorikan jenis tanah lanau dengan nilai koefisien permeabilitas tanah pada kedalaman 1 m adalah $8,77 \times 10^{-4}$ cm/detik.
2. Setelah dilakukan perhitungan laju infiltrasi dan intensitas curah hujan maka dapat disimpulkan bahwa lubang resapan biopori yang direncanakan terbukti efektif mempercepat infiltrasi, yaitu hasil laju infiltrasi \geq intensitas hujan.
3. Debit banjir sebelum direncanakan sumur resapan sebesar 52.365×10^{-3} m³/detik, setelah ada lubang resapan berkurang menjadi 43.211×10^{-3} m³/detik, ini berarti bahwa lubang resapan biopori terbukti efektif mereduksi debit banjir sebesar 17,46 % dari debit banjir total kawasan perumahan.
4. Jumlah lubang resapan biopori yang ideal sesuai spesifikasi di kawasan perumahan Classic III, Medan adalah sebanyak 1096 unit lubang resapan biopori, yaitu sama dengan 10 unit lubang resapan biopori per rumah.

Saran

1. Untuk penelitian selanjutnya, sebaiknya dilakukan dilokasi perumahan yang berbeda dan kondisi tanah yang berbeda serta penggunaan alat yang berbeda seperti *double ring infiltrometer* agar diperoleh nilai perbandingan yang lebih teliti.
2. Untuk penelitian selanjutnya, disarankan menggunakan metode-metode yang lebih bervariasi dalam menyajikan hasil penelitian, misalnya menggunakan metode Holtan, Overton, dll dalam menghitung laju infiltrasi agar bisa dijadikan sebagai pembanding.
3. Diperlukan kesadaran dan partisipasi masyarakat dalam menerapkan lubang resapan biopori di lingkungan sekitarnya sehingga mampu membantu pencegahan bencana banjir khususnya di kawasan perumahan.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] Achmad, Mahmud. 2011. *Buku Ajar Hidrologi Teknik*. Universitas Hasanuddin, Makasar
- [2] Brata, Kamir R dan Nelistya, Anne. 2011. *Lubang Resapan Biopori*. Niaga Swadaya, Jakarta.
- [3] Das, Braja M. 1993. *Mekanika Tanah (Prinsip-prinsip Rekayasa Geoteknis)*. Erlangga, Jakarta.
- [4] Djuanda, Gustian. et al. 2012. *Teknologi Biopori dalam Memprakarsakan Teknologi Hijau*. PROSIDING PERKEM VII.
- [5] Kesuma, R. Wijaya. 2012. *Studi Pemaksimalan Resapan Air Hujan dengan Lubang Resapan Biopori Untuk Mengatasi Banjir (Studi Kasus : Kecamatan Dayeuh Kolot Kabupaten Bandung)*. ITB. Bandung.
- [6] Kodoatie, Robert J. dan Sjarief, Roestam. 2010. *Tata Ruang Air*. Andi Offset, Yogyakarta.
- [7] Mays, Larry W. 2004. *Water Resource Engineering*. John Wiley & Sons, Singapore.
- [8] Peraturan Menteri Negara Lingkungan Hidup. 2009. *Tata Cara Pemanfaatan Air Hujan*. Lampiran Peraturan Menteri Negara Lingkungan Hidup Nomor : 12 Tahun 2009.
- [9] Sibarani, R.T. dan Bambang, Didik S. 2009. *Penelitian Biopori Untuk Menentukan Laju Resap Air Berdasarkan Variasi Umur dan Jenis Sampah*. FTSP-ITS, Surabaya.
- [10] Sunjoto. 2011. *Teknik Drainase Pro-Air*. Jurusan Teknik Sipil dan Lingkungan Universtas Gajah Mada, Yogyakarta.
- [11] Suripin. 2004. *Sistem Drainase Perkotaan yang Berkelanjutan*. Andi Offset, Yogyakarta.
- [12] Wismarini, Dwiati. Et al. 2011. *Metode Perkiraan Laju Aliran Puncak (Debit Air) sebagai Dasar Analisis Sistem Drainase di Daerah Aliran Sungai Wilayah Semarang Berbantuan SIG*. Jurnal Teknologi Informasi DINAMIK Volume 16, Semarang.
- [13] Yashinta. 2005. *Analisa Laju Infiltrasi dengan Menggunakan Metode Halton*. Universitas Katolik Widya Mandira, Kupang.