

Received :

Accepted :

Published :

Analisis Kebutuhan Lubang Resapan Biopori Pada Daerah Rawan Banjir Di Kelurahan Batu Ampar

Muhammad Ma'arij Harfadli^{1*}, Mega Ulimaz², Cut Keumala Banaget³, Marita Wulandari⁴, Rizky Alfa Tipa Senobaan⁵, Hendrawan Santosa⁶

^{1,3,4,5,6}*Teknik Lingkungan, Jurusan Ilmu Kebumihan dan Lingkungan, Institut Teknologi Kalimantan, Balikpapan*

²*Perencanaan Wilayah dan Kota, Jurusan Ilmu Kebumihan dan Lingkungan, Institut Teknologi Kalimantan, Balikpapan*

* maarijharfadli@lectuter.itk.ac.id

Abstract

The Batu Ampar Village is one of the flood-prone areas of Balikpapan. The problems that flooding can cause are extremely damaging to the community. As a result, a solution is required to overcome the floods that occur, particularly in Batu Ampar Village. Making biopore infiltration holes is one way to reduce the possibility of flooding (LRB). LRB can improve soil water infiltration by creating infiltration holes. This method is useful in areas with limited infiltration areas. The quantitative observational method was used to determine the amount of LRB required in Batu Ampar Village. In Batu Ampar Village, three areas are prone to flooding. The infiltration rate was calculated at the biopore infiltration hole in each of the three locations using a double ring infiltrometer; the infiltration rate at location 1 was 0.108 m³/hour, the infiltration rate at location 2 was 0.087 m³/hour, and the infiltration rate at location 3 was 0.105 m³/hour. The runoff discharge at the three observation locations was also determined using a 2-year return period of rain, and it was discovered that the runoff discharge at location 1 was 263 m³/day, the runoff discharge at location 2 was 933 m³/day, and the runoff discharge at location 3 was 46 m³/day. The number of biopore infiltration holes in Batu Ampar Village at location 1 was 2,442, location 2 was 10,635 units, and location 3 was 47 units, based on the area, infiltration rate, and runoff discharge.

Keywords: Balikpapan, biopore infiltration holes, infiltration, flood

Abstrak

Salah satu wilayah rawan banjir yang ada di Kota Balikpapan adalah daerah Kelurahan Batu Ampar. Masalah yang dapat ditimbulkan oleh banjir sangat merugikan masyarakat, oleh karena itu perlu solusi agar banjir yang terjadi khususnya di daerah Kelurahan Batu Ampar dapat teratasi. Salah satu metode untuk mengurangi potensi banjir adalah dengan pembuatan lubang resapan biopori (LRB). LRB dapat digunakan untuk meningkatkan infiltrasi air pada tanah dengan cara pembuatan lubang resapan. Metode yang dilakukan untuk menentukan jumlah kebutuhan LRB pada Kelurahan Batu Ampar yaitu observasional kuantitatif. Terdapat tiga lokasi yang menjadi daerah rawan banjir pada Kelurahan Batu Ampar. Pada ketiga lokasi dilakukan perhitungan laju infiltrasi pada lubang resapan biopori menggunakan alat double ring infiltrometer dan didapatkan laju infiltrasi lokasi 1 adalah 0,108 m³/jam, laju infiltrasi pada lokasi 2 adalah 0,087 m³/jam, dan laju infiltrasi pada lokasi 3 adalah 0,105 m³/jam. Pada ketiga lokasi pengamatan ditentukan juga debit air limpasan menggunakan periode ulang hujan 2 tahunan didapatkan debit limpasan pada lokasi 1 adalah 263 m³/hari, debit limpasan lokasi 2 adalah 933 m³/hari, dan debit limpasan lokasi 3 adalah 46 m³/hari. Berdasarkan luas wilayah, laju infiltrasi, dan debit limpasan didapatkan keperluan jumlah lubang resapan biopori pada Kelurahan Batu Ampar pada lokasi 1 adalah 2.442 buah, lokasi 2 adalah 10.635 buah, dan lokasi 3 adalah 47 buah.

Kata kunci: Balikpapan, banjir, infiltrasi, lubang resapan biopori

1. Pendahuluan

Kelurahan Batu Ampar yang terletak di Kecamatan Balikpapan Utara merupakan salah satu daerah rawan banjir di Kota Balikpapan. Kawasan yang rentan akan banjir pada umumnya dikarenakan meningkatnya pembangunan. Perubahan penggunaan lahan telah menyebabkan penurunan jumlah daerah resapan air dan ruang terbuka hijau yang mengakibatkan terjadinya peningkatan aliran permukaan dan daya infiltrasi tanah. Kondisi ini diperparah dengan letak geografis Kecamatan Batu Ampar yang rentan dengan curah hujan yang tinggi yaitu kurang lebih 100 mm/jam dan kondisi topografi wilayah yang umumnya berbukit dan landai. Tidak stabilnya kontur kawasan tersebut membentuk daerah genangan (cekungan). Kondisi ini terjadi di daerah luapan sungai dan DAS serta didukung oleh jenis tanah, asupan air yang rendah dan kondisi drainase yang buruk. Dampak bencana banjir pada kawasan Kelurahan Batu Ampar khususnya tahun 2018 yakni, sebanyak 40 kepala keluarga terendam [1].

Ada tujuh faktor penyebab banjir di perkotaan, yaitu pembangunan yang tidak berkelanjutan, pola hidup masyarakat yang kurang bersih, sistem drainase yang tidak direncanakan dan dikelola dengan baik, kurangnya ketegasan dari pemerintah daerah dalam hal alokasi lahan sesuai RTRW, kurangnya upaya konservasi air, penurunan muka air tanah karena pengambilan air tanah yang berlebihan, curah hujan sangat tinggi [2]. Kerawanan banjir di Balikpapan dapat dilihat dari tutupan lahan, kemiringan lereng, jenis tanah dan curah hujan yang tinggi [3]. Selain itu juga faktor pendorong utama kerawanan banjir di Kota Balikpapan adalah meningkatnya pertumbuhan penduduk akibat urbanisasi, meningkatnya kebutuhan lahan, curah hujan yang tinggi, dan perubahan iklim akibat aktivitas manusia [4].

Fokus pada faktor penyebab banjir seperti kurangnya upaya konservasi air, jenis tutupan lahan dan curah hujan yang tinggi. Ketiga faktor tersebut dapat dicegah dengan beberapa metode. Salah satunya adalah Lubang Resapan

Biopori yang selanjutnya disingkat LRB. LRB adalah lubang berbentuk silinder yang dipasang tegak lurus ke dalam tanah dimana memiliki diameter lubang sekitar 10 – 30 cm dan panjang pipa 100 cm atau jika kondisi tanah dangkal, panjang pipa tidak boleh melebihi kedalaman muka air tanah [5]. Metode ini efektif digunakan untuk daerah yang memiliki keterbatasan lahan infiltrasi seperti area pemukiman, selain itu juga mampu menjadi upaya konservasi air skala individu [6], [7].

Beberapa penelitian terkait pengaruh LRB terhadap laju infiltrasi telah sering dilakukan. Seperti penelitian yang dilakukan oleh Khoirunisa (2014), menyebutkan pengaruh jumlah lubang resapan biopori terhadap laju infiltrasi memiliki pengaruh yang cukup signifikan. Perbandingan hasil uji laju infiltrasi pada tanah biopori dengan tanah biopori menunjukkan bahwa tanah dengan biopori dapat meningkatkan laju infiltrasi. Laju infiltrasi yang tinggi tidak hanya meningkatkan jumlah air tanah yang tersedia dalam pertumbuhan tanaman, tetapi juga mengurangi aliran permukaan (*runoff*), banjir dan erosi. Besar kecilnya pori dalam tanah berbanding lurus dengan laju infiltrasi, dimana semakin banyak pori dalam tanah maka semakin besar infiltrasi. [8]. Victorianto (2014) dan Halauddin (2016) menjelaskan pada penelitiannya bahwa adanya penerapan Lubang Resapan Biopori ini mampu mengatasi genangan air secara efektif [9], [10]. Selain itu penelitian terkait hubungan laju infiltrasi dengan aktivitas pengomposan pada LRB telah dilakukan. Hasil penelitian menunjukkan laju infiltrasi pada LRB akan optimal pada waktu 21 hari. Hal ini disebabkan adanya siklus umur mikroorganisme pengurai organik yang terbatas pada waktu 21 hari [11].

Berdasarkan penelitian-penelitian yang telah dilakukan tersebut, LRB dapat menjadi referensi sebagai metode dalam mengurangi genangan air dengan cara meningkatkan laju infiltrasi pada daerah rawan banjir. Sehingga tujuan dari penelitian ini adalah menganalisis laju infiltrasi dan menghitung kebutuhan LRB terhadap daerah rawan banjir yang terjadi di kawasan Kelurahan Batu Ampar. Sebagai

tambahan, diharapkan hasil penelitian ini dapat menjadi bahan referensi bagi Pemerintah Kota Balikpapan untuk mengatasi permasalahan banjir di perkotaan yang memiliki keterbatasan area infiltrasi.

2. Metoda Penelitian

Prosedur penelitian dilakukan dengan tahapan penentuan titik lokasi, pengukuran laju infiltrasi sebelum adanya LRB, pembuatan LRB pada masing-masing titik, pengukuran kembali laju infiltrasi setelah adanya LRB dan perhitungan jumlah LRB.

2.1. Penentuan Titik Lokasi LRB

Penentuan titik lokasi didasarkan pada analisis hasil pemetaan data spasial zona rawan banjir di Kelurahan Batu Ampar, Kecamatan Balikpapan Utara. Pemetaan spasial dilakukan dengan menggunakan aplikasi ArcGIS untuk mengetahui sebaran daerah yang berpotensi rawan terjadi banjir dengan membaginya kedalam zona tidak rentan, sedikit rentan, rentan, dan sangat rentan. Setelah didapatkan pembagian zona rawan banjir, dilakukan survei secara langsung pada beberapa daerah yang sangat rentan untuk mengetahui data-data kondisi eksisting yang terjadi di lingkungan.

2.2. Pengukuran Laju Infiltrasi Sebelum Adanya LRB

Setelah didapatkan titik lokasi yang rawan terjadi banjir di Kelurahan Batu Ampar, dilakukan pengukuran laju infiltrasi untuk mendapatkan kapasitas infiltrasi lahan. pengukuran dilakukan dengan menggunakan alat infiltrometer tabung ganda (*double ring infiltrometer*). Prinsip kerja dari alat *double ring infiltrometer* ialah mengisi alat uji dengan air hingga memenuhi lingkaran bagian luar dan lingkaran bagian dalam. Uji infiltrasi menggunakan alat *double ring infiltrometer* dilakukan pada lubang resapan biopori dengan diameter lubang 20 centimeter dan kedalaman lubang 1 meter. Uji resapan ini dilakukan hingga kondisi penurunan muka air pada lingkaran bagian dalam mencapai konstan (*Steady State*).



Gambar 1. Alat Double Ring Infiltrometer

Laju infiltrasi maksimum menggambarkan kemampuan tanah maksimum untuk menyerap air ke dalam tanah merupakan laju infiltrasi konstan. Laju infiltrasi konstan didapatkan ketika tanah mencapai keadaan jenuh sehingga penurunan air dalam alat *double infiltrometer* akan tetap/*steady*. Kecepatan infiltrasi saat kondisi *steady state* ini dikenal dengan kapasitas infiltrasi.

2.3. Pembuatan LRB

Pembuatan Lubang Resapan Biopori (LRB) dilakukan dengan tujuan mempercepat resapan air pada tanah yang berasal dari limpasan hujan di suatu lahan. Diameter lubang yang digunakan adalah 20 cm dengan variasi penambahan sampah organik dan kedalaman lubang antara 80-100 cm. Adapun jumlah LRB yang dibuat pada masing-masing titik lokasi yaitu sebanyak 2 lubang.

2.4. Pengukuran Laju Infiltrasi Setelah Adanya LRB

Dilakukan kembali pengukuran laju infiltrasi setelah adanya LRB dengan menggunakan alat double ring infiltrometer. Pengukuran dilakukan pada lubang resapan biopori yang telah dibuat. Uji ini dilakukan hingga penurunan muka air pada ring bagian dalam alat mencapai konstan/*steady*. Perhitungan pengukuran laju infiltrasi pada penelitian ini menggunakan model persamaan kurva kapasitas infiltrasi (*Infiltration Capacity Curve, IC - Curve*) yang dikemukakan Horton atau dikenal dengan rumus Horton.

$$(f = f_c + (f_o - f_c)e^{-Kt}) \tag{1}$$

Dengan nilai K adalah :

$$K = - \frac{1}{0,434 m} \tag{2}$$

Keterangan:

- K = konstanta
- F = kapasitas infiltrasi pada saat t (cm/jam)
- f_c = besarnya infiltrasi saat konstan (cm/jam)
- f_o = besarnya infiltrasi saat awal (cm/jam)
- t = waktu dari awal hujan
- e = 2,718
- m = gradien

2.5. Perhitungan Debit Limpasan

Limpasan air terjadi ketika curah hujan melebihi tingkat infiltrasi air ke dalam tanah. Perhitungan intensitas curah hujan didasarkan kepada data curah hujan Kota Balikpapan periode 2010- 2020. Data periode ulang hujan 2 tahunan dapat digunakan untuk menghitung debit limpasan air. Ada beberapa metode untuk menentukan intensitas hujan. Namun pada penelitian ini, menggunakan metode mononobe. Kelebihan metode mononobe ialah dapat digunakan untuk keadaan hujan dengan lama hujan yang relatif pendek. Data periode ulang hujan 2 tahunan digunakan untuk menghitung debit limpasan [12]. Metode mononobe dapat dijelaskan sebagai berikut:

$$I = \frac{R24}{24} \times \left(\frac{24}{t_c}\right)^{2/3} \tag{3}$$

Keterangan:

- I = intensitas hujan (mm/jam)
- R24 = curah hujan harian maksimum tahunan
- T_c = Waktu Konsentrasi (jam)

2.6. Perhitungan Jumlah Lubang Resapan Biopori (LRB)

Jumlah Lubang Resapan Biopori (LRB) dihitung dengan menggunakan rumus yang digunakan oleh [13] sebagai berikut.

$$\text{Jumlah LRB} = \frac{Q_{\text{limpasan}}}{F(t)} \tag{4}$$

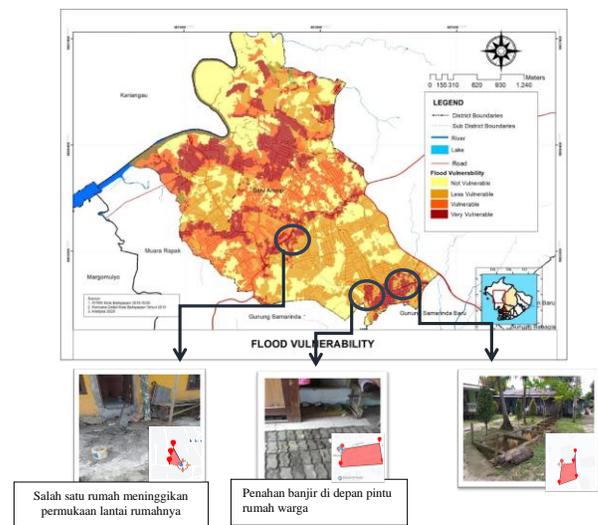
Keterangan:

- Q Limpasan = Debit limpasan (m³)
- F(t) = Nilai jumlah air yang terinfiltrasi (m³/jam)

3. Hasil Penelitian

3.1. Lokasi LRB

Lokasi rawan banjir di Kelurahan Batu Ampar didapatkan dari penelitian sebelumnya yang telah dilakukan. Lokasi titik-titik banjir di Kelurahan Batu Ampar ditentukan melalui survei langsung di lokasi penelitian. Berdasarkan hasil survei terdapat tiga lokasi rawan banjir pada Kelurahan Batu Ampar. Daerah rawan banjir terletak di daerah Jalan Jl. Soekarno Hatta Km. 4 RT 41 Kelurahan Batu Ampar dengan luas 2596 m² (Lokasi 1), Jl. Pattimura Gg Almuhajirin RT 28 Kelurahan Batu Ampar dengan luas 9210 m² (Lokasi 2), dan Jl. Pattimura (Royal Residence) RT 48 Kelurahan Batu Ampar dengan luas 450 m² (Lokasi 3) [3]. Adapun titik lokasi dari ketiga daerah tersebut dapat dilihat pada gambar 2.



Gambar 2. Lokasi LRB

3.2. Infiltrasi Sebelum Adanya LRB

Setelah didapatkan lokasi titik-titik banjir di Kelurahan Batu Ampar, selanjutnya menghitung nilai infiltrasi awal untuk digunakan sebagai pembandingan sebelum dan sesudah adanya LRB. Tabel 1 menunjukkan hasil pengukuran infiltrasi sebelum dan sesudah adanya LRB.

Tabel 1. Hasil Pengukuran Infiltrasi Sebelum Adanya LRB

Waktu (jam)	Hasil Pengukuran Infiltrasi (cm/jam)		
	Lokasi 1 (RT 41)	Lokasi 2 (RT 28)	Lokasi 3 (RT 48)
0	13,5	13,5	13,5
0,08	13,5	13,5	13,3
0,17	13,4	13,4	13,2
0,25	13,4	13,4	13,1
0,33	13,4	13,3	13
0,42	13,4	13,3	12,9
0,5	13,4	13,3	12,9
0,58	13,4	13,2	12,9
0,67	13,4	13,2	12,9
0,75	13,4	13,2	12,9
0,83	13,4	13,2	12,9
0,92	13,4	13,2	12,9
1	13,4	13,2	12,9

Sumber : Hasil Perhitungan

Berdasarkan Tabel 1 nilai infiltrasi dari ketiga lokasi penelitian tidak memperlihatkan nilai penyerapan air yang signifikan. Kapasitas lahan untuk mengalirkan air ke dalam tanah sangat kecil atau nilai permeabilitas lahan lambat. Hal ini dipengaruhi oleh jenis tanah di Kecamatan Batu Ampar. Jenis tanah yang tersebar di Kecamatan Batu Ampar merupakan jenis tanah alluvial di bagian utara dan litologi batu pasir kuarsa, sisipan batu lempung, batu lanau, dan batubara di bagian selatan Kecamatan Batu Ampar [3]. Jenis tanah alluvial memiliki nilai permeabilitas diantara lambat sampai agak cepat (0,01 – 7,34 cm/jam) [14]. Sedangkan jenis tanah lempung dengan sedikit kohesi (pasir halus dengan sedikit lempung atau pasir berlempung) memiliki nilai permeabilitas

antara lambat hingga sedang (0,36-3,6 cm/jam) [15].

3.3. Infiltrasi Setelah Adanya LRB

Setelah dilakukan pengukuran nilai infiltrasi sebelum adanya LRB selanjutnya mengukur nilai infiltrasi setelah ditanam LRB di lokasi penelitian. Adapun hasil pengujian nilai infiltrasi dapat dilihat pada tabel 2.

Tabel 2. Hasil Pengukuran Infiltrasi Setelah Adanya LRB

Waktu (jam)	Hasil Pengukuran Infiltrasi (cm/jam)		
	Lokasi 1 (RT 41)	Lokasi 2 (RT 28)	Lokasi 3 (RT 48)
0,00	13,5	13,5	13,5
0,08	10,0	8,0	11,0
0,17	8,5	8,0	10,5
0,25	8,5	8,0	10,3
0,33	8,5	8,0	10,0
0,42	8,4	7,5	10,0
0,50	8,4	7,4	10,0
0,58	8,3	7,2	9,8
0,67	8,0	6,7	9,8
0,75	8,0	6,1	9,5
0,83	7,8	6,0	9,5
0,92	7,1	5,5	9,5
1,00	3,3	4,6	9,4

Sumber : Hasil Perhitungan

Berdasarkan Tabel 2 terlihat bahwa nilai infiltrasi dari ketiga lokasi penelitian mengalami peningkatan akibat adanya LRB. Lokasi 1 mengalami peningkatan infiltrasi sebesar 75,5% dari kondisi awal. Lokasi 2 mengalami peningkatan infiltrasi sebesar 66%. Sedangkan lokasi 3 hanya mengalami peningkatan infiltrasi sebesar 30%. LRB dapat meningkatkan infiltrasi hingga 59% dengan kondisi biopori yang optimum [16]. Infiltrasi dapat ditingkatkan dengan LRB dibuktikan dengan persentase infiltrasi diatas 55% di dua lokasi penelitian. Nilai infiltrasi ini dipengaruhi oleh sifat fisik dan jenis tanah [17].

Setelah dilakukan pengukuran infiltrasi pada masing-masing lokasi penelitian, selanjutnya dilakukan perhitungan laju air yang

dapat diinfiltrasi (Ft) oleh lubang resapan biopori. Hasil perhitungan adalah sebagai berikut:

Tabel 3. Nilai F(t)

No	Nama	Laju Air Yang Terinfiltrasi (Ft) (m ³ /jam)
1	Lokasi 1	0,108
2	Lokasi 2	0,087
3	Lokasi 3	0,105

Sumber : Hasil Perhitungan

3.4. Perhitungan Debit Limpasan

Surface run off (aliran air permukaan) terjadi saat jumlah curah hujan melebihi laju infiltrasi air ke dalam tanah. Analisis ini dilakukan untuk memperoleh debit limpasan (*run off*) sebagai masukan untuk penentuan jumlah lubang resapan biopori di wilayah penelitian. Berikut data intensitas hujan jam per jam pada periode ulang hujan 2 tahunan.

Tabel 3. Intensitas PUH 2 Tahunan

Durasi (jam)	Intensitas hujan pada periode ulang 2 tahunan (mm/jam)
0,08	137,53
0,16	86,44
0,25	64,10
0,33	53,22
0,50	40,29
1,00	25,32
2,00	15,91
4,00	10,00
5,00	8,61
12,00	4,79
24,00	3,01

Sumber : Hasil Perhitungan

Kondisi ketiga lokasi penelitian berada pada lokasi pemukiman yang didominasi oleh perumahan yang berkelompok. Koefisien aliran permukaan untuk pemukiman dengan perumahan berkelompok adalah 0,6 [18].

Diasumsikan intensitas hujan dengan durasi 1 jam. Menggunakan data intensitas curah hujan, luas daerah penelitian, dan koefisien air permukaan dapat ditentukan jumlah debit limpasan dari masing-masing lokasi penelitian sebagai berikut.

Tabel 4. Debit Limpasan Pada Lokasi Penelitian

No	Area	A (m ²)	C	I (mm/jam)	Q (m ³)
1	Lokasi 1	2596	0,6	25,32	263
2	Lokasi 2	9210	0,6	25,32	933
3	Lokasi 3	450	0,6	25,32	46

Sumber: Hasil Perhitungan

Berdasarkan hasil perhitungan pada tabel 4 menunjukkan perbedaan debit limpasan pada lokasi penelitian. Lokasi 1 dengan luas daerah pemukiman 2596 m² memiliki debit limpasan sebesar 263 m³, lokasi 2 dengan luas daerah pemukiman 9210 m² memiliki debit limpasan sebesar 933 m³, lokasi 3 dengan luas daerah pemukiman 450 m² memiliki debit limpasan sebesar 46 m³. Perbedaan debit limpasan dipengaruhi oleh luas area pemukiman. Semakin besar luas area pemukiman maka semakin mempersempit daerah resapan air hujan. Meningkatnya jumlah lahan terbangun dan kedap air akan mempengaruhi daerah resapan air hujan di perkotaan dimana air hujan tidak dapat terinfiltrasi sehingga menyebabkan genangan [18].

3.5. Jumlah Lubang Resapan Biopori (LRB)

Setelah mendapatkan debit limpasan pada ketiga lokasi penelitian, selanjutnya menghitung jumlah LRB. Perhitungan jumlah LRB menggunakan persamaan (4). Data jumlah LRB di tiga lokasi penelitian sebagai berikut.

Tabel 5. Jumlah LRB pada Lokasi Penelitian

No	Area	Q (m ³)	F(t)	Jumlah LRB	Vol air terinfiltrasi (m ³)
1	Lokasi 1	263	0,1077	2.442	279,51
2	Lokasi 2	933	0,0877	10.635	807,88
3	Lokasi 3	46	0,1048	435	47,17

Sumber : Hasil Perhitungan

Kebutuhan lubang resapan biopori sangat dipengaruhi oleh jumlah debit limpasan. Hal tersebut dikarenakan semakin besar debit limpasan maka semakin besar jumlah air yang harus diinfiltrasi ke tanah. Pada lokasi 1 jumlah kebutuhan lubang resapan biopori adalah 2.442, lokasi 2 jumlah kebutuhan lubang resapan biopori sebanyak 10.635, lokasi 3 jumlah kebutuhan lubang resapan biopori sebanyak 435 lubang resapan..

4. Kesimpulan

Berdasarkan hasil perhitungan kebutuhan lubang resapan biopori (LRB) pada 3 lokasi di Kelurahan Batu Ampar adalah 2.442 LRB pada lokasi 1, 10.635 LRB pada lokasi 2, 435 LRB pada lokasi 3. Penentuan jumlah lubang resapan biopori dipengaruhi oleh debit limpasan dan banyaknya air yang terinfiltrasi. Jumlah debit limpasan pada lokasi penelitian dipengaruhi oleh luas daerah pemukiman atau terbangun. Sedangkan perbedaan laju infiltrasi pada ketiga lokasi penelitian disebabkan oleh perbedaan sifat fisik dan jenis tanah.

5. Saran

Penelitian lebih lanjut dibutuhkan dalam upaya pembuatan model penurunan genangan air akibat adanya LRB, sehingga diketahui efektivitas penggunaan LRB tersebut.

6. Daftar Pustaka

- [1] Perda Kota Balikpapan No 1 2013, "Rencana Pembangunan Jangka Panjang Daerah Kota Balikpapan Tahun 2005-2025," 2013.
- [2] P. N. Rahadjo, "7 Penyebab Banjir Di Wilayah Perkotaan Yang Padat Penduduknya 7 Causes Flooding In City Area Which Are Very Densely Populated," *JAI*, vol. 7, no. 2, pp. 205–213, 2014.
- [3] M. M. Harfadli and M. Ulimaz, "Identification of flood vulnerable zones in Batu Ampar Village, Balikpapan City using geographical information system methods," in *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*, Jan. 2021, vol. 623, no. 1. doi: 10.1088/1755-1315/623/1/012031.
- [4] Ariyaningsih, V. Sukhwani, and R. Shaw, "Vulnerability assessment of Balikpapan (Indonesia) for climate change-induced urban flooding," *Int J Disaster Resil Built Environ*, 2022, doi: 10.1108/IJDRBE-08-2021-0111.
- [5] M. M. Harfadli, D. A. Wicaksono, Q. Daffa, and R. Z. Mahdy, "The biopore's movement as flood prevention in Sungai Nangka Village, Balikpapan," *Abdimas: Jurnal Pengabdian Masyarakat Universitas Merdeka Malang*, vol. 7, no. 3, pp. 441–450, Aug. 2022, doi: 10.26905/abdimas.v7i3.7636.
- [6] I. Nurhayati, R. Ratnawati, M. Shofwan, and M. al Kholif, "Lubang Resapan Biopori Sebagai Strategi Konservasi Air Tanah Di Desa Kalanganya Kecamatan Sedati Sidoarjo," in *Prosiding Seminar Nasional Pelaksanaan Pengabdian Masyarakat (SNPM)*, 2018, pp. 34–41.
- [7] O. T. Purwadi, H. Yulianto, and Mashabi, "Lubang Resapan Biopori Sebuah Strategi untuk Memanfaatkan Air Hujan dalam Menjaga Kelestarian Sumber Air di Kota Bandar Lampung," *Jurnal Rekayasa*, vol. 18, no. 1, pp. 47–58, 2014.
- [8] N. Khoirunisa, Z. A. Wardana, and S. A. Susilawati, "Pengaruh Lubang Resapan Biopori Terhadap Laju Infiltrasi Dan Kelimpahan Mikroorganisme Tanah," in *University Research Coloquium*, 2014, pp. 1–8.
- [9] E. Victorianto, S. Qomariyah, and Sobriyah, "Pengaruh Lubang Resapan Biopori Terhadap Limpasan Permukaan," *Jurnal Matriks Teknik Sipil*, vol. 2, no. 3, pp. 423–430, 2014.
- [10] Halauddin, Suhendra, Refrizon, and Faisal Fachri, "Pemanfaatan Lubang Resapan Biopori (LRB) dan Perhitungan Permeabilitas Untuk Setiap Titik Lubang Resapan di Rawa Makmur Permai Bengkulu," *Jurnal Gradien*, vol. 12, no. 1, pp. 1149–1152, 2016.
- [11] I. D. G. J. Negara, A. Setiawan, H. Saida, and A. Gunawan, "Karakteristik Laju Resapan Lubang Biopori Pada Beberapa Jenis Sampah Organik," *Jurnal Ganec Swara*, vol. 15, no. 1, pp. 1004–1012, 2021, [Online]. Available: <http://journal.unmasmataram.ac.id/index.php/GARA>

- [12] R. N. Rahmani, Sobriyah, and A. H. Wahyudi, "Transformasi Hujan Harian ke Hujan Jam-jaman Menggunakan Metode Mononobe dan Pengalihragaman Hujan Aliran (Studi Kasus di DAS Tirtimoyo)," *Jurnal Matriks Teknik Sipil*, vol. 4, no. 1, pp. 176–185, 2016.
- [13] R. S. Sanitya and H. Burhanudin, "Penentuan Lokasi dan Jumlah Lubang Resapan Biopori di Kawasan DAS Cikapundung Bagian Tengah," *Jurnal Perencanaan Wilayah dan Kota*, vol. 13, no. 1, pp. 1–14, 2013.
- [14] A. Mulyono, A. F. Rusydi, and H. Lestiana, "Permeabilitas Tanah Berbagai Tipe Penggunaan Lahan Di Tanah Aluvial Pesisir Das Cimanuk, Indramayu," *Jurnal Ilmu Lingkungan*, vol. 17, no. 1, p. 1, May 2019, doi: 10.14710/jil.17.1.1-6.
- [15] A. Surandono and H. Probowo, "Studi Pengolahan Air Hujan (Air Tanah) Terhadap Muka Air Tanah dengan Menggunakan Alat Permeabilitas Lapangan (Sumur Uji) (Studi Kasus Pada Kelurahan Rejomulyo Kecamatan Metro Selatan Kota Metro)," *TAPAK*, vol. 6, no. 2, pp. 166–174, 2017.
- [16] M. Juliandari, A. Nirmala, and E. Yuniarti, "Efektivitas Lubang Resapan Biopori Terhadap Laju Resapan (Infiltrasi)," *Jurnal Teknologi Lingkungan Lahan Basah*, vol. 1, no. 1, pp. 1–10, 2013.
- [17] F. Alia, P. Kusuma, M. Baitullah, and A. Gautama, "Kajian Pengaruh Lubang Resapan Biopori (Lrb) Terhadap Kapasitas Infiltrasi Pada Perumahan Kencana Damai Kota Palembang," *TERAS JURNAL*, vol. 12, no. 1, p. 165, Apr. 2022, doi: 10.29103/tj.v12i1.672.
- [18] N. D. Utami and S. Suprayogi, "Kajian Debit Banjir Akibat Perubahan Penggunaan Lahan Di Sub Das Belik, Daerah Istimewa Yogyakarta," *Jurnal Bumi Indonesia*, vol. 3, no. 3, 2014.