

PENGARUH BIOPORI TERHADAP INFILTRASI DAN LIMPASAN PADA TANAH LEMPUNG BERLANAU

Umbu Damar Yudhistira¹⁾, Siti Qomariyah²⁾, Sobriyah³⁾

¹⁾ Mahasiswa Jurusan Teknik Sipil, Universitas Sebelas Maret

^{2),3)} Pengajar Jurusan Teknik Sipil, Universitas Sebelas Maret

Jln. Ir. Sutami 36 A, Surakarta 57126

e-mail : umbu.damar@gmail.com

Abstract

The amount of water in nature is fixed and follows a stream called the hydrologic cycle. Hydrological cycle is a process associated, in which water is transported from the ocean to the atmosphere (air), to land and back again into the sea. The hydrological cycle has a very important role for human life, animals, and plants. The rapid development led to increased land cover which will cause a reduction in infiltration of rain water into the soil and increases the amount of surface runoff. To overcome these problems, it takes the form of environmental management that can be done easily. This can be done for example by utilizing existing technologies such as Hole Infiltration Biopori. The purpose of this study was to determine the effect on infiltration and runoff biopori on silty clay soil with variable rainfall intensity, number biopori, and the slope of the land. The method used is an experimental method in the laboratory using a rainfall simulator. The parameters used are varied ntensitas rain (torrential evenly, heavy in the upstream, downstream heavy), the number biopori (0, 6, 12) and the slope is used (0°, 3°). Based on the results, the highest volume of infiltration on the number biopori 12, 0° tilt, and intensity of heavy rainfall in the upstream. Most on the amount of runoff volume biopori 0, the slope of 3° and intensity of heavy rainfall in the downstream. Variations in the amount biopori more dominant effect than variations in slope and rainfall intensity.

Keywords: biopori, infiltration, runoff, rainfall intensity, slope of the land.

Abstract

Pada prinsipnya, jumlah air di alam ini tetap dan mengikuti suatu aliran yang dinamakan siklus hidrologi. Siklus hidrologi adalah suatu proses yang berkaitan, dimana air diangkut dari lautan ke atmosfer (udara), ke darat dan kembali lagi ke laut. Siklus hidrologi ini mempunyai peranan yang sangat penting bagi kehidupan manusia, hewan, dan tumbuhan. Pesatnya pembangunan menyebabkan tutupan lahan meningkat yang akan menyebabkan berkurangnya resapan air hujan ke dalam tanah dan bertambah besarnya aliran permukaan. Untuk mengatasi permasalahan tersebut, diperlukan bentuk penanganan lingkungan yang dapat dilakukan dengan mudah. Hal ini dapat dilakukan antara lain dengan memanfaatkan teknologi yang telah ada seperti Lubang Resapan Biopori (LRB). Tujuan penelitian ini adalah untuk mengetahui pengaruh biopori terhadap infiltrasi dan limpasan pada tanah lempung berlanau dengan peubah intensitas hujan, jumlah biopori, dan kemiringan lahan. Metode yang digunakan adalah metode eksperimental di laboratorium dengan menggunakan alat *rainfall simulator*. Peubah yang digunakan adalah intensitas hujan yang bervariasi (deras merata, deras di hulu, deras di hilir), jumlah biopori (0, 6, 12) dan kemiringan yang digunakan (0°, 3°). Berdasarkan hasil penelitian didapatkan volume infiltrasi terbanyak pada jumlah biopori 12, kemiringan 0°, dan intensitas hujan deras di hulu. Volume limpasan terbanyak pada jumlah biopori 0, kemiringan 3°, dan intensitas hujan deras di hilir. Variasi jumlah biopori berpengaruh lebih dominan daripada variasi kemiringan dan intensitas hujan.

Kata kunci : biopori, infiltrasi, limpasan, intensitas hujan, kemiringan lahan.

PENDAHULUAN

Hujan yang jatuh ke bumi baik langsung menjadi aliran maupun tidak langsung yaitu melalui vegetasi atau media lainnya akan membentuk siklus aliran air mulai dari tempat yang tinggi (gunung, pegunungan) menuju ke tempat yang rendah baik di permukaan tanah maupun di dalam tanah yang berakhir di laut. Pada prinsipnya, jumlah air di alam ini tetap dan mengikuti suatu aliran yang dinamakan siklus hidrologi. Siklus Hidrologi adalah suatu proses yang berkaitan, dimana air diangkut dari lautan ke atmosfer (udara), ke darat dan kembali lagi ke laut. Siklus hidrologi ini mempunyai peranan yang sangat penting bagi kehidupan manusia, hewan, dan tumbuhan.

Pesatnya pembangunan fisik dari pertumbuhan penduduk yang cukup tinggi menyebabkan tutupan lahan oleh bangunan-bangunan kedap air (beton, aspal, dan sejenisnya) akan menyebabkan berkurangnya resapan air hujan ke dalam tanah dan bertambah besarnya aliran permukaan (*surface run off*). Untuk mengatasi permasalahan tersebut, diperlukan bentuk penanganan lingkungan yang dapat dilakukan dengan mudah. Hal ini dapat dilakukan antara lain dengan memanfaatkan teknologi yang telah ada seperti Lubang Resapan Biopori (LRB).

Teknologi ini tergolong murah, mudah dan cukup berguna dalam pemanfaatan serta penyimpanan sumber daya air dan mampu meningkatkan daya dukung lingkungan. Teknologi lubang resapan biopori (LRB) dikembangkan berdasarkan prinsip menjaga kesehatan ekosistem tanah untuk mendukung keanekaragaman hayati dalam tanah oleh tersedianya cukup air, udara dan sumber makanan (bahan organik). Lubang resapan biopori dibuat dengan menggali lubang kecil ke dalam tanah untuk memudahkan pemasukan air, oksigen, dan sampah organik.

Perpindahan air dari atas ke dalam permukaan tanah baik secara vertikal maupun secara horizontal disebut infiltrasi. Infiltrasi berubah-ubah sesuai dengan intensitas curah hujan. Akan tetapi setelah mencapai limitnya, banyaknya infiltrasi akan berlangsung terus sesuai dengan kecepatan absorpsi setiap tanah. Pada tanah yang sama kapasitas infiltrasinya berbeda-beda. Sehingga besarnya pengaruh adanya biopori terhadap infiltrasi akan diteliti dalam sebuah simulasi atau pemodelan dengan menggunakan alat *rainfall simulator*.

LANDASAN TEORI

Hujan terjadi saat evaporasi atau penguapan, uap - uap air mengalami kondensasi. Uap - uap air ini kemudian akan membentuk awan. Angin akan membawa butiran air. Butir - butir air ini menggabungkan diri dan semakin membesar akibat turbulensi udara. Butir- butir air ini akan tertarik oleh gaya gravitasi bumi sehingga akan jatuh ke permukaan bumi. Saat jatuh ke permukaan bumi menjadi aliran di sungai baik melalui limpasan permukaan, aliran antara atau sebagai aliran air tanah. (Sri Harto Br, 1993)

Kemiringan lahan berbanding terbalik dengan resapan ke dalam tanah, resapan ke dalam tanah akan menurun jika kemiringan tanah ditambah, resapan akan semakin besar pada tanah datar. (Arfan dan Pratama, 2012)

Dengan pertumbuhan kota yang meningkat resapan air hujan menjadi berkurang, apabila terjadi hujan, air tidak bisa meresap ke dalam tanah. Untuk mengatasi hal tersebut harus dibuatkan tempat peresapan air ke dalam tanah. Salah satunya dengan membuat lubang resapan air yang disebut Lubang Resapan Biopori (LRB). (Basuki Setiyo, 2013)

Lubang resapan biopori adalah metode resapan air yang ditujukan untuk mengatasi genangan air dengan cara meningkatkan daya resap air pada tanah. Peningkatan daya resap air pada tanah dilakukan dengan membuat lubang pada tanah dan menimbunnya dengan sampah organik untuk menghasilkan kompos. Sampah organik yang ditimbunkan pada lubang ini kemudian dapat menghidupi fauna tanah, yang seterusnya mampu menciptakan pori-pori di dalam tanah. (Kamir R Brata, 2008)

Analisis tanah menggunakan rumus-rumus umum seperti berikut:

1. Berat Jenis Alat

$$G_s = \frac{(W_3 - W_1)}{(W_2 - W_1)t_1 - (W_4 - W_3)t_2} \dots\dots\dots [1]$$

dimana,

- G_s = berat jenis butir tanah
- W_1 = berat piknometer kosong (gram)
- W_2 = berat piknometer + sampel kering (gram)
- W_3 = berat piknometer + sampel + aquades (gram)
- W_4 = berat piknometer + aquades jenuh (gram)
- t_1 = faktor koreksi pada suhu T_1 ($^{\circ}C$)
- t_2 = faktor koreksi pada suhu T_2 ($^{\circ}C$)

2. Angka Porositas

$$n = \left(1 - \frac{1}{G_s} \right) \dots\dots\dots [2]$$

dimana,

- G_s = berat jenis butir tanah
- n = Porositas

Untuk analisis biopori menggunakan rumus-rumus umum:

1. Ketinggian Rata-Rata Manometer

$$h^* = \frac{h_1 + h_2 + h_3 + \dots + h_{20}}{n} \dots\dots\dots [3]$$

dimana,

- h^* : ketinggian rata-rata manometer (mm)
- h_1, h_2, \dots, h_{20} : ketinggian air pada manometer (mm)
- n : jumlah manometer (20 buah)

2. Volume Infiltrasi

$$V = \Delta h \times n \times A \dots\dots\dots [4]$$

- V : volume infiltrasi yang terjadi (mm^3)
- Δh : infiltrasi yang terjadi (mm) diambil dari selisih ketinggian manometer saat h_n dan h_{n-1} , dengan catatan $h_{n-1} < h_n$, $h_n - h_{n-1}$ (jika hasilnya negatif, ditulis nol yang berarti tidak ada infiltrasi)
- n : angka porositas
- A : luas *catchment area* (mm^2)

3. Besarnya Laju Infiltrasi

$$f = \frac{V}{A} \dots\dots\dots [5]$$

dimana,

- f : laju infiltrasi (mm/mnt)
- V : volume infiltrasi (mm^3)
- A : luas *catchment area* (mm^2)

METODOLOGI

Tahapan pengujian:

1. Pengujian berat jenis tanah

Peralatan yang digunakan yaitu:

- a. Termometer
- b. Cawan tahan karat
- c. Pemukul berkepala karet untuk menguraikan gumpalan tanah menjadi butir-butir
- d. Oven listrik dengan pengatur suhu konstan sampai 1100C
- e. Piknometer, yaitu botol gelas dengan leher sempit dan bertutup yang berlubang kapiler, dengan kapasitas 50 cc atau lebih.
- f. Ayakan
- g. Mangkok
- h. Timbangan

Bahan yang digunakan yaitu:

- a. Tanah kering oven
- b. Air destilasi

Cara kerja pengujian sebagai berikut:

- a. Bersihkan dan keringkan piknometer kosong lalu ditimbang (= W1gram)
- b. Ambil sedikit contoh tanah yang telah kering oven dan telah didinginkan dalam desikator serta telah terurai, kemudian masukkan dalam piknometer kemudian ditutup dan ditimbang (=W2 gram)
- c. Isikan air destilasi ke dalam piknometer kira-kira sebanyak 10 cc, sehingga tanah terendam seluruhnya lalu dibiarkan terendam selama 24 jam.
- d. Tambahkan air destilasi sampai penuh lalu ditutup dengan hati-hati dan bagian luarnya dikeringkan dengan kain. Selanjutnya timbang piknometer berisi tanah dan air (=W3 gram), lalu ukur suhunya dengan thermometer (=T1o).

- e. Piknometer dikosongkan dan dibersihkan lalu diisi penuh dengan air destilasi dan ditutup dan keringkan bagian luarnya dengan kain, lalu ditimbang ($=W_4$ gram) dan diukur suhunya dengan thermometer ($=T_2$).
- f. Dari setiap satu tabung sampel diambil 3 (tiga) contoh tanah yang diperlakukan sama seperti langkah-langkah tersebut di atas untuk mendapatkan nilai berat jenis rata-rata.

2. Pengujian biopori

Peralatan yang digunakan yaitu:

- | | |
|---|--------------------|
| a. Rainfall Simulator dimensi bak 200×100 cm | k. Selang |
| b. Stopwatch | l. Compressor |
| c. Gelas ukur | m. Tang |
| d. Penggaris | n. Gergaji Peralon |
| e. Isolasi | o. Alat solder |
| f. Gunting | p. Spons |
| g. Ember | q. Meteran |
| h. Cetok | r. Baskom |
| i. Karung | s. Filter |
| j. Alat Tulis | |

Bahan yang digunakan yaitu:

- a. Tanah uji
- b. Air bersih
- c. Saringan
- d. Humus dari bahan organik
- e. Pipa untuk pembuatan biopori dengan diameter 1,25cm dan panjang 10 cm.

Cara kerja pengujian sebagai berikut:

Persiapan alat

- a. Membersihkan dan mempersiapkan alat *Rainfall Simulator*.
- b. Menutup saluran drainase dan lubang sumur, sehingga air yang keluar sistem hanya menuju ke outlet.
- c. Memasang saringan pada saluran infiltrasi yang terhubung ke manometer, agar tidak terjadi endapan sedimentasi di saluran infiltrasi.
- d. Memasang saringan pada outlet agar tanah tidak terbawa aliran air.
- e. Memasukkan tanah ke dalam bak rainfall simulator.
- f. Memasang biopori dan diisi dengan humus saat pengujian menggunakan biopori.
- g. Mengisi tangki air.
- h. Mengoperasikan hujan dengan intensitas maksimal agar saluran lancar pada saat penelitian.
- i. Mengatur manometer sampai kedudukan air pada manometer memiliki ketinggian yang sama.

Pengumpulan data

- a. Mengatur debit dengan membuka *spray nozzle* untuk mengatur intensitas hujan yang diberikan pada model daerah tangkapan tersebut sesuai dengan jenis hujan yang direncanakan hingga tinggi manometer tiap lubang sama.
- b. Menghidupkan stopwatch pertama sejak alat mulai dioperasikan dan mencatat tinggi manometer setiap 5 menit.
- c. Mengulangi poin a dan b untuk variasi hujan, kemiringan lahan dan jumlah biopori.

ANALISIS DATA DAN PEMBAHASAN

Berat jenis tanah dan angka porositas, dari hasil laboratorium didapatkan data sebagai berikut:

Tabel 1. Berat jenis tanah

Data	1	2	3
Berat piknometer kosong (W_1) gr	25,59	28,55	26,44
Berat piknometer + aquades (W_2) gr	75,55	77,63	75,72
Berat piknometer + sample kering (W_3) gr	41,27	44,18	42,1
Berat piknometer + sample kering + aquades (W_4) gr	83,34	85,34	84,6

t_1 = temperature of W_3	29	29	29
t_2 = temperature of W_4	28	28	28
Faktor koreksi pada suhu T_1	1,004	1,004	1,004
Faktor koreksi pada suhu T_2	1,00374	1,00374	1,00374
$GS = (W_3 - W_1) / ((W_2 - W_1)T_1 - (W_4 - W_3)T_2)$	1,976679	1,962981	2,296804
GS rata-rata	2,078821058		

Angka porositas dihitung dengan persamaan [2] sebagai berikut

$$n = \left(1 - \frac{1}{Gs}\right) = \left(1 - \frac{1}{2,07882105}\right)$$

$$n = 0,5189581$$

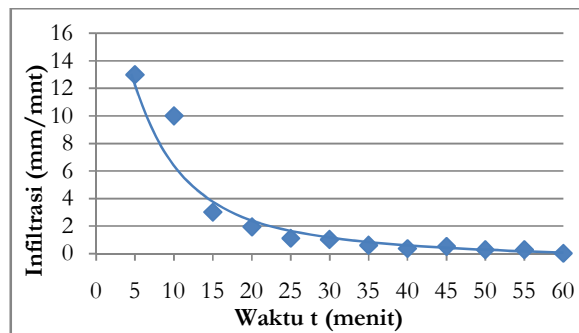
Contoh perhitungan volume infiltrasi jumlah biopori 12, kemiringan lahan 0° , intensitas hujan deras merata

Tabel 2. volume infiltrasi jumlah biopori 12, kemiringan lahan 0° , intensitas hujan deras merata

No	t menit	Tinggi Manometer (mm)							h* (mm)	V (mm ³)	f (mm/5mnt)
		1	2	...	18	19	20	20			
1	0	10	10	...	10	10	10	10			
2	5	80	29	...	55	52	41	35,05	25999801,6	12,9999	
3	10	85	67	...	65	57	46	54,3	19979887,4	9,989944	
4	15	85	78	...	70	63	46	60,1	6019914,14	3,009957	
5	20	85	78	...	70	63	46	63,85	3892185,86	1,946093	
6	25	85	79	...	70	63	46	66	2231519,9	1,11576	
7	30	85	82	...	70	63	48	67,95	2023936,65	1,011968	
8	35	85	84	...	70	63	48	69,1	1193603,67	0,596802	
9	40	85	85	...	70	63	48	69,8	726541,361	0,363271	
10	45	85	85	...	72	63	49	70,8	1037916,23	0,518958	
11	50	85	86	...	72	63	49	71,35	570853,927	0,285427	
12	55	85	86	...	72	63	49	71,9	570853,927	0,285427	
13	60	85	86	...	72	63	49	71,95	51895,8115	0,025948	
Jumlah										32,14946	

Volume infiltrasi dihitung dengan mengalikan besarnya infiltrasi rata-rata dengan luas *catchment area*.

$$\text{Volume infiltrasi} = \frac{32,14946}{60} \times 2 = 1,0716 \text{ liter}$$



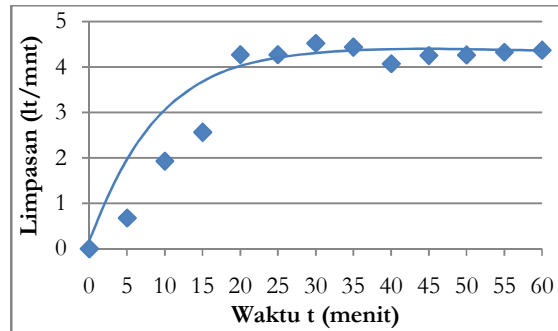
Gambar 1. Grafik infiltrasi hujan deras merata, jumlah boipori 12 dan kemiringan lahan 0°

Contoh perhitungan limpasan dengan jumlah biopori 12, kemiringan lahan 0° , hujan deras merata

Tabel 3. volume limpasan dengan jumlah biopori 12, kemiringan lahan 0° , hujan deras merata

No	Waktu (menit)	sebelum kalibrasi (liter/mnt)	Setelah kalibrasi (liter/mnt)
1	0	0	0
2	5	0,3	0,27
3	10	2,86	2,59
4	15	4,9	4,43
5	20	4,82	4,36
6	25	4,74	4,29
7	30	4,82	4,36

8	35	5	4,53
9	40	5,06	4,58
10	45	5,1	4,62
11	50	4,81	4,35
12	55	4,87	4,41
13	60	4,95	4,48
Jumlah			47,27



Gambar 2. Grafik limpasan dengan hujan deras merata, jumlah biopori 12 dan kemiringan lahan 0°

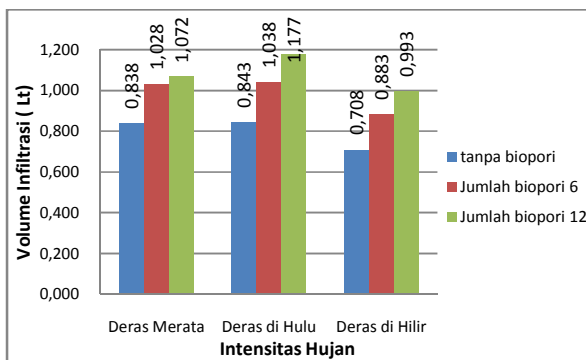
Dari perhitungan di dapat volume

- Volume Hujan = 60 Liter
- Volume Infiltrasi = 1,0716 Liter
- Volume Limpasan = 47,27 Liter

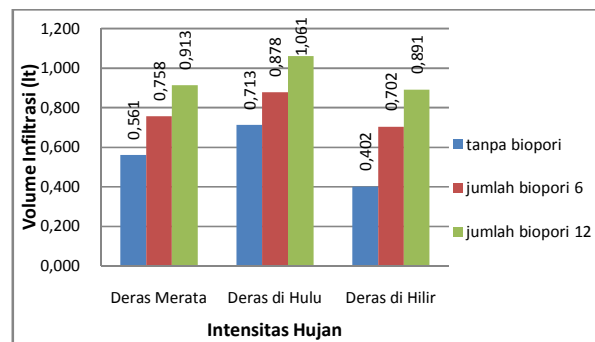
Volume yang dihasilkan diperoleh dalam waktu 60 menit

Dengan prosedur analisis yang sama, hasil infiltrasi dan limpasan pada intensitas hujan, kemiringan lahan, dan jumlah biopori lain

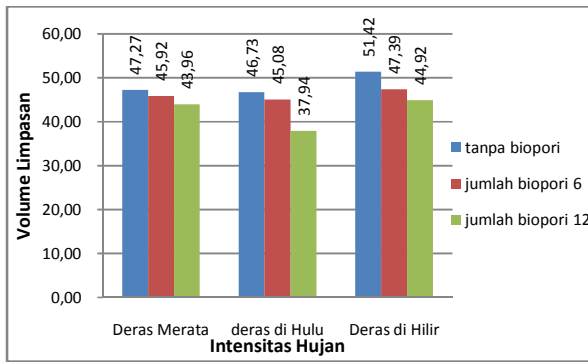
Perbandingan pengaruh biopori terhadap kemiringan lahan.



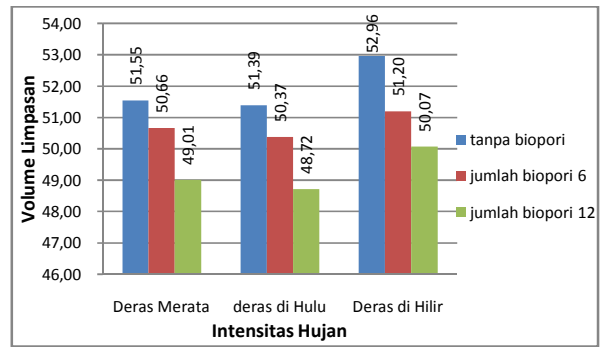
Gambar 3. Grafik pengaruh biopori terhadap volume infiltrasi pada kemiringan lahan 0°



Gambar 4. Grafik pengaruh biopori terhadap volume infiltrasi pada kemiringan lahan 3°

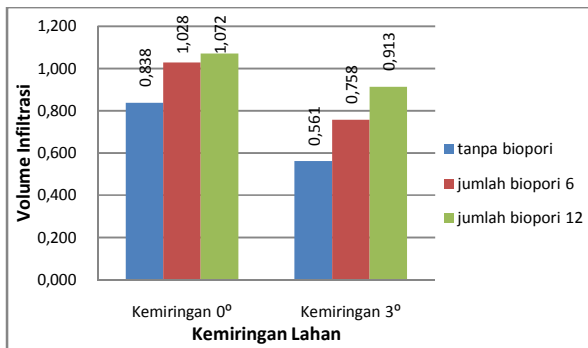


Gambar 5. Grafik pengaruh biopori terhadap volume limpasan pada kemiringan 0°

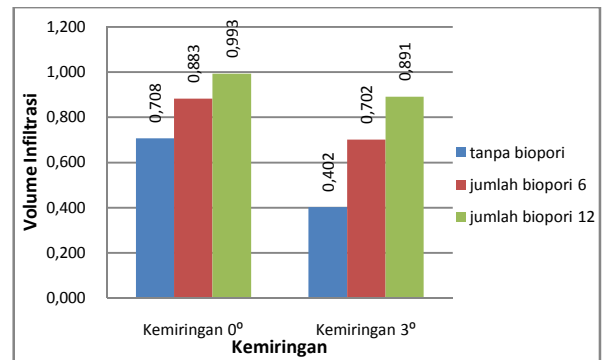


Gambar 6. Grafik pengaruh biopori terhadap volume limpasan pada kemiringan 3°.

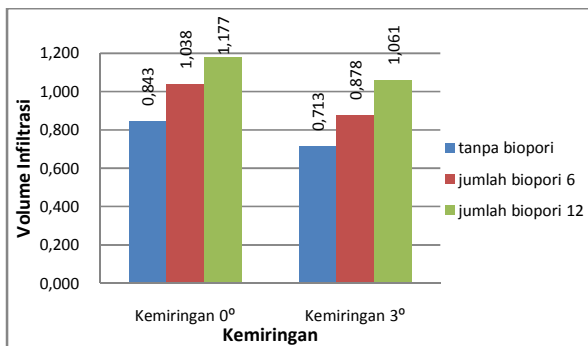
Perbandingan pengaruh biopori terhadap variasi intensitas hujan



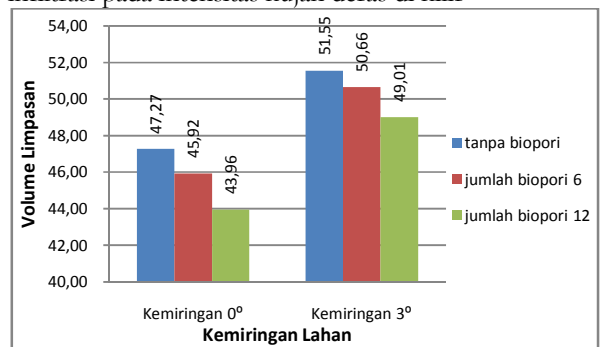
Gambar 7. Grafik pengaruh biopori terhadap volume infiltrasi pada intensitas hujan deras merata



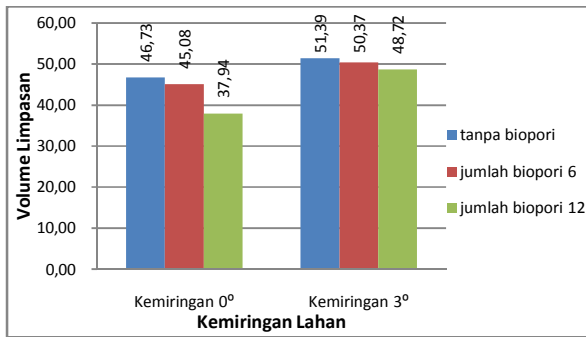
Gambar 9. Grafik pengaruh biopori terhadap volume infiltrasi pada intensitas hujan deras di hilir



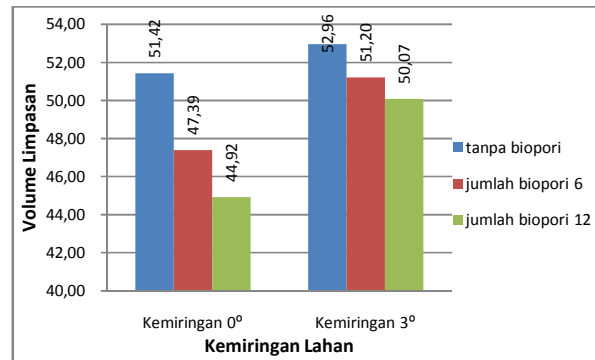
Gambar 8. Grafik pengaruh biopori terhadap volume infiltrasi pada intensitas hujan deras di hulu



Gambar 10. Grafik pengaruh biopori terhadap volume limpasan pada intensitas hujan deras merata



Gambar 11. Grafik pengaruh biopori terhadap volume limpasan pada intensitas hujan deras di hulu



Gambar 12. Grafik pengaruh biopori terhadap volume limpasan pada intensitas hujan deras di hilir

SIMPULAN

- Pengaruh jumlah biopori terhadap volume infiltrasi dengan variasi intensitas hujan pada kemiringan lahan 0°. Penambahan volume infiltrasi pada jumlah biopori 6 dan tanpa biopori sebesar 22,67% - 24,71%, sedangkan pada jumlah biopori 12 dan tanpa biopori sebesar 27,92% - 40,25%.
 - Pengaruh jumlah biopori terhadap volume infiltrasi dengan variasi intensitas hujan pada kemiringan lahan 3°. Penambahan volume infiltrasi pada jumlah biopori 6 dan tanpa biopori sebesar 23,14% - 74,63%, sedangkan pada jumlah biopori 12 dan tanpa biopori sebesar 48,81% - 121,64%.
- Pengaruh jumlah biopori terhadap volume infiltrasi dengan variasi kemiringan lahan pada intensitas hujan deras merata. Penambahan volume infiltrasi pada jumlah biopori 6 dan tanpa biopori sebesar 22,67%-35,12%, sedangkan pada jumlah biopori 12 dan tanpa biopori sebesar 27,92%- 62,75%.
 - Pengaruh jumlah biopori terhadap volume infiltrasi dengan variasi kemiringan lahan pada intensitas hujan deras di hulu. Penambahan volume infiltrasi pada jumlah biopori 6 dan tanpa biopori sebesar 23,13%-23,14%, sedangkan pada jumlah biopori 12 dan tanpa biopori sebesar 39,62%- 48,81%.
 - Pengaruh jumlah biopori terhadap volume infiltrasi dengan variasi kemiringan lahan pada intensitas hujan deras di hilir. Penambahan volume infiltrasi pada jumlah biopori 6 dan tanpa biopori sebesar 24,72%-74,63%, sedangkan pada jumlah biopori 12 dan tanpa biopori sebesar 40,25%- 121,64%.
- Pengaruh jumlah biopori terhadap volume limpasan dengan variasi intensitas hujan pada kemiringan lahan 0°. Pada jumlah biopori 6 dan tanpa biopori volume limpasan berkurang sebesar 2,8% sampai 7,8%, sedangkan pada jumlah biopori 12 dan tanpa biopori sebesar 7% sampai 18,8%
 - Pengaruh jumlah biopori terhadap volume limpasan dengan variasi intensitas hujan pada kemiringan lahan 3°. Pada jumlah biopori 6 dan tanpa biopori volume limpasan berkurang sebesar 1,7% sampai 3,3%, sedangkan pada jumlah biopori 12 dan tanpa biopori sebesar 4,9% sampai 5,5%.
- Pengaruh jumlah biopori terhadap volume limpasan dengan variasi kemiringan lahan pada intensitas hujan deras merata. Pada jumlah biopori 6 dan tanpa biopori volume limpasan berkurang sebesar 2,8% sampai 1,7%, sedangkan pada jumlah biopori 12 dan tanpa biopori sebesar 7% sampai 4,9%.
 - Pengaruh jumlah biopori terhadap volume limpasan dengan variasi kemiringan lahan pada intensitas hujan deras di hulu. Pada jumlah biopori 6 dan tanpa biopori volume limpasan berkurang sebesar 3,5% sampai 1,9%, sedangkan pada jumlah biopori 12 dan tanpa biopori sebesar 18,8% sampai 5,2%.
 - Pengaruh jumlah biopori terhadap volume limpasan dengan variasi kemiringan lahan pada intensitas hujan deras di hilir. Pada jumlah biopori 6 dan tanpa biopori volume limpasan berkurang sebesar 7,8% sampai 3,3%, sedangkan pada jumlah biopori 12 dan tanpa biopori sebesar 12,6% sampai 5,5%.

UCAPAN TERIMAKASIH

Ucapan terima kasih kepada Ir. Siti Qomariyah, M.Sc dan Prof. Dr. Ir. Sobriyah, MS yang telah membimbing, memberi arahan dan masukan dalam penelitian ini.

REFERENSI

- Anonim, (2001), *Product and Teaching Manual*
- Arfan, H., (2012), *Model Eksperimen Pengaruh Kepadatan, Intensitas Curah Hujan dan Kemiringan Terhadap Resapan pada Tanah Organik*, Universitas Hasanudin, Makasar
- Astari,D., (2004), *Model Hujan Limpaan di Daerah Permeable dan Impermeable dengan Peubah Kemiringan Lahan*, Universitas Sebelas Maret, Surakarta
- Brata, K., (2008), *Lubang Resapan Biopori*, Swadaya, Jakarta.
- Br., Sri Harto, (1993), *Analisis Hidrologi I*, Gramedia Pustaka Utama, Jakarta
- Budi, B.S., (2013), *Model Peresapan Air Hujan dengan Menggunakan Metode Lubang Resapan Biopori (LRB) dalam Upaya Pencegahan Banjir*, Politeknik Negeri Semarang, Semarang
- Chow,T.V., Maidment, D.R., Mays, L.M., (1988), *Applied Hydrology*, McGraw-Hill International Edition, New York
- Pilgrim H., (1992), *The Rational Method for Flood Design for Small Rural Basins in Australia, Water Resources and Publications*, Littleton, Colorado, USA
- Ponce, V.M, (1989), *Engineering Hydrology Principles and Practice*, Prentice Hall, EnglewoodCliff, New Jersey
- Soemarto, C.D., (1987), *Hidrologi Teknik*, Usaha Nasional, Surabaya
- Subarkah, (1978), *Hidrologi Untuk Perencanaan Bangunan Air*, Ide Dharma, Bandung
- Triatmojo, Bambang, (2008), *Hidrologi Terapan*, Beta Offset, Yogyakarta