

Efektifitas Biopori Drainase sebagai Resapan Air

Abdul Hakim^{1,*}

¹ Prodi Teknik Lingkungan, Fakultas Sains dan Teknologi, UIN Sunan Ampel, Surabaya, Indonesia

*abdul.hakim@uinsby.ac.id

Abstract

The infrastructures development and the rapid population of many big cities have caused decreasing of green open space availability. Therefore, water on soil surface can not infiltrate into under ground fastly. In Contrast, the high water runoff after heavy rain affects the puddles in UIN Sunan Ampel Surabaya in rainy season. The objectives of study are to calculate how many height of puddles in drainage channel with low of gradient hydraulic value and to analyze soil ability in site to infiltrate water. A laboratory test has been conducted such as: properties soil test, permeability, and infiltration test to analyze the biodrain need in 5 (five) of drainage channel. The result shows that channel C-D needs 16 biodrain, channel K-M needs 5 biodrain, channel M1-M and P1-Q1 need 12 biodrain, Moreover, channel Q-T needs 30 biodrain to infiltrate water into soil effectively. Keywords: Bioporedrainage, water infiltration, Runoff.

Abstrak

Pembangunan infrastruktur dan jumlah penduduk yang padat di beberapa kota besar telah menyebabkan berkurangnya ketersediaan ruang terbuka hijau sehingga air di atas permukaan tanah tidak dapat meresap ke dalam tanah dengan cepat. Sebaliknya air *runoff* yang tinggi mempengaruhi terjadinya genangan air di dalam kampus UIN Sunan Ampel Surabaya pada saat musim penghujan. Tujuan penelitian ini adalah untuk menghitung berapa tinggi genangan di dalam saluran drainase dengan nilai gradien hidrolik yang rendah dan untuk menganalisa kemampuan permukaan tanah dalam menyerap air. Uji laboratorium dilakukan seperti: tes propertis tanah, permeabilitas dan tes infiltrasi pada 5 (lima) saluran drainase. Hasil dari penelitian ini menunjukkan bahwa saluran C-D memerlukan 16 biopori, saluran K-M memerlukan 5 (lima) biopori, saluran M1-M dan P1-Q1 memerlukan 12 biopori. Selanjutnya saluran Q-T memerlukan 30 biopori untuk meresapkan air ke dalam tanah dengan efektif.

Kata Kunci: Biopori drainase, infiltrasi air, *Runoff*.

1. PENDAHULUAN

Beberapa akhir dekade ini, ketersediaan air menjadi isu yang serius baik di tingkat nasional maupun internasional, kebutuhan air terus meningkat seiring bertambahnya jumlah penduduk di muka bumi. Air tanah masih menjadi sumber pilihan utama bagi penduduk karena kualitas dan biayanya yang lebih murah, namun sayangnya ketersediaannya saat ini semakin berkurang akibat eksploitasi yang masif oleh industri, kantor pelayanan publik maupun rumah tangga. Selanjutnya, ketersediaan area resapan air atau ruang terbuka hijau semakin berkurang akibat alih fungsi lahan baik di daerah hulu maupun di daerah hilir sehingga air hujan yang jatuh tidak dapat meresap ke dalam tanah tetapi air melimpas langsung (*runoff*) ke saluran drainase maupun sungai. Permasalahan sistem

drainase yang kurang baik juga terjadi di kampus UIN Sunan Ampel Surabaya dengan indikasi masih sering terjadi genangan saat musim hujan seperti di depan Gedung Auditorium, di belakang Gedung *Twin Towers* dan di depan Fakultas Ushuludin. Perbaikan drainase di UINSA telah dilakukan sejak tahun 2015 bersamaan dengan proyek IsDB (*Islamic Development Bank*) dan Pekerjaan peninggian Jalan namun karena terdapat beberapa saluran dengan nilai gradien hidrolik yang mendekati nol (landai) menyebabkan genangan masih terlihat khususnya pada saat musim hujan (Ridwan, *et.al*, 2019). Selain itu, jumlah RTH di UINSA yang masih berada di bawah standar berdasar kajian master plan kampus I UIN Sunan Ampel Surabaya. Pada tahun sebelumnya yakni pada Tahun 2018 (Hakim dkk., 2018), juga telah melakukan penelitian

yang serupa dengan hasil berupa rekomendasi agar perlu dibuat beberapa jumlah biopori, tetapi hal ini juga sulit karena terbatasnya lahan yang dapat digunakan untuk lubang biopori tersebut.

Biodrain adalah sebuah invensi kombinasi antara saluran drainase dan biopori untuk mengatasi permasalahan genangan air pada saluran drainase agar air dapat meresap secara optimal ke dalam tanah. Beberapa pengujian telah dilakukan yaitu uji properties tanah, permeabilitas dan infiltrasi tanah untuk menghitung kebutuhan biodrain pada 5 (lima) saluran drainase yang bermasalah.

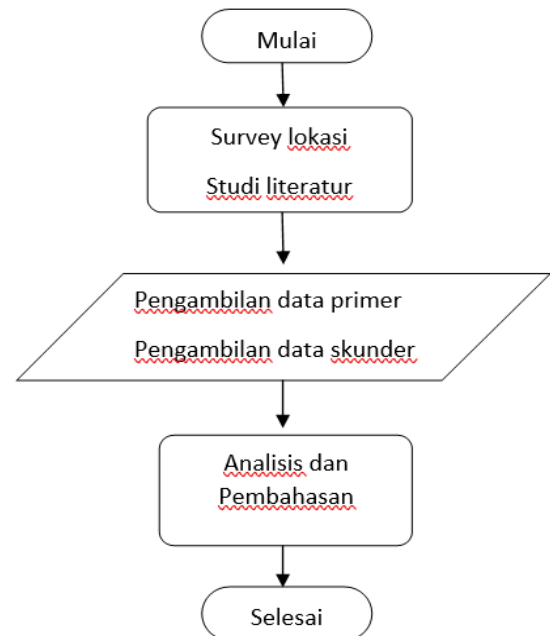
Tujuan penelitian ini yaitu mengetahui tinggi genangan pada saluran drainase untuk mengurangi genangan tersebut. Selain itu untuk mengetahui upaya meningkatkan jumlah air yang meresap ke dalam tanah dan memberi rekomendasi teknik kepada pengelola pembangunan kampus UIN Sunan Ampel Surabaya.

2. METODE PENELITIAN

Metode penelitian ini secara umum disajikan pada Gambar 1. Investigasi dilakukan untuk mengetahui jenis tanah asli kampus UIN Sunan Ampel dengan melakukan pengeboran dan pengambilan sampel tanah di beberapa titik lokasi untuk dilakukan pengujian di laboratorium.

1. Uji material tanah di laboratorium
Pengujian material tanah dilakukan di laboratorium Integrasi UIN Sunan Ampel Surabaya. Pengujian ini selain mendapatkan klasifikasi dan komposisi tanah juga diharapkan mendapatkan data parameter tanah untuk keperluan analisis seperti:
 - a) Gradasi tanah asli dan tanah organik
 - b) Koefisien permeabilitas (k).
 Uji rembesan dengan alat permeameter untuk mengetahui koefisien permeabilitasnya (k). Air dimasukkan ke saluran dan dihitung kecepatan rembesannya.
2. Analisis Data.
Analisis data menggunakan teori Mekanika Tanah dan hidrologi. Teori mekanika tanah digunakan untuk menganalisa hasil uji klasifikasi tanah dan propertis tanah dengan parameter seperti: gradasi tanah, kadar air (w), berat satuan volume tanah (γ), koefisien permeabilitas (k). Sedangkan teori hidrologi digunakan

untuk menganalisis hasil perhitungan curah dan debit rencana dengan beberapa metode perhitungan dalam menentukan intensitas hujan dari data sekunder (data curah hujan) yang diperoleh dari berbagai instansi yang mengurus masalah iklim dan cuaca.



Gambar 1. Bagan Alir Tahapan Penelitian

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

a. Kondisi Drainase di UIN Sunan Ampel

Permasalahan sistem drainase yang terjadi di kampus UIN Sunan Ampel Surabaya seperti yang ditunjukkan pada Gambar 2 adalah arah aliran air yang berlawanan dengan arah alamiah aliran air yang seharusnya yaitu aliran yang berdasarkan gravitasi. Arah aliran air alamiah/gravitasi di Surabaya yang seharusnya menuju ke arah laut yaitu ke utara dan ke timur, hal ini dibuktikan oleh saluran eksisting yang merupakan drainase milik pemerintah kota Surabaya.

Saluran drainase eksisting yang seharusnya menuju ke arah timur atau menuju ke permukiman penduduk diarahkan Kembali ke dalam kampus (arah selatan) karena penduduk menolak dilewati saluran tersebut. Hal ini menyebabkan masalah pada elevasi saluran sehingga memerlukan penyesuaian agar air dalam saluran dapat mengalir menuju titik akhir yang telah ditentukan yaitu saluran Kota yang elevasinya lebih tinggi seperti yang ditunjukkan pada Tabel 1.

berbatasan langsung dengan kampus UIN Sunan Ampel Surabaya sebagaimana tabel 2. Data ini diambil karena lokasi pembangunan *Apartemen the Frontage* berdampingan dengan kampus UIN Sunan Ampel Surabaya.

Tabel 2. Hasil Tes N-SPT

Kedalaman (m)	Deskripsi	N-SPT B1	Deskripsi	N-SPT B2
0	Lempung+ Bata Merah	0	Pasir + Bongkaran	0
-1				
-2		2		2
-3	Lempung Lunak		Lempung Lunak	
-4		2		2
-5				
-6		2		1
-7				
-8		1		1
-9				
-10		1		1
-11				
-12		1		1
-13				
-14		1		1
-15				

(Sumber: Afriyanto, 2017)

Dari Tabel 2 dapat dijelaskan bahwa lapisan atas atau lapisan dari permukaan tanah sampai dengan kedalaman 2 m didominasi oleh lempung, pasir, bongkaran, gragal dan terdapat bata merah. Hal ini dapat disimpulkan bahwa lapisan pada lokasi tersebut merupakan tanah urugan untuk perataan lokasi pembangunan.

Pada elevasi -2 m sampai dengan -5 m didominasi oleh jenis tanah berupa pasir halus dan pasir kelempungan. Elevasi -5 m sampai dengan -15 m berupa lempung lunak. Sedangkan lempung keras ditemukan di bawah elevasi -15 m.

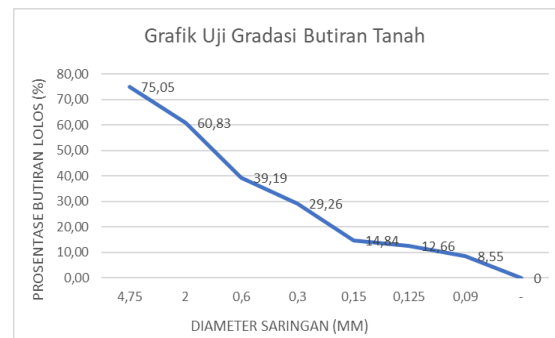
Dari pengamatan penulis di lokasi dalam kampus bahwa air tanah ditemukan pada elevasi - 1,5 m sebagaimana ditunjukkan dalam gambar 4.2. Hal ini membuktikan bahwa elevasi - 2m berupa tanah pasir karena keberadaan air biasanya berada pada tanah dengan permeabilitas yang besar.

c. Hasil Uji Laboratorium Analisis Ukuran Butiran Tanah

Ukuran butiran tanah dapat diketahui dengan analisis saringan dan

analisis hydrometer yang dilakukan di Laboratorium. Pengambilan sampel tanah dilakukan di tiga titik di lokasi dalam Kampus yaitu: titik 1 di belakang Fakultas Adab, titik 2 di dekat lapangan Futsal/ Pesantren mahasiswa putra dan titik 3 di depan Gedung perpustakaan yang baru. Penentuan titik-titik sampel di atas merupakan representasi dari lokasi saluran yang memiliki gradien hidrolik rendah.

Dari hasil analisis saringan pada sampel tanah di daerah saluran C-D diperoleh hasil analisis butiran tanah seperti grafik pada Gambar 3.



Gambar 3. Grafik Analisis Butiran Tanah C-D

Dari Gambar 3 dapat dijelaskan bahwa hasil analisis saringan diperoleh bahwa butiran tanah yang tertahan saringan no. 4 (4,75 mm) sebanyak 25%, sedangkan yang tertahan antara no. 4 sampai no 200 adalah 75%. Selanjutnya butiran tanah yang lolos saringan nomor 200 sebanyak 10%. Berdasarkan Klasifikasi tanah berdasarkan USDA (*United State Department of Agriculture*) dengan segitiga tanah seperti gambar 5 dapat dijelaskan bahwa sampel tanah yang diambil dari lokasi pesantren mahasiswa putra tersebut termasuk jenis tanah Pasir kelanauan.

Kadar Air (w)

Kadar air dilakukan untuk mengetahui kandungan air dalam tanah. Kadar air dinyatakan dalam persen. Sehingga kadar air menyatakan persentase volume air terhadap volume tanah.

Lokasi pengambilan sampel tanah untuk uji kadar air (w) diambil di belakang gedung Fakultas Adab dan di lapangan Futsal. Sampel diletakkan

pada 4 (empat) cawan yang ditimbang baik sebelum dan setelah dioven selama 24 jam dengan suhu 105°C seperti ditunjukkan Tabel 3.

Tabel 3. Kadar Air Tanah

	Sampel 1		Sampel 2	
a	10,55	10,44	10,55	10,68
(gr)				
b	43,47	45,51	35,48	36,79
(gr)				
c	40,62	41,62	33,23	34,32
(gr)				
w	9,48	12,57	9,92	10,45
(%)				
Rata	11,03		10,19	
(%)				

(Sumber: Laboratorium Integrasi UINSA, 2021)

Hasil uji kadar air seperti Tabel 3 dapat dijelaskan bahwa rata-rata kadar tanah di lokasi penelitian 11,03% dan 10,19%.

Berat isi tanah (γ)

Perhitungan ini terdiri berat isi tanah basah (γ), berat isi tanah kering (γ_d) dan berat isi tanah jenuh (γ_{sat}).

Lokasi pengambilan sampel tanah untuk menghitung berat volume yaitu sama dengan sampel tanah untuk uji saringan tanah, sedangkan penghitungan dilakukan di laboratorium integrasi UIN Sunan Ampel Surabaya dengan hasil seperti ditunjukkan pada Tabel 4.

Tabel 4. Berat Isi Tanah

	Sampel 1	Sampel 2	Sampel 3
Volume (cm ³)	84,78	84,78	84,78
Berat wadah + sampel (gram)	160,47	163,36	165,67
Berat wadah (gr)	10,35	10,56	10,42
γ (g/cm ³)	1,77	1,80	1,83
Rata-rata γ (g/cm ³)	1,80		
γ_d (g/cm ³)	1,61	1,64	1,66
Rata-rata γ_d (g/cm ³)	1,64		

(Sumber: Laboratorium Integrasi UINSA, 2021)

Dalam Tabel 4 dapat dijelaskan bahwa berat volume tanah basah rata-rata yaitu 1,80 g/cm³, sedangkan berat volume tanah

kering rata-rata 1,64 g/cm³. Hasil di atas sesuai dengan sifat-sifat fisik tanah untuk jenis tanah kapasiran.

Permeabilitas Tanah

Dari hasil Analisa gradasi tanah yang telah dilakukan di Laboratorium integrasi seperti Gambar 3 menunjukkan bahwa tanah adalah jenis pasir kelanauan.

Uji permeabilitas pada sampel tanah ini menggunakan metode *constant head*. Nilai koefisien permeabilitas k dapat dihitung menggunakan rumus seperti di bawah ini:

$$k = QL/Aht \quad (1)$$

Keterangan:

K = koefisien permeabilitas (cm/det)

Q = volume air yang terkumpul (m³/det)

A = luas penampang melintang contoh tanah (m²)

t = waktu yang digunakan untuk mengumpulkan air (detik)

$$i = h/L$$

L = Panjang contoh tanah (m)

Dari hasil uji Laboratorium diperoleh nilai koefisien permeabilitas seperti Tabel 5 di bawah ini:

Tabel 5. Nilai Koefisien Permeabilitas (K)

No	Sampel Tanah	Koefisien Permeabilitas (k)(cm/det)
1	Fakultas Adab	0,0246
2	Pesantren Mahasiswa Putra	0,0352
3	Gedung Perpustakaan	0,0366

(Sumber: Laboratorium Integrasi UINSA, 2021)

Hasil uji permeabilitas pada Tabel 5 menunjukkan bahwa nilai k rata-rata pada 3 (tiga) lokasi pengamatan diperoleh 0,0321 cm/det.

d. Intensitas Curah Hujan Daerah Penelitian

Intensitas Curah hujan dihitung berdasarkan analisis yang telah dilakukan oleh Marta *et. al*, 2018 dan Ridwan *et. al*, 2019. Marta menggunakan metode Mononabe dengan data hujan 10 tahun terakhir yang diperoleh dari BMKG Maritim Perak Surabaya dan UPT PSDA Surabaya. Hasil analisis data curah hujan diperoleh intensitas hujan untuk periode

ulang 2 tahun sampai dengan 100 tahun seperti Tabel 6 di bawah ini.

Tabel 6. Intensitas Curah Hujan						
R24 (mm/jam)						
t (Jam)	R2	R5	R10	R25	R50	R100
	510,10	591,10	639,87	697,45	729,31	762,86
1	178,72	207,11	224,19	244,36	255,53	267,28
	112,33	130,17	140,91	153,58	160,60	167,99
3	85,60	99,20	107,38	117,05	122,39	128,02
4	70,60	81,81	88,56	96,53	100,94	105,58
5	60,79	70,45	76,26	83,12	86,92	90,92
6	53,80	62,34	67,49	73,56	76,92	80,46
7	48,52	56,23	60,87	66,34	69,37	72,57
8	44,37	51,41	55,66	60,67	63,44	66,36
9	41,00	47,51	51,43	56,06	58,62	61,32
10	38,21	44,27	47,93	52,24	54,63	57,14
11	35,84	41,53	44,96	49,01	51,25	53,61
12	33,81	39,18	42,42	46,23	48,35	50,57
13	32,05	37,14	40,20	43,82	45,82	47,93
14	30,49	35,34	38,25	41,70	43,60	45,61
15	29,12	33,74	36,52	39,81	41,63	43,55
16	27,88	32,31	34,98	38,13	39,87	41,70
17	26,77	31,03	33,59	36,61	38,28	40,04
18	25,77	29,86	32,32	35,23	36,84	38,54
19	24,85	28,80	31,17	33,98	35,53	37,17
20	24,01	27,82	30,12	32,83	34,33	35,91
21	23,24	26,93	29,15	31,78	33,23	34,76
22	22,53	26,10	28,26	30,80	32,21	33,69
23	21,86	25,34	27,43	29,90	31,26	32,70
24	21,25	24,62	26,66	29,06	30,38	31,78
Jml	1113,5	1290,3	1396,80	1522,50	1592,05	1665,2
	2	4				8

(Sumber: Marta et. al, 2018)

e. Debit Limpasan (Qr)

Dalam menghitung debit limpasan pada area kampus UIN Sunan Ampel (Tabel 7) menggunakan metode rasional (Triatmodjo, 2013).

$$Q = 0,278 \times C \times I \times A \quad (2)$$

Keterangan:

Q= Debit puncak yang ditimbulkan oleh hujan dengan intensitas, durasi dan frekuensi tertentu (m³/detik)

I = Intensitas hujan (m/detik) ,

A= Luas daerah tangkapan (m²)

C= Koefisien aliran yang tergantung pada jenis permukaan lahan

Tabel 7. Debit Limpasan masing-masing Blok Saluran

No.	Lokasi	Luas Limpasan (m ²)	Debit Limpasan (m ³ /jam)	Debit Limpasan (m ³ /det)
1.	Saluran C-D	1671,6	57,39	0,016
2.	Saluran K-M	482,58	16,57	0,005
3.	Saluran M1-M	1227,66	42,15	0,011
4.	Saluran P1-Q1	1827,63	62,75	0,012
5.	Saluran Q -ST	2801,4	96,18	0,027

(Sumber: Ridwan et. al, 2019)

f. Hasil Perhitungan Debit Resapan (Qs)

Dalam menghitung debit resapan maka menggunakan metode perhitungan infiltrasi.

$$F = f_c + (f_0 - f_c) \times e^{-kt} \quad (3)$$

Keterangan:

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

Hasil uji resapan air/uji infiltrasi tanah, didapatkan nilai resap tanah pada lokasi penelitian yang ditunjukkan pada Tabel 8.

Tabel 8. Hasil Uji Infiltrasi di Lokasi Kampus UINSA

No.	Lokasi	Dengan Biopori (cm/det)
1.	Belakang Masjid Ulul Albab	0,0500
2.	Depan Fakultas Psikologi	0,0328
3.	Samping Kopertais	0,0500
	Rata-rata	0,044

(Sumber: Marta et. al, 2018)

g. Perhitungan Penurunan Genangan pada Masing-Masing Saluran

Sebagaimana penjelasan sebelumnya bahwa terdapat permasalahan aliran air pada saluran akibat nilai gradien hidrolik (i) yang sangat kecil yang menyebabkan air sulit mengalir, selain itu air meluap melalui celah tutup saluran dan membanjiri area di sekelilingnya.

Tabel 9. Hasil Kebutuhan Biodrainase Tiap Saluran

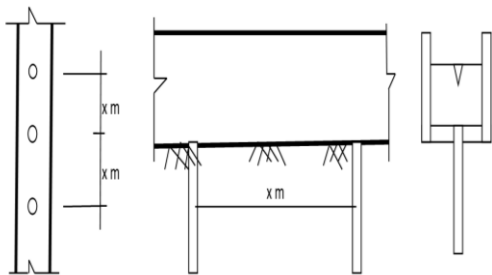
Saluran	Panjang (m)	Jarak Biodrain (m)	Debit limpasan (Qr) (m ³ /detik)	Debit rembesan (Qb) (m ³ /detik)	Genangan (m)	N Biodrainase Usulan
C-D	163	10	0,016	0,015	0,00064	16
K-M	29	6	0,005	0,048	0,0002	5
M1-M	41	3,5	0,011	0,011	0	12
P1-Q1	80	6,6	0,012	0,012	0	12
Q-T	77	2,6	0,027	0,028	0	30

(Sumber: Hasil analisis, 2021)

Untuk mengatasi permasalahan tersebut diperlukan Bio drainase seperti Gambar 4 pada tiap saluran dengan nilai gradien hidrolis rendah dengan hasil seperti ditunjukkan pada Tabel 9.

Saluran tersebut adalah C-D (depan fakultas Fisip), saluran K-M (depan Gedung FEBI), saluran M1-M (depan Gedung fakultas Adab), P1-Q1 (depan Gedung Perpustakaan Baru) dan saluran Q-S (depan Gedung perkuliahan Saintek).

Dari persamaan 1, 2 dan 3 diperoleh hasil

**Gambar 4.** Potongan Biopori pada Saluran Drainase

Dari Tabel 9 menjelaskan efektifitas biodrain dalam menurunkan debit limpasan pada lima saluran yaitu: saluran C-D, saluran K-M, saluran M1-M, saluran P1-Q1 dan saluran Q-T yang masing-masing saluran membutuhkan jumlah biodrain yang tidak sama tergantung besarnya debit limpasan (Qr) dan Panjang saluran.

Pada saluran K-M dengan debit limpasan (Qr) sebesar 0,005 m³/detik dan panjang saluran 29 m membutuhkan 5

biodrain dengan jarak masing-masing biodrain yaitu 6 meter.

Pada saluran M1-M dengan debit limpasan (Qr) sebesar 0,01 m³/detik dan panjang saluran 41 m membutuhkan 12 biodrain dengan jarak masing-masing biodrain yaitu 3,5 meter.

Pada saluran P1-Q1 dengan debit limpasan (Qr) sebesar 0,01 m³/detik dan panjang saluran 41 m membutuhkan 30 biodrain dengan jarak masing-masing biodrain yaitu 3,5 meter.

Pada saluran Q-T dengan debit limpasan (Qr) sebesar 0,025 m³/detik dan panjang saluran 77 m membutuhkan 30 biodrain dengan jarak masing-masing biodrain yaitu 2,6 meter.

4. KESIMPULAN

Dari uraian hasil dan pembahasan di atas dapat disimpulkan sebagai berikut:

- Saluran air atau drainase di dalam kampus UIN Sunan Ampel memiliki permasalahan dengan kemiringan atau nilai gradien hidrolis ($i=0$) pada saluran C-D, K-M, M1-M, P1-Q1 dan QT. Sehingga pada saluran tersebut menyebabkan genangan. Maka diperlukan biodrain untuk Mengurangi tinggi genangan pada saluran drainase
- Biodrain memiliki fungsi efektif dalam meningkatkan jumlah air yang meresap ke dalam tanah dari debit limpasan secara penuh.
- Berdasarkan perhitungan pada saluran C-D diperlukan sebanyak 16 biodrain, saluran K-M diperlukan sebanyak 5 biodrain, saluran M1-M diperlukan sebanyak 12 biodrain, saluran P1-Q1 diperlukan sebanyak 12 biodrain dan saluran Q-T diperlukan sebanyak 30 biodrain.

5. DAFTAR PUSTAKA

- Afriyanto A. (2017). *Analisa Perbandingan Perencanaan Pondasi Tiang Pancang Menggunakan Berbagai Macam Metode pada Proyek Apartemen the Frontage Surabaya*. Tugas Akhir-RC14-1501 ITS.
- Das, Braja M. (1985) *Mekanika Tanah (Prinsip – Prinsip Rekayasa Geoteknis)*, Terjemahan oleh Noor Endah & Indra Surya Mochtar. Jilid I, Jakarta: Erlangga.
- Hasmar, H. (2012). *Drainase Terapan*. Yogyakarta: Universitas Islam Indonesia.

- Sumarto CD. (1995). *Hidrologi Teknik*. Jakarta: Edisi ke-2 Penerbit Erlangga.
- Syariah dkk (2020). Laporan Akhir Masterplan Kampus I UIN Sunan Ampel Surabaya Tahun Anggaran 2020
- Martha, Hakim, Nugraheni. (2018). *Kajian Air Hujan Melalui Lubang Resapan Biopori (Lrb) Di Uin Sunan Ampel Surabaya*: Jurnal Teknik Lingkungan Vol.4 No.1 - September 2018(01-07)
- Notodarmojo S. (2005). *Pencemaran Tanah dan Air Tanah*. Bandung: Penerbit ITB
- Ridwan. (2019). *Evaluasi Sistem Drainase Kampus Universitas Islam Negeri Sunan Ampel Surabaya*. Laporan Tugas Akhir Prodi Teknik Lingkungan Fakultas Sains dan Teknologi UIN Sunan Ampel Surabaya
- Sibarani, Penelitian Biopori Untuk Menentukan Laju Resap Air Berdasarkan Variasi Umur Dan Jenis Sampah, digilib.its.ac.id/public/ITS-Undergraduate-10743-Paper.pdf
- Soenarto. (2018). *Aliran Air Tanah*. Bandung: Penerbit ITB
- Suripin. (2004). *Sistem Drainase Perkotaan yang Berkelanjutan*. Yogyakarta: Andi offset
- Sutarman E. (2009). *Concept and application of Soil Mechanic*, ANDI. Yogyakarta, 1st edition