



UNIVERSITAS INDONESIA

**EFEKTIVITAS MEDIA BIORETENSI DALAM
MENGURANGI KONSENTRASI TIMBAL (Pb) DARI
LIMPASAN AIR HUJAN**

SKRIPSI

SERANTY BELLA DWICAHYANIE

1306367920

**FAKULTAS TEKNIK
PROGRAM STUDI TEKNIK LINGKUNGAN
DEPOK
MEI 2017**



UNIVERSITAS INDONESIA

**EFFECTIVENESS OF BIORETENTION MEDIA IN REMOVAL LEAD
(Pb) CONCENTRATION FROM STORMWATER RUNOFF**

FINAL REPORT

SERANTY BELLA DWICAHYANIE

1306367920

**FACULTY OF ENGINEERING
ENVIRONMENTAL ENGINEERING STUDY PROGRAM
DEPOK
MAY 2017**



UNIVERSITAS INDONESIA

**EFEKTIVITAS MEDIA BIORETENSI DALAM
MENGURANGI KONSENTRASI TIMBAL (Pb) DARI
LIMPASAN AIR HUJAN**

SKRIPSI

Diajukan sebagai salah satu syarat untuk memperoleh gelar Sarjana Teknik

SERANTY BELLA DWICAHYANIE

1306367920

**FAKULTAS TEKNIK
PROGRAM STUDI TEKNIK LINGKUNGAN
DEPOK
MEI 2017**



UNIVERSITAS INDONESIA

**EFFECTIVENESS OF BIORETENTION MEDIA IN REMOVAL LEAD
(Pb) CONCENTRATION FROM STORMWATER RUNOFF**

FINAL REPORT

Proposed as one of the requirement to obtain Engineering Bachelor Degree

SERANTY BELLA DWICAHYANIE

1306367920

**FACULTY OF ENGINEERING
ENVIRONMENTAL ENGINEERING STUDY PROGRAM
DEPOK
MAY 2017**

HALAMAN PERNYATAAN ORISINALITAS

Skripsi ini adalah hasil karya saya sendiri,
dan semua sumber baik yang dikutip maupun
dirujuk telah saya nyatakan dengan benar.

Nama : Seranty Bella Dwicahyanie

NPM : 130367920

Tanda Tangan :  .

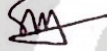
Tanggal : 30 Mei 2017

STATEMENT OF ORIGINALITY

I hereby declare that this final report is the result of my own individual work, and all the sources quoted or referred have been stated correctly.

Name : Seranty Bella Dwicahyanie

Student ID : 130367920

Signature : 

Date : May, 30th 2017

HALAMAN PENGESAHAN

Skripsi ini diajukan oleh :

Nama : Seranty Bella Dwicahyanie
NPM : 130367920
Program Studi : Teknik Lingkungan
Judul Skripsi : Efektivitas Media Bioretensi dalam
Mengurangi Konsentrasi Timbal dari
Limpasan Air Hujan

Telah berhasil dipertahankan di hadapan Dewan Penguji dan diterima sebagai bagian persyaratan yang diperlukan untuk memperoleh gelar Sarjana Teknik pada Program Studi Teknik Lingkungan, Fakultas Teknik, Universitas Indonesia.

DEWAN PENGUJI

Pembimbing : Dr. Nyoman Suwartha, S.T., M.T., M.Agr. (.....)

Penguji 1 : Dr. Ir. Setyo Sarwanto Moersidik, DEA (.....)

Penguji 2 : Prof. Dr. Ir. Djoko M Hartono, S.E., M.Eng. (.....)

Ditetapkan di : Depok

Tanggal : 30 Mei 2017

STATEMENT OF LEGITIMATION

The final report submitted by :

Name : Seranty Bella Dwicahyanie
Student ID : 130367920
Study Program : Teknik Lingkungan
Title : Effectiveness of Bioretention Media in
Removal Lead Concentration from
Stormwater Runoff

**Has been successfully defended in front of the Board of Examiners and
accepted as part of the necessary requirement to obtain the Degree of
Bachelor of Engineering in Environmental Engineering Program,
Faculty of Engineering, Universitas Indonesia.**

BOARD OF EXAMINERS

Advisor : Dr. Nyoman Suwartha, S.T., M.T., M.Agr. (.....)

Examiner 1 : Dr. Ir. Setyo Sarwanto Moersidik, DEA (.....)

Examiner 2 : Prof. Dr. Ir. Djoko M Hartono, S.E., M.Eng. (.....)

Stated in : Depok

Date : May, 30th 2017

KATA PENGANTAR

Puji syukur saya panjatkan kepada Allah SWT, karena berkat rahmat dan karunia-Nya, saya dapat menyelesaikan skripsi ini. Penulisan skripsi ini bertujuan sebagai bagian awal skripsi, yang merupakan salah satu syarat dalam mencapai gelar Sarjana Teknik jurusan Teknik Lingkungan pada Fakultas Teknik Universitas Indonesia. Saya menyadari bahwa tanpa bantuan dan bimbingan dari berbagai pihak yang berada di sekitar saya akan sulit menyusun skripsi ini. Oleh karena itu, saya mengucapkan terima kasih kepada:

1. Kedua orang tua saya, atas kasih sayang, motivasi, doa, serta dukungan moral dan materi yang selalu diberikan sampai saya dapat menyelesaikan skripsi;
2. Bapak Dr. Nyoman Suwartha, S.T., M.T., M.Agr. selaku dosen pembimbing yang telah menyediakan waktu, tenaga, dan pikiran untuk mengarahkan saya dalam menyusun skripsi ini;
3. Bapak Bagyo yang telah membantu mendapatkan data sekunder curah hujan Fakultas Teknik Universitas Indonesia;
4. Bapak Agus dan Bapak Babe selaku laboran di laboratorium mekanika tanah yang telah membantu proses pengecekan nilai *specific gravity* (Sg) dan proses pencampuran media bioretensi;
5. Licka Kamadewi, Ibu Susi dan Ibu Isti selaku laboran yang memberikan bantuan dalam menentukan metode pengukuran parameter, dan pengukuran logam berat di laboratorium;
6. Para dosen Departemen Teknik Sipil dan Program Studi Teknik Lingkungan yang telah memberikan ilmu dan pemahaman selama perkuliahan sampai penyelesaian skripsi;
7. Rahmi Puspita Sari, Kanty Driantami, Ismi Hanany, Nadya Saffira, dan Nabila Marasabessy yang selalu membantu dan memberikan semangat kepada saya untuk dapat menyelesaikan skripsi ini;
8. Silky Saviga, Rizky Ramandhika, Rifky Eko, dan Chernisty Hanindia yang selalu membantu pelaksanaan penelitian dalam pengambilan sampel maupun pengecekan laboratorium;

9. Gilang Panatama Aziz yang telah memberikan motivasi, semangat, dan bimbingannya kepada saya;
10. Rekan-rekan Teknik Lingkungan dan Teknik Sipil UI angkatan 2013 yang setia membantu dan memberikan dukungan dalam melewati masa perkuliahan hingga penyusunan skripsi.

Semoga Allah SWT membalas kebaikan dan jasa seluruh pihak yang telah membantu, baik yang saya tulis maupun tidak disebutkan. Semoga skripsi ini dapat memberikan manfaat bagi perkembangan ilmu pengetahuan.

Depok, 30 Mei 2017

Seranty Bella Dwicahyanie



**HALAMAN PERNYATAAN PERSETUJUAN PUBLIKASI TUGAS
AKHIR UNTUK KEPENTINGAN AKADEMIS**

Sebagai sivitas akademik Universitas Indonesia, saya yang bertanda tangan di bawah ini:

Nama : Seranty Bella Dwicahyanie

NPM : 1306367920

Program Studi : Teknik Lingkungan

Departemen : Teknik Sipil

Fakultas : Teknik

Jenis Karya : Skripsi

Demi pengembangan ilmu pengetahuan, menyetujui untuk memberikan kepada Universitas Indonesia **Hak Bebas Royalti Non-eksklusif (*Non-exclusive Royalty-Free Right*)** atas karya ilmiah saya yang berjudul:

**Efektivitas Media Bioretensi dalam Mengurangi Konsentrasi Timbal dari
Limpasan Air Hujan**

Beserta perangkat yang ada (jika diperlukan). Dengan **Hak Bebas Royalti Non-eksklusif** ini, Universitas Indonesia berhak menyimpan, mengalihmediakan atau memformatkan, mengelola dalam bentuk pangkalan data (*database*), merawat dan mempublikasikan tugas akhir saya, selama tetap mencantumkan nama saya sebagai penulis/pencipta dan sebagai pemilik Hak Cipta.

Demikian pernyataan ini saya buat dengan sebenarnya.

Dibuat di : Depok

Pada Tanggal : 30 Mei 2017

Yang menyatakan,



(Seranty Bella Dwicahyanie)

**STATEMENT OF AGREEMENT OF FINAL REPORT PUBLICATION
FOR ACADEMIC PURPOSES**

As a civitas academica of University of Indonesia, I, the undersigned:

Name : Seranty Bella Dwicahyanie
Student ID : 1306367920
Study Program : Environmental Engineering
Departement : Civil Engineering
Faculty : Engineering
Type of Work : Final Report

For the sake of science development, hereby agree to provide University of Indonesia **Non-exclusive Royalty Free Right** for my scientific work entitled:

**Effectiveness of Bioretention Media in Removal Lead Concentration
from Stormwater Runoff**

Together with the entire documents (if necessary). With the Non-exclusive Royalty Free Right, University of Indonesia has right to store, converts, manage, in the form of database, keep, and publish this final report as long as list my name as the author and copyright owner.

I certify that the above statement is true.

Signed at : Depok
Date : May 30th 2017

The Declarer



(Seranty Bella Dwicahyanie)

ABSTRAK

Nama : Seranty Bella Dwicayhanie

Program Studi : Teknik Lingkungan

Judul : Efektivitas Media Bioretensi dalam Mengurangi Konsentrasi Timbal (Pb) dari Limpasan Air Hujan

Pembangunan infrastruktur menyebabkan perubahan penutup permukaan sehingga limpasan air hujan menjadi lebih besar. Limpasan air hujan dapat membuat erosi pada penutup permukaan yang dilewati sehingga membawa polutan. Dalam meningkatkan kualitas limpasan air hujan dapat dilakukan dengan teknologi berbasis *Low Impact Development* seperti bioretensi. Penelitian ini memberikan gambaran karakteristik limpasan air hujan dari lahan parkir mobil Fakultas Teknik UI, faktor yang mempengaruhi penghilangan logam (Pb) seperti variasi media dan tanaman. Penelitian dilakukan dengan menggunakan limpasan air hujan yang ditampung terlebih dahulu di *reservoir* yang kemudian dialirkan ke dalam 3 bioretensi dengan variasi media dan tanaman. Pengaliran ke dalam bioretensi dilakukan sesuai dengan debit kejadian hujan yang terjadi selama 6 kejadian hujan. Kualitas limpasan air hujan yang berasal dari lahan parkir mobil FT UI memiliki konsentrasi COD (129 sampai 229 ppm), TSS (89 sampai 189 ppm), dan timbal (Pb) (0.019 sampai 0.08 ppm). Bioretensi dengan variasi pasir kuarsa dengan tanaman *Iris pseudacorus* memiliki efisiensi penghilangan timbal (Pb) tertinggi sebesar 82.5%. Proses yang paling berperan dalam menghilangkan timbal (Pb) pada bioretensi adalah penghilangan di media filter.

Kata Kunci: bioretensi, low impact development, timbal (Pb), limpasan air hujan

ABSTRACT

Name : Seranty Bella Dwicayhanie

Study Program: Environmental Engineering

Title : Effectiveness of Bioretention Media in Removing Lead (Pb) Concentration from Stormwater Runoff

Infrastructure development leads surface cover changing, so that stormwater runoff becomes larger. Stormwater runoff makes erosion on the enclosed surface cover and thus carries pollutants. The quality of stormwater runoff can be improved by technology-based Low Impact Development such as bioretention. This study provides an overview of the characteristics of stormwater runoff from car parking lot FTUI, factors affecting metal (Pb) removal such as variations of media and plants. This study is using stormwater runoff which is collected in reservoir and streamed into 3 cells of bioretention with different types of sand and plant. Stormwater runoff streams into bioretention according to 6 rain events. FTUI has concentrations of COD (129 to 229 ppm), TSS (89 to 189 ppm), and lead (Pb) (0.019 to 0.08 ppm). Bioretention with quartz sand and *Iris pseudacorus* has the highest efficiency removing lead (Pb) of 82.5%. The most important process which removes lead is media filter.

Keywords: bioretention, low impact development, lead (Pb), stormwater runoff

DAFTAR ISI

HALAMAN PERNYATAAN ORISINALITAS .. ERROR! BOOKMARK NOT DEFINED.

STATEMENT OF ORIGINALITY ... ERROR! BOOKMARK NOT DEFINED.

HALAMAN PENGESAHAN..... ERROR! BOOKMARK NOT DEFINED.

STATEMENT OF LEGITIMATION ERROR! BOOKMARK NOT DEFINED.

KATA PENGANTAR..... IV

**HALAMAN PERNYATAAN PERSETUJUAN PUBLIKASI TUGAS
AKHIR UNTUK KEPENTINGAN AKADEMISERROR! BOOKMARK NOT
DEFINED.**

**STATEMENT OF AGREEMENT OF FINAL REPORT PUBLICATION
FOR ACADEMIC PURPOSES..... VIII**

ABSTRAK..... IX

ABSTRACT.....X

DAFTAR ISI XI

DAFTAR TABEL XIV

DAFTAR GAMBAR.....XV

BAB 1 PENDAHULUAN1

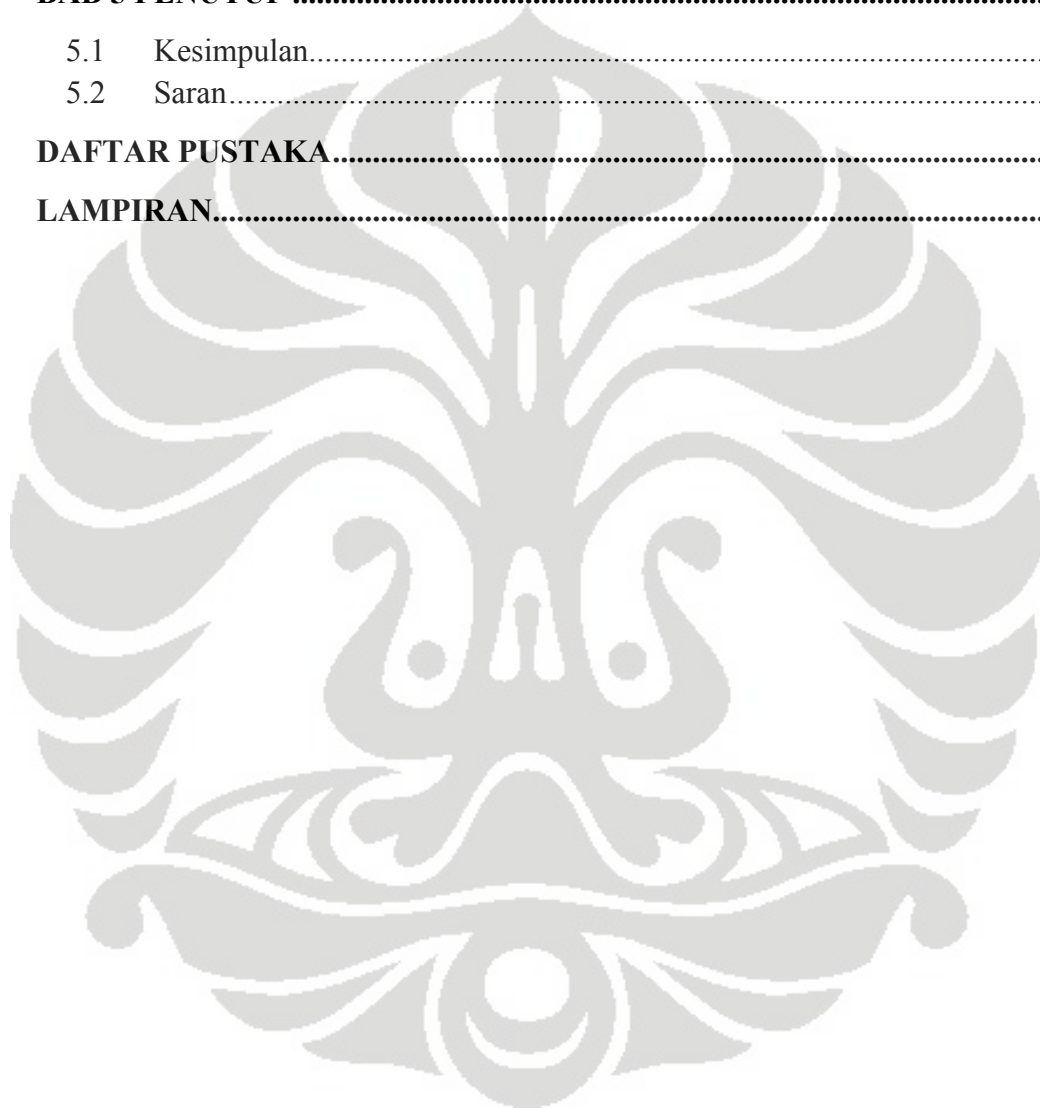
- 1.1 Latar Belakang1
- 1.2 Rumusan Masalah3
- 1.3 Pertanyaan Penelitian4
- 1.4 Tujuan Penelitian.....5
- 1.5 Manfaat Penelitian.....5
- 1.6 Batasan Penelitian5
- 1.7 Sistematika Penulisan.....6

BAB 2 LANDASAN TEORI7

- 2.1 Limpasan Air Hujan.....7
 - 2.1.1 Koefisien Limpasan.....7
 - 2.1.2 Karakteristik Limpasan Air Hujan9
- 2.2 *Low Impact Development*.....12
 - 2.2.1 Pengertian *Low Impact Development*12

2.2.2	Manfaat Penerapan <i>Low Impact Development</i>	13
2.2.3	Jenis-jenis <i>Low Impact Development</i>	14
2.3	Bioretensi	17
2.3.1	Pengertian Bioretensi.....	17
2.3.2	Proses pada Bioretensi.....	17
2.3.3	Tanaman	19
2.3.4	Media Filter	26
2.3.5	Kriteria Desain.....	29
2.4	Penelitian Terdahulu (Meta Analisis)	34
BAB 3 METODE PENELITIAN.....		47
3.1	Pendekatan Penelitian	47
3.2	Alur Penelitian.....	47
3.3	Variabel Penelitian	49
3.3.1	Variabel Bebas.....	49
3.3.2	Variabel Kontrol.....	49
3.3.3	Variabel Terikat.....	50
3.4	Pemilihan Wilayah Studi Kasus.....	50
3.5	<i>Pre-Sampling</i>	51
3.6	Bioretensi	52
3.6.1	Dimensi Bioretensi	52
3.6.2	Komposisi Media.....	57
3.6.3	Jenis Tanaman	57
3.7	Metode Pengukuran.....	58
3.7.1	Pengambilan Sampel	59
3.7.2	Total Suspended Solid (TSS)	59
3.7.3	Timbal (Pb).....	60
3.7.4	Chemical Oxygen Demand (COD).....	60
3.8	Analisis Data	61
3.8.1	Uji T Independen	62
3.8.2	Uji T Berpasangan.....	62
3.8.3	Uji Korelasi <i>Pearson</i>	63
3.9	Rencana Kegiatan Penelitian.....	64
BAB 4 HASIL PEMBAHASAN		66
4.1	Gambaran Umum Fakultas Teknik Universitas Indonesia	66
4.2	Pembuatan Bioretensi.....	66
4.3	Aklimatisasi.....	68
4.4	Kualitas Limpasan Air Hujan.....	69
4.5	Pengaliran Limpasan Air Hujan ke dalam Bioretensi.....	73
4.6	Penghilangan Logam Timbal (Pb)	74

4.6.1 Efisiensi Penghilangan Logam Timbal (Pb) pada Bioretensi 1 vs Bioretensi 2.....	74
4.6.2 Efisiensi Penghilangan Logam Timbal (Pb) pada Bioretensi 2 vs Bioretensi 3.....	76
4.7 Resume Hasil Penelitian.....	79
4.8 Analisis Keterbatasan Penelitian.....	80
4.9 Pengembangan Bioretensi	81
BAB 5 PENUTUP	93
5.1 Kesimpulan.....	93
5.2 Saran.....	93
DAFTAR PUSTAKA.....	95
LAMPIRAN.....	106



DAFTAR TABEL

Tabel 2.1 Jenis Permukaan dan Koefisien Limpasan	8
Tabel 2.2 Karakteristik Polutan dalam Limpasan Air Hujan Berdasarkan Penggunaan Lahan	11
Tabel 2.3 Kualitas Limpasan Air Hujan di beberapa Kota di Jawa Barat	12
Tabel 2.4 Jenis Tanaman untuk Bioretensi	20
Tabel 2.5 Koefisien Permeabilitas	28
Tabel 2.6 Jenis Pasir Berdasarkan Kekasarannya	28
Tabel 2.7 Kedalaman pengolahan polutan pada bioretensi	31
Tabel 2.8 Meta Analisis	34
Tabel 3.1 Intensitas Hujan Fakultas Teknik UI	54
Tabel 3.2 Komposisi Aklimatisasi Tanaman Iris	58
Tabel 3.3 Interpretasi Koefisien Korelasi	63
Tabel 3.4 Rencana Kegiatan Penelitian	64
Tabel 4.1 Waktu Kejadian Hujan dan <i>Running</i>	69
Tabel 4.2 Hasil Uji Normalitas Saphiro-Wilk Kualitas Limpasan Air Hujan	72
Tabel 4.3 Korelasi Kendaraan dengan Konsentrasi Pb	72
Tabel 4.4 Korelasi COD dan TSS dengan Konsentrasi Pb	73
Tabel 4.5 Pengaliran Kejadian Hujan	73
Tabel 4.6 Hasil Uji Normalitas Saphiro-Wilk Efluen Bioretensi 1 dan 2	76
Tabel 4.7 Hasil Uji Independen T Tes	76
Tabel 4.8 Hasil Uji Normalitas Saphiro-Wilk Efluen Bioretensi 2 dan 3	78
Tabel 4.9 Hasil Uji T Berpasangan	78

DAFTAR GAMBAR

Gambar 2.1 Perubahan Limpasan Air Hujan Akibat Pembangunan	7
Gambar 2.2 Grafik Hubungan Lahan Kedap Air Dengan Koefisien Limpasan	8
Gambar 2.3 Grafik <i>Hydrograph</i> pada Saat Sebelum dan Sesudah Pembangunan, dan Penerapan LID maupun BMP	13
Gambar 2.4 Bioretensi	17
Gambar 2.5 <i>Typha latifolia</i>	23
Gambar 2.6 <i>Juncus effuses</i>	23
Gambar 2.7 <i>Cymbopogon citratus</i>	24
Gambar 2.8 <i>Cyperus alternifolius</i>	25
Gambar 2.9 <i>Canna indica</i>	25
Gambar 2.10 <i>Iris pseudacorus</i>	26
Gambar 3.1 Alur Penelitian	48
Gambar 3.2 Variasi pada Bioretensi	49
Gambar 3.3 Wilayah Studi Lahan Parkir Mobil FTUI	50
Gambar 3.4 Skema Pengaliran	56
Gambar 3.5 Potongan Bioretensi	57
Gambar 4.1 Lokasi Penelitian	67
Gambar 4.2 Rangkaian Bioretensi	68
Gambar 4.3 Grafik Kualitas Limpasan Air Hujan	70
Gambar 4.4 Grafik Perbandingan Jenis Pasir pada Bioretensi 1 dan 2	74
Gambar 4.5 Grafik Perbandingan Penggunaan Tanaman <i>Iris pseudacorus</i> pada Bioretensi 2 dan 3	77
Gambar 4.6 Efisiensi Pasir Hitam dan Pasir Kuarsa	79
Gambar 4.7 Efisiensi Penggunaan dan Tanpa <i>Iris p.</i>	80
Gambar 4.8 Daerah Tangkapan Air Pilihan Satu	82
Gambar 4.9 Perencanaan Bioretensi FTUI Pilihan Satu	85
Gambar 4.10 Potongan Bioretensi FTUI Pilihan Satu	86
Gambar 4.11 Daerah Tangkapan Air Pilihan Dua	87
Gambar 4.12 Perencanaan Bioretensi FTUI Pilihan Dua	91
Gambar 4.13 Potongan Bioretensi Pilihan Dua	92

BAB 1

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Air merupakan salah satu sumber daya alam yang sangat bermanfaat bagi kehidupan manusia. Air adalah komponen utama dari sel, jaringan dan organ (Jequier and Constant, 2010). Di bumi ini air memiliki peredaran yang berlangsung secara terus-menerus dan biasa disebut dengan siklus hidrologi. Uap air yang berada di atmosfer akan mengalami kondensasi yang kemudian akan menimbulkan hujan. Di permukaan, air hujan akan mengalami infiltrasi ke dalam tanah atau mengalir di permukaan menjadi limpasan air hujan.

Debit rata-rata limpasan air hujan yang berasal dari jalan di Universitas Kongju Nasional, Korea Selatan adalah $1.02 \text{ m}^3/\text{jam}$ dan debit puncak limpasan air hujan sebesar $5.57 \text{ m}^3/\text{jam}$ (Redillas and Kim, 2014). Debit limpasan air hujan yang besar, dapat menyebabkan banjir di suatu wilayah. Jakarta merupakan salah satu kota yang sering dilanda banjir. Hal ini disebabkan permukaan tanah di Jakarta sudah tidak mampu menyerap air hujan. Pada Januari tahun 2014, 37 Kecamatan, 125 Kelurahan di Jakarta terendam banjir selama 20 hari (Pemerintah Provinsi Jakarta, 2014).

Limpasan air hujan mengandung beberapa polutan berbahaya seperti, logam berat, sedimen, nutrisi, bakteri, dan senyawa berbahaya lainnya (Wang *et al.*, 2013). Logam berat yang umumnya terkandung dalam limpasan air hujan adalah kadmium (Cd), tembaga (Cu), timbal (Pb), nikel (Ni), krom (Cr), dan seng (Zn) (Reddy *et al.*, 2014). Limpasan air hujan dari jalan raya Kota Bandung mengandung beberapa logam berat dengan konsentrasi yang melebihi baku mutu, yaitu kadmium, tembaga, dan seng (Almaditya dan Zevi, 2012). Limpasan air hujan merupakan sumber pencemar pada badan air seperti sungai, dan laut (Adebola *et al.*, 2012). Waduk Cirata yang terletak di provinsi Jawa Barat memiliki konsentrasi logam berat yang cukup tinggi diantaranya, logam kadmium dengan konsentrasi 10.11-20.43 ppb, tembaga sebesar 21.73-63.33 ppb, dan merkuri dengan konsentrasi 15.13-62.58 ppb (Priyanto *et al.*, 2008). Ketiga logam berat tersebut

melampaui baku mutu yang ditetapkan pada PP No. 82 Tahun 2001 untuk Kelas III untuk kegiatan budidaya perikanan, dengan baku mutu logam kadmium 10 ppb, tembaga 20 ppb, dan merkuri 2 ppb (Peraturan Pemerintah No. 82 Tahun 2001).

Keberadaan logam berat di limpasan air hujan dipengaruhi oleh banyak faktor terutama kegiatan manusia seperti volume kendaraan, desain jalan, iklim dan penggunaan lahan (Ubuoh, *et al.*, 2014). Logam berat pada limpasan air hujan berasal dari serpihan ban yang terlepas ketika kendaraan melintas dan minyak rem yang juga berasal dari kendaraan (Almaditya dan Zevi, 2012). Jakarta mengalami peningkatan jumlah kendaraan yang cukup tinggi, kendaraan sepeda motor mengalami peningkatan 10.54% per tahun, sedangkan untuk mobil penumpang sebesar 8.75% pertahunnya (Badan Pusat Statistik DKI Jakarta, 2015). Dengan meningkatnya jumlah kendaraan di Jakarta, tentunya akan meningkatkan konsentrasi logam berat pada air limpasan terutama ketika musim hujan. Konsentrasi logam berat yang tinggi memerlukan pengelolaan lebih lanjut agar tidak membahayakan manusia maupun lingkungan.

Salah satu teknologi pengelolaan air hujan berbasis Low Impact Development yang dapat menurunkan konsentrasi logam berat dari air limpasan perkotaan adalah bioretensi (Wang *et al.*, 2016). Bioretensi juga disebut sebagai sistem bioinfiltrasi dan taman hujan, yang umumnya terdiri dari pasir atau tanah atau substrat media organik dengan lapisan mulsa dan ditumbuhi oleh tanaman yang mampu mengurangi aliran limpasan beserta polutannya (TSS, nutrien, hidrokarbon, dan logam) melalui mekanisme filtrasi, adsorpsi, sedimentasi dan aktivitas biologis (Revitt *et al.*, 2014). Bioretensi memiliki efisiensi dalam menghilangkan polutan logam berat Cu = 81%; Cd = 66%; Zn = 79%; Cr = 53%; Pb = 75%; Al = 17%; As = 11%; dan Fe = 53% (Glass *et al.*, 2005). Untuk penurunan konsentrasi logam berat kadmium (Cd) pada bioretensi dipengaruhi oleh beberapa faktor seperti kedalaman serta karakteristik fisik dan kimia media (Wang *et al.*, 2016). Dengan menggunakan media filter yang berbeda akan menghasilkan efisiensi yang berbeda. Media filter untuk bioretensi yang umum digunakan adalah 30-60% pasir, 20-40% kompos, dan 20-30% tanah pada lapisan atas (Takaijudin *et al.*, 2014).

Jenis tanaman yang umum digunakan pada teknologi bioretensi adalah jenis pohon dan semak (Skorobogatov, 2014). Tanaman pada bioretensi berfungsi

untuk mengambil logam terlarut pada limpasan air hujan selama pertumbuhannya dan dialirkan dari akar menuju daun (Fassman *et al.*, 2013). Spesies tanaman yang memiliki toleransi tinggi terhadap polutan logam berat diantaranya *Juncus effuses* dan *Iris pseudacorus* (Shaw and Schmidt, 2003).

1.2 Rumusan Masalah

Peningkatan pembangunan infrastruktur yang tidak diseimbangkan dengan area resapan dapat menyebabkan peningkatan limpasan air hujan. Limpasan air hujan yang tidak terkendali dapat menimbulkan permasalahan seperti banjir, sehingga mencemari lingkungan terutama untuk badan air, tanah, dan air tanah. Kota Depok merupakan salah satu kota yang sedang berkembang dan berlokasi dekat dengan Jakarta, dan memiliki jumlah hari hujan selama 222 hari dalam setahun (Pemerintah Kota Depok, 2015). Dengan hari hujan yang cukup besar, maka kota Depok memiliki potensi limpasan air hujan yang besar. Pada tahun 2011 limpasan air hujan di kota Depok sebesar 433,788,082 m³/tahun (Badan Pengkaji dan Penerapan Teknologi, 2011). Dengan debit limpasan yang besar tentunya kualitas limpasan air hujan akan mempengaruhi lingkungan. Terlebih lagi dengan jumlah kendaraan bermotor yang terus meningkat terutama untuk Kampus Universitas Indonesia, Depok. Kendaraan bermotor merupakan salah satu sumber pencemar logam berat. Dengan demikian, diperlukan pengelolaan limpasan air hujan.

Telah banyak penelitian yang mengembangkan pengelolaan limpasan air hujan dengan teknologi LID, seperti bioretensi. Pengembangan bioretensi banyak dilakukan dalam peningkatan kemampuan tanah untuk menyerap air (infiltrasi) dan juga peningkatan kemampuan tanah dalam menghilangkan polutan yang ada dalam limpasan air hujan. Penelitian mengenai bioretensi dengan membandingkan media yang digunakan, yaitu jenis pasir (kasar, sedang dan halus) terhadap efisiensi penghilangan polutan berupa logam berat menunjukkan hasil terbaik menggunakan pasir kasar dengan porositas 0.47 (Wang *et al.*, 2016). Penelitian lain mengenai bioretensi dengan membandingkan jenis pasir yang digunakan (kasar, sedang dan halus) terhadap konduktivitas hidrolik, dan hasilnya menunjukkan bahwa pasir sedang dan halus (diameter 0.06-0.6 mm) memiliki kemampuan untuk menahan air

yang cukup sehingga dianjurkan dalam penerapan bioretensi (Takaijudin *et al.*, 2014). Namun dalam penelitian bioretensi yang telah dilakukan, belum membahas besar pengaruh keberadaan tanaman terhadap efisiensi penghilangan logam berat. Hanya membahas perbandingan jenis tanaman yang digunakan.

Telah dilakukan penelitian sebelumnya mengenai teknologi yang dapat mengelola limpasan air hujan di Fakultas Teknik Universitas Indonesia. Penelitian tersebut membahas pengaruh komposisi media bioretensi terhadap kecepatan infiltrasi dan penghilangan logam Seng (Zn) dari limpasan air hujan lahan parkir motor di Fakultas Teknik UI. Dalam penelitian tersebut telah menunjukkan bahwa adanya logam berat Zn dalam limpasan air hujan dan bioretensi memiliki kemampuan dalam penghilangan logam berat Zn hingga 92.5% (Andini, 2015). Kondisi lahan parkir yang berbeda dapat menghasilkan kualitas influen yang berbeda dan desain bioretensi berbeda. Dengan demikian diperlukan analisis mengenai karakteristik limpasan air hujan yang berasal dari area parkir mobil di Fakultas Teknik UI. Selain itu pada penelitian sebelumnya belum melakukan variasi terhadap media filter yang digunakan dan juga belum membahas pengaruh adanya tanaman pada bioretensi terhadap penghilangan polutan logam berat.

1.3 Pertanyaan Penelitian

Berdasarkan latar belakang dan rumusan masalah yang telah dijelaskan, berikut pertanyaan penelitian yang diangkat dalam penelitian ini:

- a. Bagaimana karakteristik limpasan air hujan di area parkir mobil di Fakultas Teknik Universitas Indonesia?
- b. Bagaimana pengaruh variasi media filter bioretensi terhadap penurunan konsentrasi timbal (Pb) dari limpasan air hujan area parkir mobil di Fakultas Teknik Universitas Indonesia?
- c. Bagaimana pengaruh adanya tanaman *Iris Pseudacorus* pada bioretensi terhadap penurunan konsentrasi timbal (Pb) dari limpasan air hujan area parkir mobil di Fakultas Teknik Universitas Indonesia?

1.4 Tujuan Penelitian

Tujuan dari penelitian ini adalah:

- a. Menganalisis karakteristik limpasan air hujan yang berasal dari area parkir mobil di Fakultas Teknik Universitas Indonesia.
- b. Menentukan variasi media filter bioretensi yang paling efektif dalam penghilangan timbal (Pb).
- c. Menganalisis pengaruh adanya tanaman *Iris Pseudacorus* pada bioretensi dalam penghilangan konsentrasi timbal (Pb).

1.5 Manfaat Penelitian

Penelitian ini diharapkan dapat memberikan manfaat bagi beberapa pihak, yaitu:

- a. Bagi Peneliti:
 - Memberikan pengalaman dalam penerapan teknologi bioretensi sebagai teknologi pengelolaan limpasan air hujan dari area parkir mobil Fakultas Teknik Universitas Indonesia.
- b. Bagi Fakultas Teknik Universitas Indonesia.
 - Memberikan saran dalam pengelolaan limpasan air hujan dengan tujuan meningkatkan kualitas limpasan air hujan dari area parkir mobil Fakultas Teknik Universitas Indonesia.
- c. Bagi Ilmu Pengetahuan
 - Menambah informasi mengenai inovasi teknologi pengelolaan limpasan air hujan, yaitu bioretensi di Indonesia.

1.6 Batasan Penelitian

Batasan masalah dalam penelitian ini adalah:

- a. Limpasan air hujan yang diteliti berasal dari area parkir mobil Fakultas Teknik Universitas Indonesia, berlokasi di belakang gedung Laboratorium Departemen Teknik Sipil.
- b. Limpasan air hujan ditampung didalam reservoir dan dialirkan sesuai debit limpasan air hujan yang terjadi.

- c. Penelitian dilakukan dengan menggunakan 3 buah bioretensi skala laboratorium di lingkungan Fakultas Teknik Universitas Indonesia. Bioretensi dibuat dengan jenis media yang berbeda (pasir hitam dan kuarsa, serta dengan tanaman dan tanpa tanaman).
- d. Tanaman *Iris pseudacorus* yang digunakan hanya memiliki umur 1.5 bulan.
- e. Parameter yang diuji adalah TSS, timbal (Pb), dan COD.
- f. Ukuran dari bioretensi disesuaikan dengan curah hujan rata-rata dan luas permukaan kedap air yang menjadi sumber dari limpasan air hujan.
- g. Waktu pengukuran parameter dilakukan pada saat media bioretensi telah jenuh dibasahi oleh limpasan air hujan.

1.7 Sistematika Penulisan

Penulisan skripsi ditulis dengan sistematika penulisan sebagai berikut:

BAB 1 : Pendahuluan

Berisi latar belakang, rumusan masalah, tujuan penelitian, manfaat penelitian, batasan penelitian serta sistematika penulisan.

BAB 2 : Landasan Teori

Berisi teori dari tinjauan pustaka yang menjadi dasar penelitian, meliputi limpasan air hujan, *Low Impact Development*, bioretensi yang akan dipahami dalam meta analisis.

BAB 3 : Metodologi Penelitian

Berisi metode penelitian, mulai dari pendekatan penelitian, variabel penelitian, dan alur penelitian yang menjelaskan langkah kerja yang digunakan untuk mencapai tujuan penelitian.

BAB 4 : Hasil dan Pembahasan

Berisi hasil pengamatan dari penelitian, yang kemudian dianalisis. Analisis yang dilakukan diantaranya karakteristik limpasan air hujan, analisis efisiensi penghilangan polutan logam berat limpasan air hujan berdasarkan variasi media filter dan penambahan tanaman pada bioretensi.

BAB 5 : Penutup

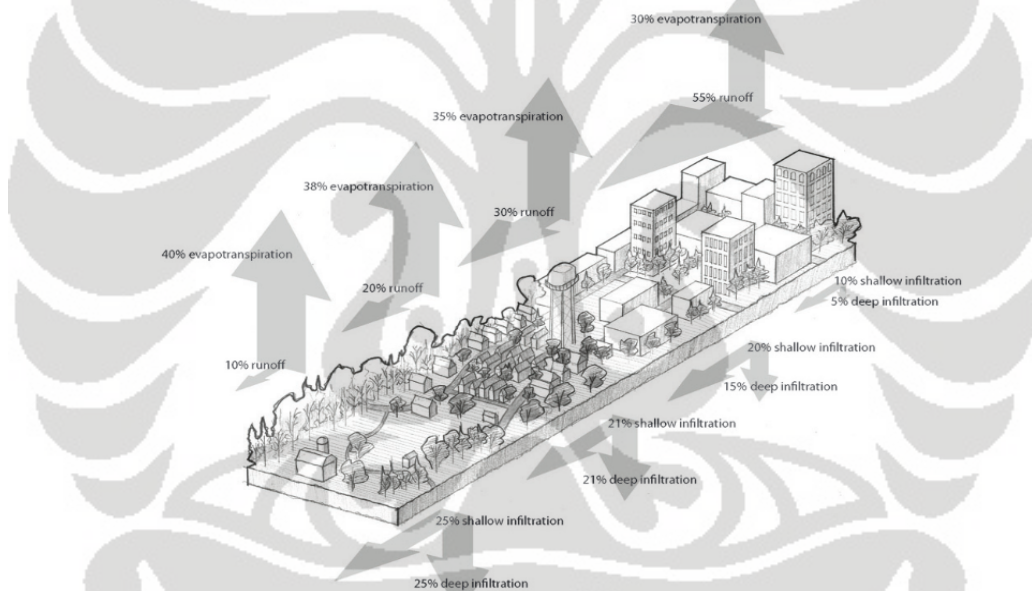
Berisi kesimpulan dan saran dari penelitian.

BAB 2

LANDASAN TEORI

2.1 Limpasan Air Hujan

Ketika air melalui proses presipitasi, air hujan jatuh ke permukaan bumi. Sebagian air akan masuk kedalam tanah (infiltrasi dan perkolasi) dan sisanya akan mengalir dipermukaan tanah sebagai air limpasan. Jumlah air yang masuk kedalam tanah dan air limpasan ditentukan oleh jenis penutup permukaan tanah. Pada saat permukaan ditutup dengan bangunan atau rumah maka air limpasannya akan besar, sedangkan jika ditutup dengan pohon maka akar pohon akan menyerap air sehingga air limpasan yang terbentuk akan lebih sedikit. Salah satu faktor yang mendorong peningkatan pembangunan disuatu kota adalah jumlah penduduk karena urbanisasi.

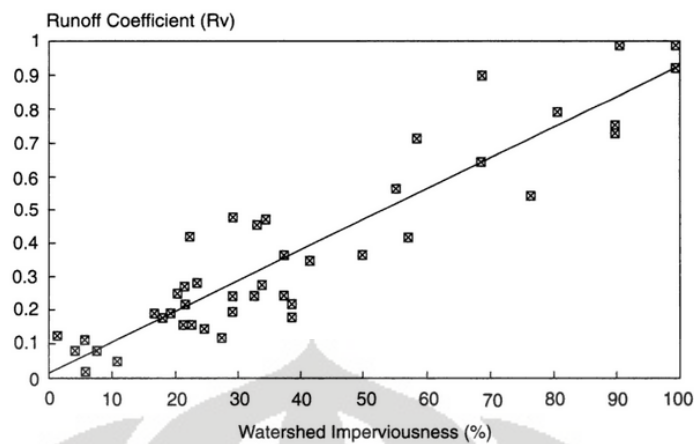


Gambar 2.1 Perubahan Limpasan Air Hujan Akibat Pembangunan

Sumber: North Carolina State University (2009)

2.1.1 Koefisien Limpasan

Koefisien limpasan adalah rasio volume limpasan air hujan dibagi dengan volume hujan, dengan nilai terendah 0 dan paling besar 1 (Roesner *et al.*, 1998). Koefisien limpasan dipengaruhi oleh jenis penutup tanah yang ada, ketika lahan menjadi kedap air maka koefisien limpasannya akan besar. Berikut ini grafik yang menggambarkan hubungan antara lahan kedap air dengan koefisien limpasan.



Gambar 2.2 Grafik Hubungan Lahan Kedap Air Dengan Koefisien Limpasan

Sumber: Roesner *et al.*, (1998)

Koefisien limpasan dipengaruhi oleh beberapa faktor, diantaranya intensitas air hujan, durasi kejadian hujan dan juga karakteristik tangkapan air hujan (Roesner *et al.*, 1992). Dengan perbedaan karakteristik tangkapan air hujan dapat menghasilkan koefisien limpasan air hujan yang berbeda. Berikut tabel yang menunjukkan koefisien limpasan air hujan pada beberapa jenis permukaan tangkapan air hujan.

Tabel 2.1 Jenis Permukaan dan Koefisien Limpasan

Jenis Permukaan	Koefisien Limpasan
Jalan	
Aspal dan beton	0.7-0.95
Batu bata	0.7-0.85
Atap	0.75-0.95
Rumput, dan Tanah Berpasir	
Datar (2 persen)	0.05-0.1
Rata-rata (2-7 persen)	0.1-0.15
Curam (>7 persen)	0.15-0.2
Rumput, dan Tanah Keras	
Datar (2 persen)	0.13-0.17
Rata-rata (2-7 persen)	0.18-0.22
Curam (>7 persen)	0.25-0.35

Sumber: Roesner *et al.*, (1992)

2.1.2 Karakteristik Limpasan Air Hujan

Limpasan air hujan memiliki karakteristik polutan yang berbeda-beda sesuai dengan kondisi lingkungan yang mempengaruhinya. Konsentrasi polutan tertinggi pada air hujan akan terlihat pada 10-40 menit setelah intensitas hujan puncak (Dongya *et al.*, 2015). Dalam menentukan konsentrasi atau karakteristik dari limpasan air hujan dapat dipengaruhi oleh penggunaan lahan (Göbel *et al.*, 2007). Selain dipengaruhi oleh penggunaan lahan, karakteristiknya limpasan air hujan juga dipengaruhi oleh polutan di udara, dan waktu kejadian hujan. Beberapa polutan primer yang ada di limpasan air hujan adalah padatan tersuspensi, nutrien, karbon organik, logam berat, dan hidrokarbon (Mangangka, 2013). Berikut penjelasan mengenai polutan-polutan primer tersebut.

- Padatan Tersuspensi

Padatan tersuspensi adalah seluruh partikel di air yang tidak melewati membran filter dengan ukuran 2 μm , termasuk sedimen, ganggang, nutrien, dan logam (Branigan, 2013). *Total Suspended Solid* (TSS) yang ada dalam limpasan air hujan berasal dari alam dan kegiatan manusia, seperti erosi kegiatan konstruksi atau TPA, erosi pada saluran drainase, erosi tanah dan partikel dari jalanan atau kendaraan (Shammaa and Zhu, 2001). Jumlah padatan tersuspensi lebih banyak berasal dari kegiatan manusia daripada erosi secara alami (Nelson and Booth, 2002). Ukuran dari partikel tersuspensi dalam limpasan air hujan dipengaruhi oleh turbulensi yang terjadi ketika air hujan jatuh (Mangangka, 2013). Pada saat ukuran dari partikel tersuspensi besar maka kemungkinan akan tertahan pada saat limpasan air hujan mengalir. Pada limpasan air hujan yang berasal dari jalan akan memiliki konsentrasi TSS lebih besar dibandingkan dengan limpasan air hujan yang berasal dari atap (Broodie and Dunn, 2006).

- Nutrien

Nutrien merupakan senyawa kimia seperti nitrogen, fosfor, karbon, kalsium, potassium, besi, dan mangan (Mangangka, 2013). Nutrien dibagi menjadi 2, yaitu makronutrien dan mikronutrien. Beberapa senyawa yang termasuk kedalam makronutrien adalah karbon, oksigen, hydrogen,

nitrogen, sulfur, fosfor, potassium, kalsium, magnesium, dan besi (Willey *et al.*, 2008). Sedangkan yang termasuk kedalam mikronutrien adalah boron, tembaga, mangan, *molybdenum*, seng, klorin, nikel, krom, iodin, sodium, silicon, kobalt, dan florin (Sinha, 2004). Nutrien dapat berasal dari pupuk pada pertanian dan limbah hewan pada peternakan (Manuel, 2014). Nutrien yang berlebihan dalam limpasan air hujan dapat menyebabkan eutrofikasi pada badan air.

- Karbon Organik

Karbon organik dalam air dikategorikan menjadi 2, yaitu *Dissolved Organic Carbon* (DOC) dan *Particulate Organic Carbon* (POC) (Servais *et al.*, 1995). Karbon organik terlarut (DOC) merupakan campuran kompleks aromatik dan karbon alifatik yang merupakan komponen penting dalam ekosistem perairan, serta menjadi komponen dasar bagi proses biogeokimia dan ekologi (Pagano *et al.*, 2014). Konsentrasi dari partikulat karbon organik (POC) dipengaruhi oleh fluktuasi padatan terlarut, sedangkan untuk DOC tidak (Mangangka, 2013). Kegiatan pertanian dapat menjadi salah satu sumber pencemar DOC (Veum *et al.*, 2009). Karbon organik mengonsumsi oksigen dalam proses oksidasi dan biodegradasi (Mouret *et al.*, 2010). Dengan mengonsumsi oksigen didalam air, tentunya akan menyebabkan *Dissolved Oxygen* (DO) menurun. Ketika DO menurun dapat membunuh makhluk hidup diperairan.

- Logam Berat

Logam berat yang umum ada di dalam limpasan air hujan adalah Cd, Cu, Zn, Cr, Fe, Pb, Ni, dan Zn (Wang *et al.*, 2013). Logam berat pada limpasan air hujan dapat berasal dari serpihan ban yang terlepas ketika kendaraan melintas dan minyak rem yang juga berasal dari kendaraan (Almaditya dan Zevi, 2012). Selain itu juga dapat berasal dari kegiatan perindustrian yang mengolah logam atau melelehkan logam (Hariprasad and Dayananda, 2013). Sumber lain yang memiliki potensi menghasilkan logam berat adalah jembatan, deposisi atmosfer, erosi tanah, korosi logam pada permukaan tanah, dan proses pembakaran (USEPA, 1999). Keberadaan logam berat dapat membahayakan kesehatan manusia karena umumnya

memiliki sifat karsinogenik. Beberapa dampak logam berat pada kesehatan adalah kerusakan ginjal, gangguan syaraf, gangguan otak, kanker kulit, dan menghambat pertumbuhan tulang (Järup, 2003).

- Hidrokarbon

Hidrokarbon merupakan senyawa kimia yang terdiri dari unsur hidrogen dan karbon. Jenis hidrokarbon yang sering ditemui dalam air adalah benzene, toluene, etil benzene, dan xilena (Singh and Celin, 2010). Hidrokarbon sangat mudah ditemukan di permukaan jalan, bengkel kendaraan, dan lahan parkir karena berasal dari tumpahan bahan bakar maupun pelumas akibat mesin kendaraan yang jarang dirawat dan emisi kendaraan (Mangangka, 2013). Jumlah kendaraan pada lalu lintas dapat mempengaruhi konsentrasi hidrokarbon pada limpasan air hujan (USEPA, 1999). Hidrokarbon minyak bumi dikenal sebagai senyawa beracun yang pada konsentrasi 0.1 ppm dapat menyebabkan dampak akut bagi larva di laut (Ahmed *et al.*, 2014).

Berikut merupakan tabel karakteristik polutan yang ada dalam limpasan air hujan di dunia berdasarkan penggunaan lahan. Dapat dilihat bahwa lahan parkir merupakan jenis penggunaan lahan yang memiliki konsentrasi polutan kedua terbesar.

Tabel 2.2 Karakteristik Polutan dalam Limpasan Air Hujan Berdasarkan Penggunaan Lahan

Penggunaan Lahan	TSS	TP	TKN	Nitrat + Nitrit	BOD	COD	Pb	Zn	Cu
	(ppm)								
Komersil	1000	1.5	6.7	3.1	62	420	2.7	2.1	0.4
Lahan Parkir	400	0.7	5.1	2.9	47	270	0.8	0.8	0.04
<i>High Density Residential</i>	420	1	4.2	2	27	170	0.8	0.7	0.03
<i>Medium Density Residential</i>	190	0.5	2.5	1.4	13	72	0.2	0.2	0.14
<i>Low Density Residential</i>	10	0.04	0.03	0.1	NA	NA	0.01	0.04	0.01
<i>Freeway</i>	880	0.9	7.9	4.2	NA	NA	4.5	2.1	0.37

Penggunaan Lahan	TSS	TP	TKN	Nitrat + Nitrit	BOD	COD	Pb	Zn	Cu
	(ppm)								
Industri	860	1.3	3.8	1.3	NA	NA	2.4	7.3	0.5
Taman	3	0.03	1.5	0.3	NA	2	0	NA	NA
Konstruksi	6000	80	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA

Sumber: USEPA (1999)

Karakteristik limpasan air hujan di Indonesia belum banyak diteliti secara lengkap oleh instansi akademis, penelitian, atau pemerintah. Berikut beberapa karakteristik limpasan air hujan yang berasal dari jalan raya di Bandung, *green roof* Bogor, dan lahan parkir di Depok:

Tabel 2.3 Kualitas Limpasan Air Hujan di beberapa Kota di Jawa Barat

Parameter	Satuan	Bandung ¹	Depok ²	Bogor ³
TSS	ppm	380-3330	5-19	10-85
TDS	ppm	-	-	3-25
COD	ppm	-	28.78-131.9	-
Sulfat	ppm	-	-	3-15
Ammonia	ppm	-	-	0.3-3.2
Nitrit	ppm	-	-	0.01-0.84
pH		6.3-8.3	-	6.5-7.9
Pb	ppm	< 0.026	-	-
Cu	ppm	< 0.016-2.417	-	-
Zn	ppm	< 0.0079-0.181	0.01-0.29	-
Cd	ppm	< 0.059-0.799	-	-

Sumber: ¹Almaditya dan Zevi (2013)

²Andini (2015)

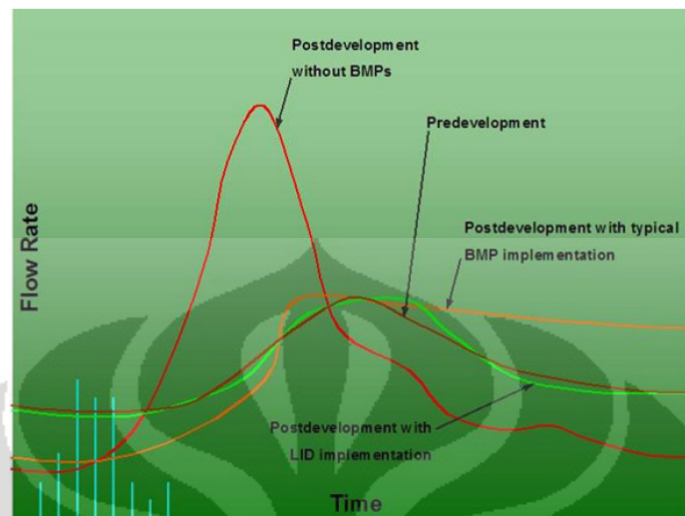
³Mayasari (2014)

2.2 Low Impact Development

2.2.1 Pengertian Low Impact Development

Low Impact Development (LID) merupakan strategi manajemen air hujan yang menekankan konservasi dan penggunaan lahan yang terintegrasi dengan pengendalian air hujan skala kecil untuk meniru pola hidrologi alami yang ada di perumahan, komersil, dan industri (Hinman, 2005). Tujuan dari LID adalah mengelola desain dan konstruksi lapangan agar kualitas hidrologi dan air lebih baik. Pendekatan dari LID dilakukan untuk meminimalkan lahan kedap air, melestarikan lahan dan topografi, meningkatkan aliran, dan memperpanjang waktu untuk penurunan konsentrasi limpasan air hujan.

2.2.2 Manfaat Penerapan *Low Impact Development*



Gambar 2.3 Grafik *Hydrograph* pada Saat Sebelum dan Sesudah Pembangunan, dan Penerapan LID maupun BMP

Sumber: North Carolina State University (2009)

Dari gambar 2.3 dapat dilihat bahwa terjadi peningkatan debit limpasan air hujan ketika terjadi pembangunan. Ketika menerapkan *Low Impact Development* (LID) maupun *Best Management Practice* (BMP) sebagai upaya pengendalian dapat menurunkan debit limpasan agar menyerupai debit limpasan sebelum pembangunan. Selain mengurangi debit limpasan penerapan LID juga dapat menguntungkan dari segi ekonomi maupun lingkungan, seperti (USEPA, 2012):

- Meningkatkan kualitas air
Limpasan air hujan dapat mengandung polutan seperti minyak, bakteri, sedimen, logam, hidrokarbon, dan beberapa nutrisi dari permukaan tanah. Dengan menggunakan LID dapat mengurangi polutan yang ada dalam limpasan air permukaan agar mencapai standar baku mutu untuk badan air. Dengan kualitas air yang lebih baik, dapat meningkatkan nilai properti dan menurunkan biaya pemerintah untuk melakukan pembersihan.
- Mengurangi probabilitas terjadi banjir
Umumnya dalam kehidupan masyarakat saluran drainase digunakan untuk mengalirkan limpasan air hujan, ketika volume besar maka terjadi banjir. Dengan menggunakan LID dapat mengurangi volume dan kecepatan

limpasan air hujan sehingga mengurangi probabilitas banjir dan menekan biaya kerusakan properti akibat banjir.

- Memulihkan habitat akuatik

Pergerakan limpasan air hujan yang cepat dapat mengikis dan menggerus saluran sungai. Selain itu juga menghilangkan habitat ikan dan makhluk akuatik lainnya. Dengan menerapkan LID dapat mengurangi jumlah limpasan air hujan sehingga pada saat mencapai permukaan air membantu untuk mempertahankan aliran alami dan habitat makhluk hidup akuatik.

- Meningkatkan pemasukan air tanah

Limpasan air hujan yang mengalir dengan cepat dan masuk kedalam saluran drainase tidak dapat meresap ke dalam tanah. Penerapan LID dapat mempertahankan curah hujan di lapangan, dengan membuat air hujan masuk ke dalam tanah.

- Meningkatkan keindahan lingkungan

Dengan menerapkan LID dapat meningkatkan nilai properti dan meningkatkan estetika dengan membuat lahan lebih indah secara berkelanjutan.

2.2.3 Jenis-jenis *Low Impact Development*

Dalam buku *Low Impact Development: A Guidebook for North Carolina* (2009) menjelaskan terdapat 9 jenis BMP yang digunakan untuk menerapkan *Low Impact Development*, yaitu:

- a. Bioretensi

Bioretensi biasa juga disebut dengan “taman hujan”, merupakan filtrasi dan infiltrasi BMP yang didesain dengan saringan pasir. Bioretensi merupakan penerapan tipikal dengan galian yang berupa cekungan dengan saluran dibagian bawah yang berbentuk pipa berlubang. Tanah pada bagian atasnya dibuat khusus yang menjadi media tanam bagi tanaman, dan sering ditambahkan mulsa.

- b. Perkerasan Berpori

Perkerasan berpori memiliki bukaan yang digunakan untuk mengalirkan air. Contohnya adalah aspal berpori, beton, atau perkerasan terbuka. Dibawah bagian paling atas terdapat lapisan kerikil dengan kedalaman 4-12 inch, dan

beberapa perkerasan berpori memiliki saluran dibagian bawah. Air hujan akan melewati perkerasan, dan sebagian akan mengisi pori-pori yang ada di lapisan kerikil, dimana proses infiltrasi yang berlangsung akan lebih lama. Keberadaan air pada sistem ini akan mencapai tanah atau perpipaan dibagian bawah yang dipengaruhi oleh intensitas air hujan, volume air hujan, dan kecepatan infiltrasi tanah. Polutan yang ada pada air akan terperangkap di dalam perkerasan atau tanah disekitarnya. Terdapat 5 jenis perkerasan, yaitu *Permeable Asphalt*, *Permeable Concrete*, *Permeable Interlocking Pavers*, *Concrete Grid Pavers*, dan *Plastic Grid Pavers*.

c. Penampung dan Pemanen Air

Penampung dan pemanen air merupakan sistem penangkap air hujan yang umumnya berasal dari atap, kemudian ditampung pada reservoir penyimpanan dan digunakan jika dibutuhkan. Tempat penampung air hujan bisa berlokasi di atas maupun dibawah tanah. Air tersebut umumnya digunakan untuk irigasi, mencuci kendaraan, mencuci baju dan *flushing* toilet. Air tersebut dapat dikonsumsi jika sudah melalui pengolahan. Keuntungan dari pemanen air hujan adalah mengurangi potensi banjir, mengurangi erosi saluran drainase, menangkap polutan dan nutrien yang ada pada air, mendapatkan pasokan air gratis, dan menggunakan nutrien air hujan untuk irigasi.

d. Lahan Basah “*Backyard*”

Lahan basah *backyard* merupakan lahan basah kecil yang terintegrasi dengan lahan disekitarnya. Lahan basah *backyard* umumnya dangkal dan dibangun dibawah dataran disekitarnya, dan areanya cenderung basah. Pengelolaan lahan basah ini dapat mengurangi air dengan evtranspirasi dan infiltrasi. Volume air yang hilang dari terjadi hujan merupakan hasil dari penyerapan air pada lahan basah ketika air menggenang akibat adanya waktu tinggal air, dan permeabilitas tanah.

e. Sengkedan (*Swales*)

Sengkedan merupakan lahan rendah yang dapat mengumpulkan air dari daerah sekitarnya. Sengkedan merupakan salah satu cara yang murah dan mudah untuk membawa air dari sumber menuju pengelolaan atau *outlet*.

Sengkedan umumnya ditumbuhi oleh rumput, namun juga dapat ditumbuhi oleh tanaman lahan basah.

f. Atap Hijau

Atap hijau merupakan sistem yang mempersiapkan media bagi tanaman atau vegetasi di atap. Atap hijau menggunakan media khusus agar air dapat tertangkap dan mendukung tanaman agar lebih stabil. Atap hijau merupakan BMP yang paling mahal. Namun atap hijau dapat membatasi penetrasi sinar UV, memberikan penyekatan, mengurangi panas, dan memberikan ruang hidup tambahan.

g. Penyebar Tingkat dan Lajur Filter Vegetasi

Penyebar tingkat merupakan sistem pembagian debit aliran yang akan masuk kedalam lajur filter vegetasi dengan menggunakan beton. Hal ini mendukung proses infiltrasi dan evatranspirasi dari tanaman. Desain penyebar tingkat yang terbaru akan dibuat dengan material keras seperti beton atau logam.

h. Perangkat Infiltrasi

Parit, sumur, dan cekungan infiltrasi merupakan kelompok yang serupa dengan bioretensi, sistem yang diterapkan adalah mengalirkan air dalam lubang atau cekungan. Perangkat infiltrasi ini secara khusus ditujukan untuk mengalirkan air menuju air tanah yang dangkal. Sistem infiltrasi umumnya diisi dengan bebatuan atau media berpori lainnya. Bioinfiltrasi atau yang biasa juga disebut dengan bioretensi dapat dianggap masuk kedalam kategori perangkat infiltrasi.

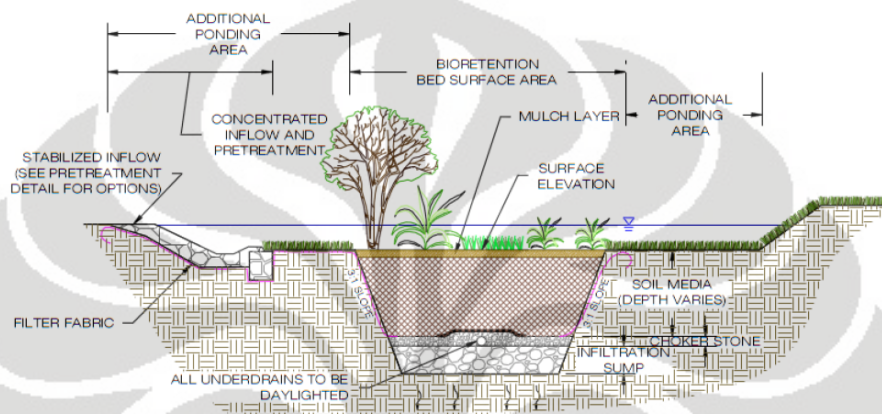
i. Filter Pasir dan Perubahan Tanah

Filter pasir melibatkan saluran perpipaan drainase dibagian bawah media pasir. Umumnya filter pasir menggunakan beton sebagai tempat penampungnya dan hanya memberikan sedikit infiltrasi kedalam tanah dan juga evatranspirasi yang terjadi kecil.

2.3 Bioretensi

2.3.1 Pengertian Bioretensi

Bioretensi merupakan lahan yang dapat menghilangkan polutan dari limpasan air yang berasal dari permukaan kedap air, dan terdiri dari media filter, tanaman, bendungan *overflow* dan sistem *underdrain* (Liu *et al.*, 2014). Proses yang terjadi pada bioretensi mencakup Penangkapan (*interception*), infiltrasi, pengendapan, filtrasi, absorpsi, transpirasi, evaporasi, dan volatilisasi.



Gambar 2.4 Bioretensi

Sumber: Virginia Water Resources Research (2013)

2.3.2 Proses pada Bioretensi

Bioretensi didesain agar fungsinya sama dengan proses yang terjadi pada alam. Di alam terdapat proses fisika, kimia, dan biologi. Namun, pada bioretensi didesain untuk dapat menurunkan beban polutan dengan merekayasa proses yang terjadi di alam. Berikut ini beberapa proses yang terjadi pada bioretensi (Davis *et al.*, 2010):

- Penangkapan (*interception*)

Limpasan air hujan akan ditangkap oleh tanaman yang ada pada bioretensi, yang kemudian akan memberikan waktu untuk proses infiltrasi ke dalam tanah (Lloyd and Wong, 2007).

- Infiltrasi

Infiltrasi didefinisikan sebagai proses fluida melewati atau masuk ke dalam zat lain melalui pori-pori atau celah (Haghnazari *et al.*, 2015). Proses infiltrasi pada bioretensi dapat digunakan untuk mengembalikan atau

menyimpan aliran air pada air tanah seperti siklus hidrologi (Davis *et al.*, 2009).

- Pengendapan

Pengendapan adalah pergerakan partikel diskrit secara vertical atau aglomerasi padatan ke dasar, dan sangat bergantung pada waktu retensi air (Lian Scholes *et al.*, 2008). Dalam mengefektifkan proses pengendapan dibutuhkan perlambatan kecepatan aliran air agar partikulat yang ada dalam air dapat terendapkan dibagian dasar kolam (Davis *et al.*, 2010)

- Filtrasi

Filtrasi merupakan proses penyaringan partikel halus. Pada proses filtrasi, poros media sangat penting karena mempengaruhi penghilangan partikel-partikel dalam air (Davis *et al.*, 2010).

- Adsorpsi

Adsorpsi merupakan proses fisik-kimia yang dapat menghilangkan padatan tersuspensi (Scholes *et al.*, 2008). Dengan adanya media tanah atau media filtrasi dapat mendorong terjadinya adsorpsi berbagai jenis polutan (Davis *et al.*, 2010). Adsorpsi terjadi karena reaksi kimia pada tanah, yang dapat mengubah logam dari fase cair menjadi fase padatan (Muthanna, 2007).

- Transpirasi

Transpirasi dapat dianggap sebagai evaporasi air dari permukaan daun dan difusi melalui stomata (Andersson, 2005). Beberapa faktor yang mempengaruhi transpirasi adalah spesies tanaman, cahaya matahari, temperatur, jumlah air, aerasi akar, kecepatan angin, kelembaban, ukuran dan jumlah stomata (Wallace *et al.*, 1962).

- Evaporasi

Evaporasi merupakan proses perubahan air atau zat cair menjadi uap dengan melakukan transfer energy (Mays, 2010). Faktor yang mempengaruhi evaporasi adalah perbedaan tekanan uap antara lapisan yang menguapkan air dan atmosfer, serta resistensi terhadap aliran uap pada lapisan intervensi (Hide, 1953).

- Volatilisasi

Proses volatilisasi merupakan proses perubahan suatu senyawa cair menjadi uap. Volatilisasi adalah proses yang dapat menghilangkan konsentrasi ammonia dalam jumlah besar pada bioretensi (Liu *et al.*, 2014).

2.3.3 Tanaman

Tanaman pada bioretensi memiliki peranan sebagai pengambil nutrisi dari limpasan air hujan, mengonsumsi air melalui evapotranspirasi, dan meningkatkan infiltrasi melalui akar (Muthanna, 2007). Tanaman pada bioretensi akan tumbuh di media filter sehingga membantu mencegah erosi pada media filter, mencegah penyumbatan pada sistem dan menyediakan *biofilms* pada akar tanaman sehingga polutan dapat terabsorpsi (Water Melbourne, 2005). Selain itu penggunaan tanaman pada bioretensi memiliki tujuan sebagai berikut (Fassman *et al.*, 2013):

- Mengendalikan sedimentasi dan erosi. Daun dari tanaman secara fisik dapat melindungi permukaan tanah dari erosi dan memperlambat kecepatan limpasan air hujan. Selain itu juga dapat menghambat pergerakan padatan yang terbawa seperti sampah dalam aliran limpasan air hujan.
- Proses mikroorganisme. Tanaman menyediakan substrat organik yang merupakan sumber proses dasar bagi mikroorganisme, terutama pada bagian akar dan daun untuk proses dekomposisi.
- Penghilangan nitrogen dan fosfor. Tanaman membutuhkan makro nutrisi selama proses pertumbuhan.
- Penghilangan logam berat. Logam berat terlarut dalam limpasan air hujan akan diambil oleh tanaman selama pertumbuhannya dan akan dibawa menuju daun dan akar (Muthanna, 2007; Lim *et al.*, 2015; Myung *et al.*, 2012). Biomassa yang tinggi juga akan meningkatkan penghilangan logam berat.
- Menurunkan volume limpasan air hujan. Evapotranspirasi pada tanaman membuat volume pori yang berisi udara pada media digunakan untuk menyimpan air hujan. Oleh karena itu tanaman dapat mencegah terjadinya banjir.

Dalam memilih tanaman yang akan digunakan pada pengelolaan limpasan air hujan harus mempertimbangkan sistem akar tanaman agar dapat menunjang tujuan penggunaan tanaman yang telah dijelaskan sebelumnya (Skorobogatov, 2014). Tanaman memiliki bentuk akar yang berbeda-beda. Dalam buku yang ditulis oleh Daniel Shaw dan Rusty Schmidt pada tahun 2003 tanaman diklasifikasikan menjadi 3, yaitu:

Tabel 2.4 Jenis Tanaman untuk Bioretensi

Pohon dan Semak	Rumput	Tanaman Bunga
Memiliki akar berserat sehingga dapat menyerap air dalam jumlah besar (<i>interception</i>)	Akar memanjang kedalam tanah sehingga membantu proses infiltrasi dan evapotranspirasi	Akar memanjang kedalam tanah sehingga membantu proses infiltrasi dan evapotranspirasi
Menjadi stabilisasi lereng yang curam	Jaringan akar padat, sehingga menstabilkan tanah dan mengurangi erosi	Menambah estetika pada permukaan tanah
Menjadi habitat bagi banyak spesies	Pada saat debit limpasan air hujan sangat besar, rumput memiliki efisiensi yang kecil untuk menurunkan kecepatan aliran air	Memiliki batang yang lebih sedikit jika dibandingkan dengan tanaman rumput, dan kurang efisien dalam menyaring limpasan air hujan
Sulit digunakan pada pengelolaan limpasan air hujan karena sedimen dibawahnya akan digali secara berkala.		

Sumber: Shaw and Schmidt (2003)

Selain itu juga harus mempertimbangkan kondisi lingkungan yang akan diterima oleh tanaman pada saat menjadi bagian dari pengelolaan limpasan air hujan, seperti (Shaw and Schmidt, 2003):

- **Beban Sedimen**

Dalam menerima beban sedimen tanaman yang digunakan harus memiliki kemampuan tersendiri. Pada penelitian yang telah dilakukan di Washington endapan dari sedimen dapat menurunkan produktivitas tanaman dalam mengelola limpasan air hujan (Ewing, 1996). Selain itu

juga terdapat penelitian mengenai ketinggian sedimen sebesar 15 cm dapat menurunkan massa jenis akar 37-49% (Valk *et al.*, 1994).

- Turbiditas

Ketika banjir terjadi dapat meningkatkan turbiditas dan menyebabkan masalah bagi tanaman. Turbiditas dapat mengurangi proses fotosintesis tanaman karena dapat menghalangi sinar matahari. Dengan beban sedimen yang tinggi secara langsung dapat dikatakan bahwa turbiditas juga tinggi.

- Polutan dan Toksisitas

Tanaman memiliki kemampuan untuk melakukan asimilasi terhadap polutan dan pencemar berbahaya lainnya melalui akar dan batangnya. Telah dilakukan penelitian mengenai jenis tanaman yang memiliki toleransi tinggi terhadap logam timbal, dan hasilnya menunjukkan bahwa spesies *Juncus effuses* dan *Iris pseudacorus* memiliki toleransi yang tinggi (Snowden *et al.*, 1993).

- Erosi

Erosi disekitar akar tanaman memiliki potensi untuk menghambat tanaman dalam mengelola limpasan air. Erosi dapat terjadi secara alami pada dataran banjir tetapi juga dapat terjadi dalam sistem pengelolaan limpasan air yang tidak memiliki tanaman yang memadai. Tanaman semak, berakar dalam, *native*, dan spesies padang rumput memiliki kemampuan dalam menstabilkan kolam maupun lahan basah. Tanaman penutup seperti gandum dan *ryegrass* berguna dalam mengendalikan erosi.

- Energi Gelombang

Pada badan air, gelombang air dapat memberikan pengaruh yang signifikan pada pertumbuhan tanaman. Pada penelitian mengenai pengaruh gelombang di sungai Axe di Ontario menghasilkan bahwa gelombang dapat menghapus biomassa, menghilangkan bibit, dan membawa bakal buah dari tanaman (Keddy, 1983). Pada pengelolaan limpasan air hujan umumnya tidak terlalu besar ukurannya sehingga pengaruh dari gelombang tidak signifikan, namun gelombang dapat memberikan tekanan terhadap tanaman.

Agar tanaman yang digunakan dapat bekerja dengan optimal, tanpa terjadi *shock loading* ketika diberi beban polutan yang berasal dari limpasan air hujan harus dilakukan aklimatisasi. Aklimatisasi merupakan adaptasi atau peningkatan toleransi suatu spesies terhadap perubahan lingkungan, seperti temperatur, ketinggian, iklim, maupun lingkungan hidup (Greenleaf and Carolz, 1970). Tujuan dari aklimatisasi yang dilakukan pada suatu tanaman adalah untuk menstabilkan tanaman, dan pada saat kondisi akar tanaman telah berkembang maka dapat menyerap limbah cair atau air yang ingin diolah (Sharma dan Pandey, 2014). Aklimatisasi pada penelitian lahan basah dengan jenis tanaman *Iris pseudoacorus* dilakukan selama 5 hari, dengan komposisi 20% air limbah dan 80% air bersih pada hari pertama, 50% air limbah dan 50% air bersih pada hari kedua, dan 100% air limbah pada hari ketiga sampai kelima (Prawira *et al.*, 2015).

Berikut ini merupakan beberapa tanaman yang umum digunakan dalam *Low Impact Development*.

- *Typha latifolia*

Di Indonesia *Typha latifolia* dikenal juga sebagai tanaman ekor kucing atau tifa. *Typha latifolia* merupakan jenis tanaman rumput yang memiliki bunga dengan bentuk silindris berwarna coklat dan berbulu. Bunga tersebut memiliki ukuran 15-20 cm dengan tinggi tanaman 1.5-3 m (Evasari, 2012). Tanaman *Typha latifolia* memiliki kemampuan bertahan hidup pada tingkat keasaman yang rendah (Sulthoni *et al.*, 2014). Pada sebuah penelitian yang mengolah efluen limbah tambang emas dengan *Typha latifolia* menunjukkan penurunan ketinggian, nekrosis pada daun serta mengalami penurunan mikronutrien di bagian akar (Shaw and Schmidt, 2003).



Gambar 2.5 *Typha latifolia*

Sumber: <http://bestklev.ru> (2015)

- *Juncus effusus*

Tanaman *Juncus effusus* termasuk kedalam famili *Rush* atau alang-alang. *Juncus effusus* memiliki toleransi yang cukup terhadap polutan (Shaw and Schmidt, 2003). *Juncus effusus* memiliki tinggi 20-100 cm dan akar dengan panjang 1.5-3 cm dibawah tanah dengan pertumbuhan 2 cm pertahunnya (McCorry and Renou, 2003). Selain itu *Juncus effusus* juga memiliki bunga yang kecil dan merupakan perpanjangan dari batang dengan ukuran 3-15 cm yang terdiri dari kapsul-kapsul berukuran 2-3.5 mm (Maser, 1998). *Juncus effusus* dapat menghilangkan logam seng (Zn) dengan efisiensi 46.17%-74.26% (Mengzhi *et al.*, 2009).



Gambar 2.6 *Juncus effusus*

Sumber: M. J. McCorry and Florence Renou (2003)

- *Cymbopogon citratus*

Tanaman *Cymbopogon citratus* merupakan salah satu tanaman yang berasal dari negara tropis dan umum digunakan pada LID. *Cymbopogon citratus* mampu menghilangkan total fosfor sebesar 30-83% (de Rozari *et al.*, 2016). *Cymbopogon citratus* biasa disebut dengan serai dapur atau *Lemongrass*. Tanaman ini memiliki tinggi antara 1.2-1.8 m (Hunt *et al.*, 2006). *Cymbopogon citratus* mempunyai daun dengan lebar 1.3-2.5 cm dan panjang 0.9 m, daun tersebut menghasilkan aroma jeruk (Gagan *et al.*, 2011). *Cymbopogon citratus* tidak memiliki bunga.



Gambar 2.7 *Cymbopogon citratus*

Sumber: <http://bioweb.uwlax.edu> (2007)

- *Cyperus alternifolius*

Jenis tanaman *Cyperus alternifolius* memiliki nama lain yaitu “bintang air”. Tanaman ini memiliki bentuk tangkai segitiga dengan panjang 0.5-1.5 m, dan panjang daun 12-15 cm (Supradata, 2005). Tanaman *Cyperus alternifolius* dapat menyerap logam berat, sampai dengan total biomassa dari tanamannya 498 g (Yadav *et al.*, 2012).



Gambar 2.8 *Cyperus alternifolius*

Sumber: A.K. Yadav *et al.* (2012)

- *Canna indica*

Canna indica biasa disebut juga dengan bunga tasbih di Indonesia. Bunga tasbih berasal dari negara Amerika Selatan (Riandini and Hartana, 2015). Tanaman ini memiliki tinggi 90-300 cm, dengan panjang daun 65-70 cm, dan bunga berwarna merah berukuran 2.5-3 cm (Al-Snafi, 2015). Tanaman jenis ini dapat mengangkut logam berat hingga biomassa tanamannya sebesar 648 g (Yadav *et al.*, 2012).



Gambar 2.9 *Canna indica*

Sumber: Darsini P.I. *et al.* (2015)

- *Iris pseudacorus*

Tanaman *Iris pseudacorus* atau biasa dikenal dengan nama iris kuning. *Iris pseudacorus* berasal dari famili *Iridaceae* dan genus *Iris*. Tanaman ini

merupakan tanaman asli wilayah Eropa, Asia Barat, dan Afrika bagian barat laut. Tanaman ini dapat tumbuh 1-1.5 m, selain itu juga menghasilkan bunga berwarna kuning dengan ukuran 7-10 cm dan 6 buah kelopak (Gontova and Zatylnikova, 2013). *Iris pseudacorus* dapat tumbuh di tanah yang kondisinya anoksik (oksigen rendah), dan keadaan asam dengan rentang pH 3.6-7.7. Akar dari tanaman *Iris pseudacorus* memiliki diameter 1-4 cm, dan panjang 10-30 cm (Sutherland, 1990). *Iris pseudacorus* umum digunakan sebagai tanaman pengolahan air karena kemampuannya untuk menngabsorbsi logam berat. Dalam suatu penelitian menunjukkan bahwa *Iris pseudacorus* dapat mengangkut logam seng dan cadmium dari air limbah. Logam seng terakumulasi pada daun dari tanaman, sedangkan untuk cadmium terakumulasi pada akar. Tanaman *Iris pseudacorus* dapat digunakan untuk proses remediasi tanah yang terkontaminasi oleh logam berat (Austin and Kongjian, 2016). *Iris pseudacorus* dapat menghilangkan logam berat 81-99%, nitrat 75%, dan total nitrogen 40% (Hunt *et al.*, 2006).



Gambar 2.10 *Iris pseudacorus*

Sumber: <http://www.plantright.org>

2.3.4 Media Filter

Media filter pada bioretensi merupakan tempat terjadinya pengolahan utama dari bioretensi (Water Melbourne, 2005). Media filter untuk bioretensi yang umum digunakan adalah 30-60% pasir, 20-40% kompos, dan 20-30% tanah pada lapisan atas (Takaijudin *et al.*, 2014). Berikut merupakan karakteristik yang harus dimiliki oleh media filter pada bioretensi (Fassman *et al.*, 2013):

- Memiliki permeabilitas yang memadai untuk terjadi proses infiltrasi
- Memiliki sifat kimia yang diperlukan untuk menghilangkan polutan
- Memberikan waktu kontak yang cukup antara media dengan limpasan air untuk menghilangkan polutan
- Menyediakan nutrisi yang memadai, aerasi, penyimpanan kelembaban dan dukungan fisik untuk tanaman seperti pemanjangan akar tanaman
- Memiliki kestabilan dalam waktu yang lama tanpa penyusutan, pemadatan dan runtuh

2.3.4.1 Tanah

Tanah merupakan material hasil dari proses pelapukan yang berada di permukaan bumi yang mengandung bahan organik, air dan udara (John, 2014). Tanah memiliki tekstur beragam, sesuai dengan proporsi dari partikel penyusunnya. Umumnya tanah terdiri dari tiga jenis partikel, yaitu pasir, lanau, dan tanah liat. Ketiga partikel memiliki diameter yang berbeda yaitu, pasir (0.05-2 mm), lanau (0.05-0.002 mm), dan tanah liat (<0.002 mm) (Peter, 1996). Dengan kombinasi ketiga partikel tersebut, tanah dapat diklasifikasikan menjadi empat jenis yaitu (David, 2000):

- Tanah lempung : memiliki komposisi 20% tanah liat, 40% pasir, dan 40% lanau.
- Tanah lempung berpasir : memiliki komposisi 15% tanah liat, 65% pasir, dan 20% lanau.
- Tanah lempung lanau : memiliki komposisi 15% tanah liat, 15% pasir, dan 70% lanau.
- Tanah liat : memiliki komposisi 70% tanah liat, 15% pasir, dan 15% lanau.

Dengan adanya variasi tekstur tanah dapat mempengaruhi perkolasi atau pergerakan air masuk kedalam tanah (Peter, 1996). Selain dipengaruhi oleh tekstur tanah juga dipengaruhi oleh permeabilitas yang dimiliki oleh tanah tersebut. Permeabilitas merupakan kemampuan tanah dalam melewati air dibawah tekanan atau gradien hidrolis (William *et al.*, 2011). Berikut besar koefisien permeabilitas tanah berdasarkan jenis tanah.

Tabel 2.5 Koefisien Permeabilitas

Jenis Tanah	Koefisien Permeabilitas k (cm/s)
Kerikil	5-10
Pasir kasar	0.4-3
Pasir sedang	0.05-0.15
Pasir halus	0.04-0.02
Pasir lanau dan kerikil	10^{-5} -0.01
Pasir lanau	10^{-5} - 10^{-4}
Tanah liat berpasir	10^{-6} - 10^{-5}
Tanah liat lanau	10^{-6}
Tanah liat	10^{-7}
Koloid tanah liat	10^{-8}

Sumber: William *et al.* (2011)

Dari seluruh jenis tanah yang ada, jenis tanah yang umum digunakan pada bioretensi adalah tanah berpasir, karena memiliki distribusi partikel yang mendukung waktu retensi untuk menghilangkan padatan tersuspensi (Water Melbourne, 2005).

2.3.4.2 Pasir

Pasir merupakan komponen dari media filter yang digunakan pada bioretensi. Pasir digunakan sebagai media penyaring limpasan air hujan. Pasir memiliki diameter yang lebih besar dari tanah, dan dapat memberikan ruang bagi air atau udara. Dengan terisnya pori pada bioretensi dapat mempermudah tanaman untuk melakukan absorpsi. Berikut ini merupakan beberapa jenis pasir yang pernah digunakan dalam penelitian bioretensi sebelumnya.

Tabel 2.6 Jenis Pasir Berdasarkan Kekasarannya

Jenis Pasir	Porositas	Bulk Density of the Medium (g/cm ³)
Pasir Kuarsa ¹	2	2.6
Pasir Halus ¹	0.44	2.2
Pasir Hitam ²	1	0.996
Pasir Apung ²	0.5	0.505

Sumber: ¹Wang *et al.* (2016)²Fassman *et al.* (2013)

2.3.4.3 Kompos

Kompos merupakan limbah organik seperti kotoran hewan ternak, pertanian, limbah padat perkotaan yang membusuk secara aerob (Sinha, 2009).

Kompos dapat meningkatkan pertumbuhan tanaman. Kandungan nutrisi yang terdapat dalam kompos dipengaruhi oleh kualitas senyawa organik yang digunakan dalam pembuatan kompos. Proses pembuatan kompos umumnya memanfaatkan limbah organik yang kemudian akan didekomposisi secara aerob oleh bakteri *thermophilic* (Roger, 1993). Dengan melakukan proses composting dapat membantu menurunkan timbunan limbah organik. Pada bioretensi penambahan kompos bertujuan sebagai sumber nutrisi bagi pertumbuhan tanaman.

2.3.5 Kriteria Desain

Dalam melakukan desain bioretensi harus memperhatikan beberapa aspek, yaitu (Water by Design, 2014; Minnesota Stormwater Manual, 2014):

a. Lokasi

Beberapa pertimbangan yang harus dilakukan dalam menentukan lokasi penerapan bioretensi adalah:

- Topologi

Mengetahui jalur dari aliran air, dengan mempertimbangkan kemiringan lahan. Kemiringan suatu lokasi harus berada pada kisaran 1-33%.

- Batas

Mengetahui batas-batas seperti jalanan yang mungkin akan menyebrangi sistem bioretensi.

- Infrastruktur hidrologi dan drainase

Luas maksimum saluran drainase yang dapat diatasi dengan sistem bioretensi adalah 20,000 m². Jika luas drainase > 20,000 m² dibutuhkan lebih dari 1 bioretensi.

- Tanah

Mengetahui jenis tanah, permeabilitas tanah, dan konduktivitas hidrolis tanah lokasi dapat menentukan pengaruh bioretensi terhadap air tanah. Pada bioretensi yang akan diterapkan sebaiknya dilakukan rekayasa pada tanahnya agar konduktivitas hidrolisnya besar.

- Air tanah

Mengetahui karakteristik air tanah pada lokasi. Jarak minimum antara dasar bioretensi dengan muka air tanah sebesar 1 m.

- Lansekap atau tata guna lahan

Penerapan bioretensi pada lokasi terintegrasi dengan tata guna lahan yang telah ditetapkan oleh pemerintah.

- Lain-lain

Mengetahui tingginya banjir dan pasang surut pada lokasi.

b. Saluran inlet

Pada saluran inlet bioretensi memiliki kecepatan maksimum sebesar 1 m/s. Jika kecepatan aliran melebihi maka harus diberi batuan. Apabila bentuk dari inlet menggunakan pipa memiliki potensi untuk menghasilkan kecepatan yang besar.

c. *Underdrain*

Pipa yang dapat digunakan sebagai *underdrain* memiliki diameter minimal 4 inchi. Dianjurkan untuk menggunakan 2 pipa *underdrain*, untuk mencegah kegagalan sistem jika terjadi penyumbatan disalah satu pipa. Satu buah pipa *underdrain* dapat dipasang untuk setiap 100 m². Pipa *underdrain* dapat dipasang dengan kemiringan 0.5% dan terbuat dari PVC.

d. Tanaman

Penggunaan tanaman pada bioretensi harus menutupi minimum 90% dari permukaan bioretensi pada musim ketiga. Dalam memenuhi kebutuhan 90% maka dibutuhkan 1 tanaman semak untuk setiap 2-20 m², 1 pohon untuk setiap 20-100 m², dan 6-8 tanaman rumput dan tumbuhan lain untuk 1 m².

e. *Pre-Treatment*

Pre-Treatment dilakukan untuk mencegah terjadinya penyumbatan pada sistem bioretensi. *Pre-Treatment* diterapkan ketika area tangkapan air hujan > 2 ha. *Pre-Treatment* dapat dilakukan dengan filter rumput strip dengan lebar 1 m dan kemiringan maksimum 5%. Mulsa yang digunakan pada permukaan bioretensi memiliki tebal 2.5-8 cm (Davis *et al.*, 2008). Selain itu juga terdapat kerikil dengan diameter 7-12 cm. Kecepatan melalui *Pre-Treatment* tidak boleh lebih dari 1 m/s.

f. *Treatment*

Pada *treatment* terdapat tiga kriteria, yaitu:

- Kebutuhan lahan

Lahan yang dibutuhkan untuk membuat bioretensi adalah 5-10% dari luas kedap air yang limpasan air hujannya ingin dikelola. Dengan luas minimum sebesar 18 m².

- Kemiringan

Kemiringan yang dibutuhkan bioretensi $\leq 1\%$ agar aliran merata keseluruhan bagian bioretensi.

- Tinggi genangan

Tinggi genangan harus dijaga agar tidak melebihi batas waktu tanaman tergenang, mengurangi pemadatan, mengurangi penyumbatan, memaksimalkan waktu kontak, dan menjaga sistem bioretensi agar tetap berjalan baik. Waktu penyerapan bioretensi adalah 48 jam. Dengan ketinggian genangan antara 15-30 cm (Kim *et al.*, 2014).

g. Media Filter

Komposisi media filter yang direkomendasikan adalah 50% pasir, 30% tanah, dan 20% bahan organik (Mayland, 2001; Davis *et al.*, 2008; Takaijudin *et al.*, 2014). Kedalaman bioretensi yang direkomendasi adalah 1.2 m untuk menyediakan lahan pertumbuhan bagi akar tanaman (Davis *et al.*, 2009). Media filter dapat bekerja pada pH normal yaitu 6-8. Penghilangan logam berat terjadi pada kedalaman 20 cm dari permukaan bioretensi (Allen *et al.*, 2003). Berikut merupakan kedalaman media filter yang dibutuhkan dalam penghilangan polutan dalam bioretensi.

Tabel 2.7 Kedalaman pengolahan polutan pada bioretensi

Polutan	Kedalaman pada pengolahan dengan menerapkan <i>underdrain elevated</i>	Kedalaman pada pengolahan dengan menerapkan <i>underdrain</i> di dasar atau tanpa <i>underdrain</i>
TSS	5-8 cm media bioretensi	5-8 cm media bioretensi
Logam	20 cm media bioretensi	20 cm media bioretensi
Hidrokarbon	8-10 cm lapisan mulsa, dan 2.5 cm media bioretensi	8-10 cm lapisan mulsa, dan 2.5 cm media bioretensi
Nitrogen	Minimum kedalaman 90 cm	Minimum kedalaman 90 cm
Partikel fosfor	5-8 cm media bioretensi	5-8 cm media bioretensi
Fosfor terlarut	Minimum 60 cm, dengan kondisi 30-40 cm dari permukaan selalu terendam	Minimum 60 cm, dengan kondisi 30-40 cm dari permukaan selalu terendam

Polutan	Kedalaman pada pengolahan dengan menerapkan <i>underdrain elevated</i>	Kedalaman pada pengolahan dengan menerapkan <i>underdrain</i> di dasar atau tanpa <i>underdrain</i>
Pathogen	Minmum 60 cm, dengan kondisi 40 cm dari permukaan selalu terendam	Minmum 60 cm, dengan kondisi 40 cm dari permukaan selalu terendam

Sumber: Design Criteria for Bioretention – Minnesota Stormwater Manual (2014)

h. Penentuan dimensi bioretensi

Dalam menentukan dimensi bioretensi harus mempertimbangkan luas daerah tangkapan, volume limpasan, dan intensitas hujan. Berikut langkah perhitungan dalam menentukan dimensi bioretensi.

- Volume kualitas air (WQv)

Volume kualitas air merupakan limpasan air hujan yang harus ditangkap dan diolah oleh bioretensi (Osman and Houghtalen, 2003). Dalam menentukan besar volume kualitas air harus mempertimbangkan beberapa aspek seperti, luas tangkapan, koefisien limpasan dari penutup permukaan, dan intensitas air hujan yang terjadi.

$$WQv = I \times C \times A \quad (2.1)$$

Keterangan:

WQv : volume limpasan air hujan (m³)

C : koefisien limpasan air hujan

A : luas permukaan tangkapan air hujan (m²)

I : Intensitas hujan (m)

- Luas permukaan kolam bioretensi (Af)

Setelah mendapatkan volume kualitas air (WQv) dapat menghitung luas permukaan kolam bioretensi (Af) dengan menggunakan persamaan berikut:

$$Af = \frac{WQv \times df}{[k \times (hf + df) \times tf]} \quad (2.2)$$

Keterangan:

Af : luas permukaan kolam bioretensi (m²)

WQv : volume desain (m³)

df : kedalaman media filter (m)

- k : koefisien permeabilitas (m/ hari)
hf : tinggi rata-rata genangan air (m)
tf : waktu pengeringan filter bed desain (hari) *2 hari berdasarkan literatur



2.4 Penelitian Terdahulu (Meta Analisis)

Berikut merupakan tabel meta analisis mengenai penelitian terkait bioretensi yang pernah dilakukan sebelumnya.

Tabel 2.8 Meta Analisis

No.	Judul Penelitian	Penulis (Tahun)	Lokasi	Tujuan Penelitian	Variabel	Metode	Hasil dan Uraian
1	Cadmium removal from urban stormwater runoff via bioretention technology and effluent risk assessment for discharge to surface water	Wang <i>et al.</i> , (2016)	Beijing, China	Mengetahui media filter yang paling baik dalam menghilangkan kadmium.	1) Logam Kadmium (Cd) 2) Media filter (pasir, pasir kuarsa, pasir halus, zeolit.	Menggunakan 4 bioretensi dengan tinggi 1 m (1-20 cm tanah, 20-80 cm media filter, 80-100 cm gravel). Tanaman yang digunakan adalah <i>iris</i> . Kolom 1 menggunakan media pasir halus, kolom 2 zeolit, kolom 3 pasir, dan kolom 4 pasir kuarsa. Air sampel yang digunakan adalah air sintetis, yang memiliki pH 6.8-7.5, konsentrasi cadmium 0.04 ± 0.005 mg/l, volum 200 l, dan waktu pengambilan sampel 0, 5, 10, 30, dan 60 menit. Pengujian cadmium menggunakan a graphite furnace-atomic absorption Spectro photometer (AAS)	• Urutan media dari yang paling baik adalah pasir kuarsa, pasir, zeolite dan pasir halus. • Jika bioretensi diterapkan ke badan air paling tidak akan masuk pada badan air kelas 3 China.
2	Evaluation of a parking lot bioretention	Glass <i>et al.</i> , (2005)	Washington D.C., U.S.A.	Mengkonfirmasi kemampuan bioretensi dalam	1) Dissolved Oxygen 2) Tempertaur	Penelitian dilakukan 3 bulan, dengan 5 kejadian hujan dan menggunakan bioretensi skala	• DO meningkat setelah melalui bioretensi, namun

No.	Judul Penelitian	Penulis (Tahun)	Lokasi	Tujuan Penelitian	Variabel	Metode	Hasil dan Uraian
	cell for removal of stormwater pollutants			menghilangkan polutan dan menurunkan beban pada Sungai Anacostia	3) pH 4) Logam berat (Al, Cd, Cr, Cu, Fe, As, Pb, dan Zn)	lapangan. Volume sampel yang diambil 1.5 l. Komposisi media bioretensi terdiri dari pasir 50%, batuan dan tanah bagian atas (30% dengan tanah lempung 10% dan komponen organik 20%), serta mulsa dan tanaman (20%). Tanaman yang digunakan adalah <i>cephalanthus occidentalis</i> dan <i>aronia arbutifolia red chokeberry</i> . Pengujian logam berat menggunakan an atomic absorption Spectro photometer (AAS), pengukuran pH menggunakan Accumet Research meter, untuk DO dan suhu menggunakan portable dissolved oxygen meter	peningkatannya tidak terlalu signifikan. • Bioretensi tidak memberikan banyak perubahan pada pH. • Efisiensi penghilangan logam berat: Cu = 81%; Cd = 66%; Zn = 79%; Cr = 53%; Pb = 75%; Al = 17%; As = 11%; dan Fe = 53%.
3	Soil bioretention protects juvenile salmon and their prey from the toxic impacts of	McIntyre <i>et al.</i> , (2015)	Seattle, Washington, USA	Mengetahui fungsi bioretensi dalam mencegah dampak ekologis dari infiltrasi tanah	1) Logam Cu, Zn, Cd, Pb, Ni 2) Dengan dan tanpa tanaman 3) <i>Juvenile salmon</i> ,	Menggunakan 12 bioretensi dengan volume masing-masing 22 l dengan kecepatan 0.058 mm/s. Ukuran kolom bioretensi adalah diameter 36 cm, dengan tinggi 61 cm (60% pasir, 15% kompos, 15% robekan kulit pohon, dan 10% lumpur	• Dengan penggunaan bioretensi <i>survival macroinvertebrate</i> dan <i>Juvenile salmon</i> mendekati 100%, sedangkan jika terpapar langsung

No.	Judul Penelitian	Penulis (Tahun)	Lokasi	Tujuan Penelitian	Variabel	Metode	Hasil dan Uraian
	urban stormwater runoff				<i>macroinvertebrata</i>	pengolahan air). 6 kolom menggunakan tanaman <i>Carex flacca</i> , dan 6 lainnya tidak. Air sampel yang digunakan adalah limpasan air hujan selama Spetember 2012. Pengujian Cu, Zn, Cd, Pb, Ni menggunakan a graphite furnace-atomic absorption Spectrophotometer (AAS)	oleh limpasan air hujan <i>survival</i> mendekati 0%.
4	Comparison of filter media materials for heavy metal removal from urban stormwater runoff using biofiltration systems	Lim <i>et al.</i> , (2015)	Singapore	Mengetahui media filter yang paling baik.	1) Logam Cu, Zn, Cd, Pb 2) Media sabut kelapa, tanah, kompos, <i>commercial mix</i> , dan lumpur	Menggunakan 10 bioretensi yang terbuat dari PVC dengan ukuran diameter 110 mm dan aliran secara gravitasi. Kedalaman dari bioretensi adalah 600 mm. air sampel yang digunakan adalah sintetis dengan konsentrasi Cu 44.8 µg/L-2.29 mg/l; Zn 436.4 µg/L-15.73 mg/l; Cd 1.82 µg/L-0.06 mg/l; dan Pb 51.3 µg/L-1.3 mg/l. Debit yang digunakan adalah 0.4 l/min. Pengujian Cu, Zn, Cd, Pb menggunakan five calibration standards	- Media kompos, sabut kelapa dan lumpur merupakan media yang potensial untuk didaur ulang. - Semua media dapat digunakan secara mandiri, kecuali sabut kelapa yang lebih baik dijadikan bahan tambahan untuk media lainnya.

No.	Judul Penelitian	Penulis (Tahun)	Lokasi	Tujuan Penelitian	Variabel	Metode	Hasil dan Uraian
5	Karakterisasi Limpasan Air Hujan Perkotaan Di Bandung Dalam Upaya Awal Revitalisasi Air Tanah	Almaditya dan Zevi (2012)	Bandung	Mengetahui karakteristik limpasan air hujan dari jalan raya	1) Logam berat (Pb, Zn, Cu, Cd)	Metode yang digunakan adalah grab sampling. Dengan interval waktu 5 menit. Data penelitian dibuat triplo dalam setiap pengambilan sampel. Pengambilan sampel diambil di 2 titik. Dengan kejadian hujan sebanyak 7 (3 hujan sedang, 3 hujan ringan, dan 1 hujan besar). Pengujian Cu, Zn, Cd, Pb menggunakan atomic absorption spectrometer (AAS)	Konsentrasi logam berat kadmium, tembaga, dan seng melebihi baku mutu.
6	Performance characterisation of a stormwater treatment bioretention basin	Mangangka <i>et al.</i> , (2015)	Gold Coast, South East Queensland, Australia.	Mengetahui pengaruh faktor hidrolika dan hidrologi pada proses penghilangan polutan dengan bioretensi	1) Intensitas air hujan 2) Periode kering 3) Volume yang dikelola 4) Volume yang tertahan 5) Daerah basah 6) Debit maksimum keluaran	Luas lahan tangkapan hujan adalah 6530 m ² . Kejadian hujan yang diteliti adalah 12. Dengan intensitas hujan antara 4.8-52 mm. Dalam mencapai tujuan metode yang digunakan adalah permodelan dengan PCA biplots.	- Periode kering yang panjang akan meningkatkan penahanan air limpasan. - Menanam tumbuhan yang memiliki daya penyerapan air yang tinggi akan meningkatkan efisiensi penurunan polutan.

No.	Judul Penelitian	Penulis (Tahun)	Lokasi	Tujuan Penelitian	Variabel	Metode	Hasil dan Uraian
7	Fractionation of heavy metals in runoff and discharge of a stormwater management system and its implications for treatment	Maniquiz <i>et al.</i> , (2014)	Chungnamdo, Korea	Menyelidiki kinerja sistem pengolahan air hujan dalam menahan logam berat dari limpasan air hujan.	1) Debit 2) Fraksi logam berat	Menggunakan <i>eco-biofilter</i> (EBF) sebagai penangkap 35% limpasan air hujan. Dengan rata-rata beban TSS 76000-140000 kg/tahun. Beban logam berat (Cr, Ni, Cu, Cd, dan Pb) < 100 kg/tahun, sedangkan Zn 150-250 kg/ tahun dan Fe > 2000 kg/tahun. Kapasitas penyimpanan efektif dari EBF adalah 3.85 m ³ , yang merupakan 60% dari total volume sistem. Media yang digunakan adalah serpihan kayu, pasir, dan gravel. Pengambilan sampel dari 24 kejadian hujan, pada menit 5, 10, 15, 30, dan 60. Pengujian TSS menggunakan standard glass fiber filters (Whatman GF/C) dan logam berat diuji dengan nitric dan hydrochloric acids (total heavy metal constituents) atau difilter dengan membrane filter yang porinya 0.45 µm (dissolved heavy metal constituents).	- Keberadaan logam berat pada limpasan air hujan dipengaruhi oleh debit dan beban TSS. - Konsentrasi logam berat pada limpasan air hujan akan lebih tinggi ketika awal kejadian. - Setelah melewati sistem pengolahan, logam berat akan memiliki rasio fraksi massa yang lebih tinggi yang akan menunjukkan penurunan signifikan.

No.	Judul Penelitian	Penulis (Tahun)	Lokasi	Tujuan Penelitian	Variabel	Metode	Hasil dan Uraian
8	Perencanaan Eko Drainase Kawasan Perumahan Tembalang Pesona Asri–Semarang	Aflakhi <i>et al.</i> , (2014)	Semarang	Cara konservasi air tanah pada lahan terbangun di Perumahan Tembalang Pesona Asri Semarang dan mengurangi limpasan permukaan yang akan membebani saluran drainase di hilir daerah yang bersangkutan	1) Volume limpasan (pra, dan pasca pembangunan) 2) Debit (pra, dan pasca pembangunan)	Perencanaan Eko Drainase menggunakan permodelan untuk menentukan debit dan volume limpasan saluran drainase dengan uji Chi-Kuadrat dan Smirnov-Kolmogorov. Data yang didapatkan diolah dengan menggunakan distribusi probabilitas Log Pearson III.	- Dengan konsep mengembalikan limpasan air seperti sebelum ada pembangunan, maka perlu mengetahui debit aliran dan volume limpasannya. - Dengan membuat eko-drainase (sumur resapan dan bioretensi) dapat mengurangi limpasan air hujan sebesar 83.5%.
9	Preliminary Study on Impacts of Variations Engineered Soil Composition in Bioretention on Hydraulic Performance	Takaijudin <i>et al.</i> , (2014)	Malaysia	Mengetahui pengaruh jenis media filter (pasir) terhadap konduktivitas hidrolis	1) Jenis pasir (<i>coarse, medium, dan fine sands</i>) 2) Konduktivitas hidrolis	Bioretensi yang digunakan terdiri dari 3 kolom. Dengan jenis media berbeda, namun komposisi yang sama (50% pasir, 30% tanah, dan 20% kompos). Debit maksimum desain adalah 8.49 l/s dan debit influen yang didesain sebesar 0.28 l/min. Diameter bioretensi yang digunakan 74 mm, dan tinggi 700mm (500 mm=media filter, 30 mm=gravel). Sampel	- Variasi kekasaran pasir mempengaruhi konduktivitas hidrolis. - Keberadaan pasir kasar menurunkan kemampuan bioretensi karena meningkatkan permeabilitas.

No.	Judul Penelitian	Penulis (Tahun)	Lokasi	Tujuan Penelitian	Variabel	Metode	Hasil dan Uraian
						yang dialirkan ditampung pada reservoir berukuran 100l. pengukuran konduktivitas hidrolis dilakukan dengan metode constant head (permeabilitas)	
10	Media Specification for Stormwater Bioretention Devices	Fassman <i>et al.</i> , (2013)	New Zealand	Mengetahui media yang efektif terhadap penghilangan logam berat	1) Jenis media (pasir hitam, <i>commercial mix</i> , pasir apung dan pasir pantai) 2) Logam seng dan tembaga	Bioretensi yang digunakan skala laboratorium dengan diameter 140 mm. Dengan sampel air sintesis yang konsentrasinya 2.5-12.4 mg/l untuk seng 0.5-2.48 mg/l untuk tembaga, dan 3.226-16 mg/l untuk fosfor. Volume yang di alirkan adalah 20 liter pada masing-masing kolom. Pengujian parameter dilakukan dengan American Public Health Association, Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater 20th ed	Penggunaan media pasir hitam paling efektif dalam menghilangkan tembaga dan seng
11	Pengaruh Komposisi Media Bioretensi terhadap Kecepatan Infiltrasi dan	Andini, (2015)	Depok	Menganalisis pengaruh komposisi media tanam terhadap kecepatan infiltrasi dan penghilangan polutan seng.	1) Komposisi media filter (pasir, tanah, dan kompos) 2) TSS, COD, Zn	Pembuatan bioretensi skala lapangan dengan ukuran p:l:t = 1 m: 1 m: 0.8 m. Dengan lapisan mulsa setinggi 5 cm diatas media, 50 cm ketinggian media, dan 10 cm gravel. Inlet dibuat saluran dengan gravel	Keberadaan material pasir sebagai media filter akan berbanding lurus dengan kecepatan infiltrasi dan penyisihan logam Zn

No.	Judul Penelitian	Penulis (Tahun)	Lokasi	Tujuan Penelitian	Variabel	Metode	Hasil dan Uraian
	Penyisihan Logam Zn Limpasan Air Hujan			Menganalisis komposisi media tanam bioretensi yang efektif dalam menginfiltrasi serta menyisihkan logam seng		sepanjang 2 m dari lahan parkir motor FTUI. Sampel berasal dari limpasan air hujan dengan intensitas 9.23-15.04 mm, dengan kejadian hujan sebanyak 3 kali. Sampel efluen diambil pada menit ke 5, 15, 25, 35, dan 45. Infiltrasi tanah diukur dengan infiltrometer <i>Turf Tec</i> , sedangkan COD diukur dengan standard methods for the examination of water and wastewater 21st ed., dan logam seng diukur dengan metode <i>inductive coupled plasma-spectrometri</i> emisi atom (ICP OES).	Dengan komposisi pasir sebesar 60% dapat menghasilkan kecepatan infiltrasi 60 cm/ jam, dan penghilangan polutan Zn 59%-92.5%
12	Bioretention for Stormwater Quality Improvement in Texas: Removal Effectiveness of <i>Escherichia coli</i>	Myung <i>et al.</i> , (2012)	Texas	Menentukan jenis tanaman yang paling efektif dalam penghilangan bakteri <i>Escherichia coli</i>	1) Jenis tanaman: semak, rumput <i>native</i> , rumput jalan raya, <i>bermudgras</i> s, dan tanpa	Bioretensi yang digunakan ada 5 dengan ukuran 1.8 m panjang x 1.8 lebar x 1.2 tinggi. Gravel berada pada 20 cm dari dasar, pea gravel 10 cm di atasnya, dan 61 cm media (campuran kompos dan tanah dengan rasio 3:7). Media yang digunakan memiliki laju infiltrasi 25 cm/ jam. Jenis tanaman yang	- Efisiensi terbesar terdapat pada variabel kontrol (tanpa tanaman) dengan efisiensi 97%. - Semak (88%)> Bermuda (76%)> rumput jalan raya

No.	Judul Penelitian	Penulis (Tahun)	Lokasi	Tujuan Penelitian	Variabel	Metode	Hasil dan Uraian
					tanaman (kontrol) 2) Escherichia coli	digunakan adalah semak rumput <i>native</i> , rumput jalan raya, <i>bermudgrass</i> , dan tanpa tanaman (sebagai kontrol). Sampel air yang digunakan merupakan air sintetis dengan konsentrasi E.coli 100-1000 CFU/100 ml. Debit aliran yang digunakan adalah 7 l/min pada menit ke 0-60, 39 l/min pada menit 60-120, dan 6 l/min pada menit 120-180. Pengujian konsentrasi E.coli dilakukan dengan The iCycler iQ™ 5 Multicolor Real-Time PCR Detection Sistem.	(57%)> rumput <i>native</i> (48%)
13	Removal Efficiencies of a Bioretention System for Trace Metals, PCBs, PAHs, and Dioxins in a Semiarid Environment	David <i>et al.</i> , (2014)	California	Memberikan data efisiensi polutan konvensional (<i>trace metal</i> dan PAHs) serta data awal penghilangan PCBs, dioksin, Hg dan MeHg pada iklim semi kering	1) Logam (Cu, Zn, Ni, Pb, Cd) 2) PCBs 3) PAH 4) MeHg, HgT, HgD 5) SSC (suspended sediment)	Bioretensi yang digunakan merupakan skala lapangan seluas 427 m ² . Dengan kedalaman gravel mulch 5 cm, media bioretensi 30-35 cm, dan 10-15 cm pea gravel. Media yang digunakan memiliki komposisi 84.2% pasir, 7.5% lanau, 8.2% lempung, dan 5.3% organik. Laju infiltrasi dari media tersebut adalah 198 mm/jam. Pengujian	Efisiensi penghilangan (pendekatan konsentrasi) SSC: 29%; MeHg: -152%; HgT: 18%; HgD: 50%; Cu: 83%; Zn: 93%; Ni: 20%; Pb: 51%; Cd: 84%; PCBs: 44%; PAHs:

No.	Judul Penelitian	Penulis (Tahun)	Lokasi	Tujuan Penelitian	Variabel	Metode	Hasil dan Uraian
					concentrati on) 6) OCDD (Octa-chlorinated dioxin)	parameter logam menggunakan Brooks Rand Laboratories BR-0060 dan USEPA Method 1638. Sedangkan PCBs menggunakan AXYS Analytical Method MLA-010 dan USEPA Method 1668. Konsentrasi PAH diukur dengan kromatografi (HRGC)/ low resolution mass spectrometry (LRMS) sesuai USEPA methods 1624 dan 8270. Sedangkan konsentrasi Hg diukur dengan Brooks Rand Laboratories BR-0006 dan USEPA Method 1631. Dan untuk SSC diuji dengan ASTM D3977.	90%; dan OCDD: 97% • Efisiensi penghilangan (pendekatan konsentrasi beban debit) SSC: 82%; MeHg: -87%; HgT: 78%; HgD: 55%; Cu: 94%; Zn: 97%; Ni: 74%; Pb: 86%; Cd: 96%; PCBs: 78%; PAHs: 97%; dan OCDD: 98% • Efisiensi penghilangan (pendekatan beban aliran) SSC: 84%; MeHg: -56%; HgT: 59%; HgD: 64%; Cu: 96%; Zn: 98%; Ni: 79%; Pb: 87%; Cd: 96%; PCBs: 82%; PAHs: 97%; dan OCDD: 97%

No.	Judul Penelitian	Penulis (Tahun)	Lokasi	Tujuan Penelitian	Variabel	Metode	Hasil dan Uraian
							Dari ketiga pendekatan menunjukkan hasil yang sama yaitu, keberhasilan penghilangan polutan
14	Evaluation of three vegetation treatments in bioretention gardens	Houdeschel <i>et al.</i> , (2015)	Salt Lake City, Utah	Mengukur penangkapan dari nitrogen dan fosfor dari limpasan air hujan di iklim semi kering dengan bioretensi.	1) Tanaman <i>upland</i> , <i>wetland</i> , dan tanpa tanaman (control) 2) TN, ON, NH ₄ , NO ₃ , PO ₄	Bioretensi yang digunakan ada 3 dengan ukuran 4.3 m panjang x 2.4 lebar x 1.2 tinggi. Gravel berada pada kedalaman 0.6-1.2 m dan 0.6 m tanah pada permukaan. Dengan komposisi tanah 63% pasir, 23% lanau, dan 14% lempung. Media yang digunakan memiliki laju infiltrasi 25 cm/ jam. Jenis tanaman yang digunakan adalah tanaman <i>upland</i> , <i>wetland</i> , dan tanpa tanaman (control). Sampel yang digunakan merupakan sintesis dengan konsentrasi TN 1.9 mg/l, ON 1.27 mg/l, ammonia 0.39 mg/l, nitrat 0.24 mg/l dan fosfat 0.24 mg/l. Pengolahan data menggunakan least square	- TN yang tertahan di bioretensi: 59% <i>wetland</i>, 22% <i>upland</i>, -77% kontrol. - ON yang tertahan di bioretensi: 60% <i>wetland</i>, 40% <i>upland</i>, 35% kontrol. - NH₄ yang tertahan di bioretensi: 86% <i>wetland</i>, 84% <i>upland</i>, 58% kontrol. - NO₃ yang tertahan di bioretensi: 40% <i>wetland</i>, -250% <i>upland</i>, -600% control

No.	Judul Penelitian	Penulis (Tahun)	Lokasi	Tujuan Penelitian	Variabel	Metode	Hasil dan Uraian
						method. Pengujian TN dilakukan dengan Hach TM persulfate digestion method 10208, NH ₄ dengan TNT TM 830 ULR, NO ₃ dan PO ₄ menggunakan Metrohm 881 compact IC.	• PO₄ yang tertahan di bioretensi: 40% <i>wetland</i>, 35% <i>upland</i>, 33% kontrol.
15	Removal of Heavy Metals from Urban Stormwater Runoff Using Different Filter Materials	Reddy <i>et al.</i> , (2014)	Chicago	Menentukan media filter yang paling efektif dalam penghilangan logam berat (Cd, Cu, Pb, Ni, Cr, dan Zn)	1) Media filter: zeolite, pasir, serbuk besi, dan kalsit 2) Parameter: Cd, Cu, Pb, Ni, Cr dan Zn	Sampel yang digunakan merupakan sintesis dengan konsentrasi Cd 15-300 mg/l, Cr 2.5-50 mg/l, Cu 2.5-50 mg/l, Pb 25-500 mg/l, Ni 50-1000 mg/l, dan Zn 25-500 mg/l. Dengan waktu detensi 24 jam. Pengujian konsentrasi logam menggunakan metode atomic absorption spectrophotometer (AAS), dan data yang didapatkan diolah dengan sigma plot software.	• Penghilangan Cd, Cu, Pb dan Zn dengan media kalsit, zeolite dan serbuk besi sebesar 95-100%. • 90% nikel dapat dihilangkan dengan zeolite • Cr dapat dihilangkan 100% dengan serbuk besi.

Sumber: Analisis Penulis (2017)

Dari tabel meta analisis (2.8) dapat membantu penulis menyusun penelitian untuk mencapai tujuan. Bioretensi memiliki kemampuan dalam menurunkan polutan terutama logam berat (Glass *et al.*, 2005; McIntyre *et al.*, 2015; Maniquiz *et al.*, 2014; David *et al.*, 2014). Selain itu bioretensi juga memiliki kemampuan dalam mengurangi volume limpasan air hujan (Aflakhi *et al.*, 2014). Salah satu faktor yang mempengaruhi bioretensi dalam menurunkan volume limpasan air hujan dan meningkatkan kualitas limpasan air hujan adalah tanaman (Mangangka *et al.*, 2015; Myung *et al.*, 2012; Houdeschel *et al.*, 2015). Faktor lainnya yang dapat mempengaruhi adalah pemilihan media filter (Wang *et al.*, 2016; Lim *et al.*, 2015; Takaijudin *et al.*, 2014; Fassman *et al.*, 2013; Reddy *et al.*, 2014).

Penelitian yang akan dilakukan berlokasi di Indonesia sehingga membutuhkan gambaran mengenai kualitas limpasan air hujan yang ada di Indonesia. Kualitas limpasan air hujan di Indonesia memiliki kandungan COD, TSS, logam berat kadmium, tembaga, dan seng yang melebihi baku mutu (Almaditya dan Zevi, 2012; Andini, 2015). Jenis media filter yang digunakan dalam penelitian merupakan media paling efektif dalam menurunkan konsentrasi logam berat dalam limpasan air hujan adalah basic hitam (Fassman *et al.*, 2013), dan pasir kuarsa (Wang *et al.*, 2016). Sedangkan untuk pemilihan tanaman yang akan digunakan adalah *Iris pseudacorus* yang memiliki kemampuan untuk menghilangkan logam kadmium dengan bioretensi (Wang *et al.*, 2016). Jenis tanaman *Iris pseudacorus* memiliki toleransi yang tinggi terhadap polutan dan pencemar (Snowden *et al.*, 1993). Komposisi media filter yang digunakan adalah 50% pasir, 20% tanah, dan 30% kompos (Takaijudin *et al.*, 2014). Dimensi bioretensi yang dibuat memiliki bentuk meninggi dan bentuk aliran *vertical sub-surface* (Takaijudin *et al.*, 2014).

BAB 3

METODE PENELITIAN

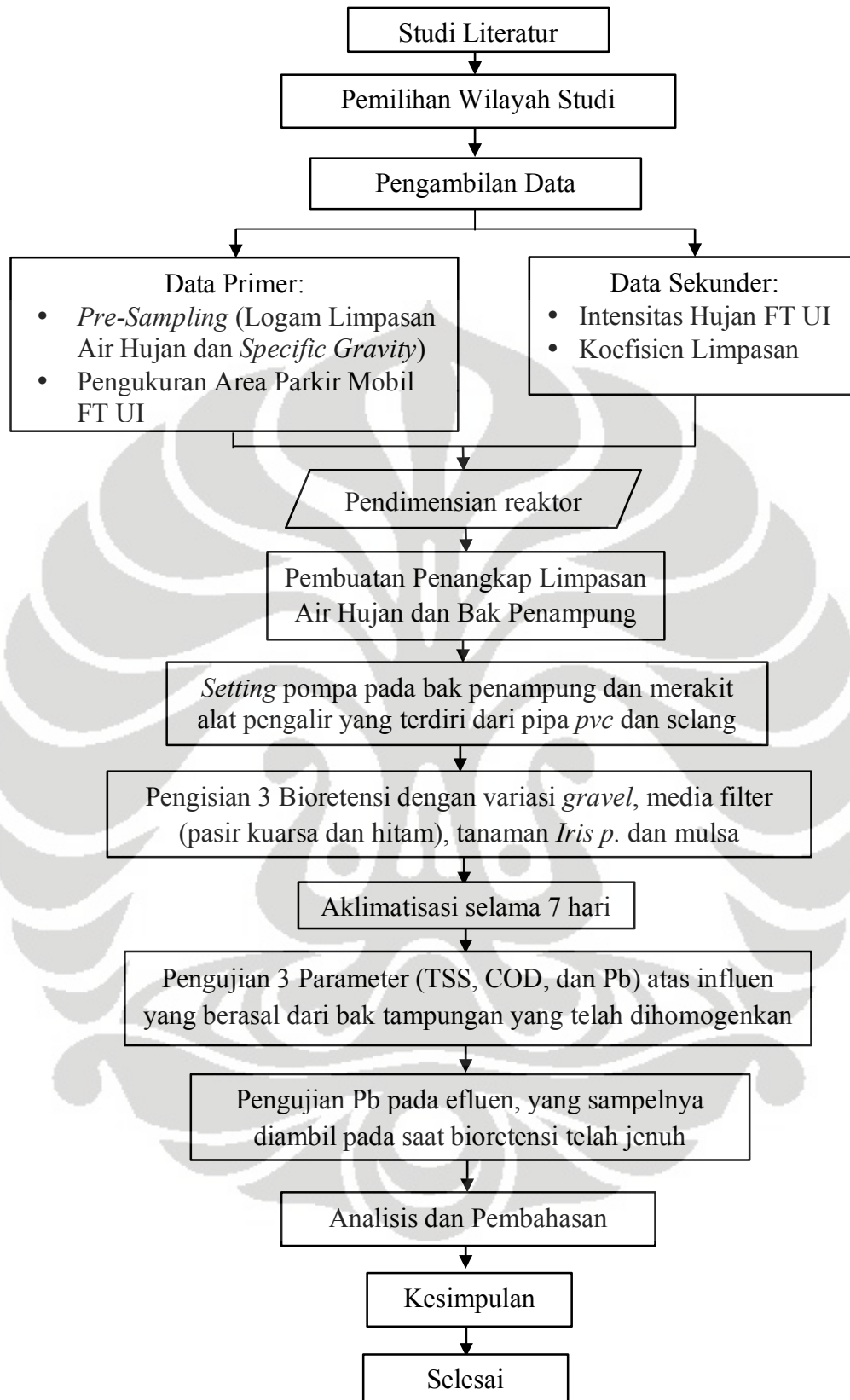
Penelitian yang dilakukan bertujuan untuk menganalisis jenis media filter bioretensi yang paling efektif, serta menganalisis besar pengaruh tanaman dan media filter bioretensi dalam penghilangan polutan timbal (Pb) pada limpasan air hujan dari lahan parkir mobil Fakultas Teknik UI yang berada di belakang gedung Laboratorium Departemen Teknik Sipil dengan bioretensi skala pilot yang merupakan teknologi *Low Impact Development*. Bab ini menjelaskan tahapan-tahapan yang dilakukan dalam penelitian, mulai dari pendekatan penelitian sampai analisis data yang didapatkan.

3.1 Pendekatan Penelitian

Pendekatan penelitian yang dilakukan menggunakan pendekatan kuantitatif. Penelitian ini ditinjau dan dianalisis berdasarkan hasil variabel-variabel yang disajikan dalam angka. Penelitian ini menggunakan metode eksperimen, yang mengamati pengaruh variabel (variabel bebas) terhadap variabel lain (variabel terikat) dengan perlakuan terkontrol.

3.2 Alur Penelitian

Gagasan penelitian ini berawal dari peningkatan pembangunan pengembangan kota untuk menyesuaikan kebutuhan penduduk akibat urbanisasi. Dengan peningkatan pembangunan tentunya meningkatkan lahan kedap air. Peningkatan limpasan air hujan dapat terjadi ketika lahan kedap air meningkat karena kurangnya resapan. Limpasan air hujan mengandung beberapa polutan sehingga berpotensi untuk mencemari badan air, tanah, dan air tanah. Oleh karena itu dibutuhkan pengelolaan limpasan air hujan, berikut merupakan alur penelitian pengelolaan limpasan air hujan.



Gambar 3.1 Alur Penelitian

Sumber: Analisis Penulis (2017)

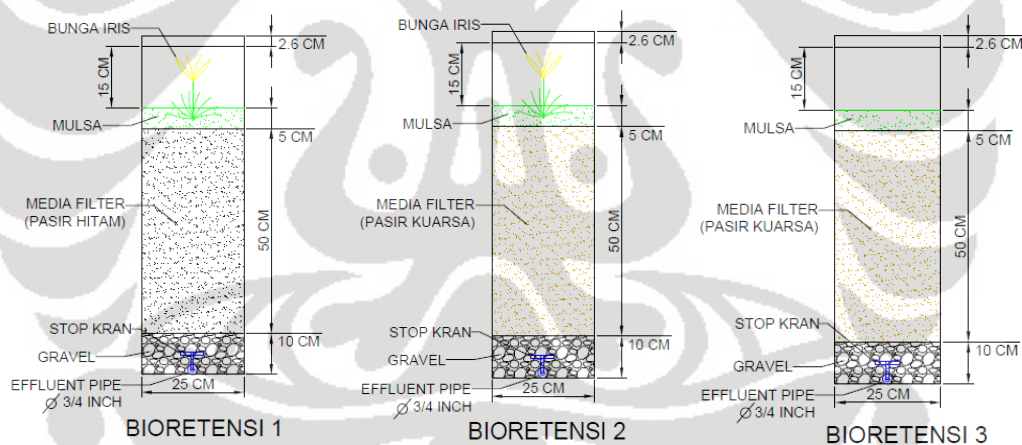
3.3 Variabel Penelitian

Pada penelitian ini terdapat dua jenis variabel, yaitu variabel bebas, variabel kontrol dan variabel terikat.

3.3.1 Variabel Bebas

Variabel bebas yang digunakan dalam penelitian ini adalah jenis media filter bioretensi, dan tanaman. Komposisi media filter yang digunakan adalah 30% kompos, 20% tanah, dan 50% pasir (Mayland, 2001; Davis *et al.*, 2008; Takaijudin *et al.*, 2014). Berikut variasi media filter dan tanaman yang digunakan dalam penelitian:

- Bioretensi I: 50% pasir hitam, 30% kompos, 20% tanah, dan tanaman *Iris pseudacorus*
- Bioretensi II: 50% pasir kuarsa, 30% kompos, 20% tanah, dan tanaman *Iris pseudacorus*
- Bioretensi III: 50% pasir kuarsa, 30% kompos, dan 20% tanah



Gambar 3.2 Variasi pada Bioretensi

Sumber: Analisis Penulis (2017)

3.3.2 Variabel Kontrol

Variabel kontrol merupakan variabel yang dikontrol agar kondisi ketiga bioretensi sama. Variabel kontrol dalam penelitian ini adalah dimensi bioretensi. Dimensi bioretensi disesuaikan dengan luas lahan tangkapan hujan dan intensitas curah hujan rata-rata.

3.3.3 Variabel Terikat

Variabel terikat pada penelitian ini adalah efisiensi penghilangan logam timbal (Pb) yang terkandung dalam limpasan air hujan lahan parkir mobil Fakultas Teknik UI. Parameter lain yang dapat mendukung analisis keberadaan logam berat Pb dalam limpasan air hujan adalah TSS dan COD.

3.4 Pemilihan Wilayah Studi Kasus

Latar belakang pemilihan wilayah studi kasus penelitian, yang dilakukan di lahan parkir mobil Fakultas Teknik UI adalah:

- a. Pada lahan parkir mobil Fakultas Teknik UI yang berlokasi dibelakang Laboratorium Departemen Teknik Sipil memiliki sumber polutan bagi limpasan air hujan. Berikut sumber polutan yang ada di lahan parkir mobil Fakultas Teknik UI:
 - Material struktur penutup permukaan lahan parkir
 - Emisi dan kebocoran mesin kendaraan
 - Penyimpanan atmosfer
- b. Lahan parkir mobil Fakultas Teknik UI yang berlokasi dibelakang Laboratorium Departemen Teknik Sipil memiliki luas 1762 m² (Gambar 3.2).
- c. Dapat memberikan usulan dalam pengelolaan limpasan air hujan untuk lahan parkir mobil Fakultas Teknik UI.



Gambar 3.3 Wilayah Studi Lahan Parkir Mobil FTUI

Sumber: Google earth (2017)

3.5 Pre-Sampling

Pre-Sampling yang dilakukan untuk mengumpulkan data primer dan sekunder. Data primer yang diambil merupakan kualitas limpasan air hujan dan permeabilitas tanah dari lokasi studi kasus. Sedangkan data sekunder yang dikumpulkan merupakan data intensitas hujan di lokasi studi yang didapatkan dari stasiun curah hujan Fakultas Teknik UI.

Pengukuran kualitas limpasan air hujan yang dilakukan adalah kandungan logam berat. Pengukuran logam berat dilakukan dengan metode *Atomic Absorption Spectrophotometry* (AAS) sesuai dengan SNI 06-6989.4 yang dilakukan di tiga kali. Pada pengujian pertama dilakukan di Laboratorium Atrifisial Kimia Fakultas MIPA UI, yang menghasilkan limpasan air hujan dari area parkir mobil FTUI mengandung logam besi (Fe) sebesar 0.69 ppm, magnesium (Mg) sebesar 0.42 ppm, dan timbal (Pb) sebesar 0.03 ppm. Pada pengujian pertama konsentrasi timbal (Pb) tepat pada batas baku mutu air permukaan PP No. 82 Tahun 2001. Oleh karena itu, dilakukan pengujian kedua di Laboratorium Pengujian Balai Teknologi Pengolahan Air dan Limbah, Badan Pengkajian dan Penerapan Teknologi di Serpong, menghasilkan limpasan air hujan dari area lahan parkir mobil FTUI mengandung timbal sebesar 0.05 ppm. Pada pengujian ketiga yang dilakukan di Laboratorium Analisis dan Kalibrasi Balai Besar Industri Agro Bogormenghasilkan konsentrasi timbal (Pb) sebesar <0.004 mg/l. Dari hasil tersebut didapatkan variasi konsentrasi timbal (Pb) pada limpasan hujan, dan terdapat konsentrasi yang melebihi baku mutu air permukaan pada PP No. 82 Tahun 2001.

Pengujian *specific gravity* tanah dan media yang digunakan dilakukan dengan metode *Specific Gravity of Soil Solids by Water Pycnometer* sesuai standar ASTM D 854 atau SNI 1964:2008. Pengujian *specific gravity* dilakukan di laboratorium mekanika tanah. Hasil pengujian *specific gravity* digunakan sebagai acuan dalam menentukan komposisi media bioretensi, karena komposisi yang digunakan merupakan komposisi volume.

3.6 Bioretensi

3.6.1 Dimensi Bioretensi

Bioretensi yang dibuat terdiri dari tanaman, tanah, media filter, dan gravel. Bioretensi mengelola limpasan air hujan yang diperoleh dari lahan parkir mobil Fakultas Teknik UI. Bioretensi yang dibuat merupakan bioretensi skala pilot yang memiliki jenis aliran *vertical sub-surface*, dengan ukuran sebagai berikut.

- Pra-pengolahan
 - Menggunakan lapisan mulsa setinggi 5 cm (sesuai dengan kriteria menurut Davis *et al.*, 2008).
 - Saluran inlet menggunakan bidang miring dengan lebar 25 cm (sesuai hasil perhitungan dimensi pengolahan) dan panjang 10 cm. Kemiringan dibuat 15^0 dari sumbu x. Debit yang dialirkan sesuai dengan perhitungan intensitas curah hujan yang terjadi di FTUI. Kecepatan aliran maksimum pada inlet 1 m/s, jika dilakukan dengan desain 10 cm x 25 cm maka debit maksimum yang dapat terjadi adalah.

$$\cos 15^0 = \frac{v \text{ horizontal}}{v \text{ miring}} \quad (3.1)$$

$$v \text{ horizontal} = v \text{ miring} \times \cos 15^0$$

$$v \text{ horizontal} = 1 \frac{m}{s} \times \cos 15^0 = 0.966 \frac{m}{s}$$

$$v \text{ horizontal} = \frac{Q}{A} \quad (3.2)$$

$$Q = v \text{ horizontal} \times A$$

$$Q = 0.966 \frac{m}{s} \times 0.025 m^2 = 0.0241 \frac{m^3}{s}$$

$$Q < 0.0241 \frac{m^3}{s}$$

- Pengolahan
 - Kapasitas tampungan parkir mobil FTUI.
Lahan parkir yang ditinjau pada penelitian ini merupakan lahan parkir mobil FTUI yang berada di belakang gedung laboratorium Departemen Teknik Sipil. Lahan parkir tersebut berbentuk memanjang di Jalan Prof.

Dr. Ir R Roosseno hingga Jalan Lingkar Universitas Indonesia. Sepanjang lahan parkir mobil tersebut terdapat perbedaan ketinggian. Pada saat mengamati arah aliran limpasan air hujan yang terjadi di lahan parkir, arah alirannya terbagi menjadi dua. Arah pertama adalah menuju Jalan Lingkar Universitas Indonesia dan yang kedua menuju belakang Laboratorium Departemen Teknik Sipil. Lahan parkir yang ditinjau pada penelitian ini adalah lahan parkir yang arah alirannya menuju Laboratorium Departemen Teknik Sipil, dengan kapasitas 27 parkir tegak lurus, dan 39 parkir paralel.

➤ Luas area tangkapan hujan

Data luas area parkir mobil Fakultas Teknik UI merupakan data primer yang diperoleh dari perhitungan langsung penulis dengan menggunakan meteran. Luas area parkir mobil Fakultas Teknik UI = 1762 m^2 dengan 2 jenis penutup permukaan, yaitu konblok dan aspal. Luas area parkir mobil Fakultas Teknik UI dengan penutup permukaan konblok sebesar 582 m^2 dan 1180 m^2 yang permukannya aspal.

➤ Intensitas hujan

Data intensitas hujan merupakan data sekunder yang diperoleh dari stasiun curah hujan FTUI dari tahun 2003-2016, yang disajikan dalam Tabel 3.1.

Tabel 3.1 Intensitas Hujan Fakultas Teknik UI

	Januari	Februari	Maret	April	Mei	Juni	Juli	Agustus	September	Oktober	November	Desember
2003	5.5	14.5	10.7	5.5	5.5	0.6	0.2	0.7	1.1	5.5	14.4	9.5
2004	11	13.8	6	14.3	7.5	2.2	4	0.4	0.8	4.2	13.2	10.5
2005	14.6	12.4	13.8	3.9	4.6	11.8	6.2	11.3	2.7	7.3	8.3	15.9
2006	10.9	9.9	8.1	9.4	5.8	2.7	1.3	0.7	0.3	1.7	4.6	11.5
2007	2	29.4	6.5	0	0.7	0.3	0.5	2.8	2.7	7.3	8.3	15.9
2008	6.5	16.7	8.3	8.9	6	3	0.6	3.5	4.8	6.2	17	11
2009	8.5	11	17.2	9.8	13.4	6.5	5.6	0.9	3.4	13.4	10.6	7.3
2010	0.9	16.2	13.4	2.9	9.1	5.4	5.1	11.6	19.3	21.7	9.5	1.5
2011	6.3	9.5	10.2	7.7	8.5	2.9	6.1	1.3	5	10.1	7.1	10.3
2012	9.2	11.5	6.8	7	9.1	5.4	5.2	0.3	1.3	4.5	17.7	15
2013	13	14.1	5.1	12.5	11.3	2.9	9.6	5.6	4.9	6.4	6.9	12.8
2014	33.62	24.28	24.59	19.90	32.50	58.05	26.90	19.84	7.27	24.13	28.43	23.04
2015	15.81	22.13	26.36	15.46	16.50	17.53	0.00	2.65	0.00	0.60	21.81	14.56
2016	18.53	34.46	16.54	26.66	11.28	26.05	29.67	20.96	18.93	N/A	N/A	N/A

Sumber: Stasiun Curah Hujan FTUI (2016)

Dari data intensitas air hujan di Fakultas Teknik UI dari tahun 2003 sampai 2016 memiliki intensitas hujan rata-rata harian sebesar 10.28 mm

➤ Koefisien limpasan

Koefisien limpasan konblok = 0.8 (Larry A. Roesner *et al.*, 1992)

Koefisien limpasan aspal = 0.9 (Larry A. Roesner *et al.*, 1992)

➤ Perhitungan volume kualitas air (WQv)

a. Volume kualitas air (WQv) konblok

$$WQv = I \times C_k \times A_k \quad (2.1)$$

Keterangan:

WQv : volume limpasan air hujan (m³)

C = 0.8

A = 582 m²

I = 10.28 x 10⁻³ m (intensitas hujan rata-rata FTUI dari tahun 2003-2016)

$$WQv = 10.28 \times 10^{-3} \text{ m} \times 0.8 \times 582 \text{ m}^2 = 4.787 \text{ m}^3$$

b. Volume kualitas air (WQv) aspal

$$WQv = I \times C_a \times A_a \quad (2.1)$$

Keterangan:

WQv : volume limpasan air hujan (m³)

C = 0.9

A = 1180 m²

I = 10.28 x 10⁻³ m

$$WQv = 10.28 \times 10^{-3} \text{ m} \times 0.9 \times 1180 \text{ m}^2 = 5.459 \text{ m}^3$$

Jadi volume total limpasan air hujan yang akan dikelola adalah

$$4.787 \text{ m}^3 + 5.459 \text{ m}^3 = 10.247 \text{ m}^3$$

➤ Perhitungan luas permukaan bioretensi

$$Af = \frac{WQv \times df}{[k \times (hf + df) \times tf]} \quad (2.2)$$

Keterangan:

Af : luas permukaan kolam bioretensi (m²)

WQv = 10.247 m³

$df = 1 \text{ m}$
 $k = 0.63 \text{ m/ hari}$
 $hf = 0.15 \text{ m (Kim et al., 2014).}$
 $tf = 2 \text{ hari berdasarkan literatur}$

$$Af = \frac{10.247 \text{ m}^3 \times 1 \text{ m}}{\left[0.634 \frac{\text{m}}{\text{hari}} \times (0.15 \text{ m} + 1 \text{ m}) \times 2 \text{ hari} \right]}$$

$$Af = 7.07 \text{ m}^2$$

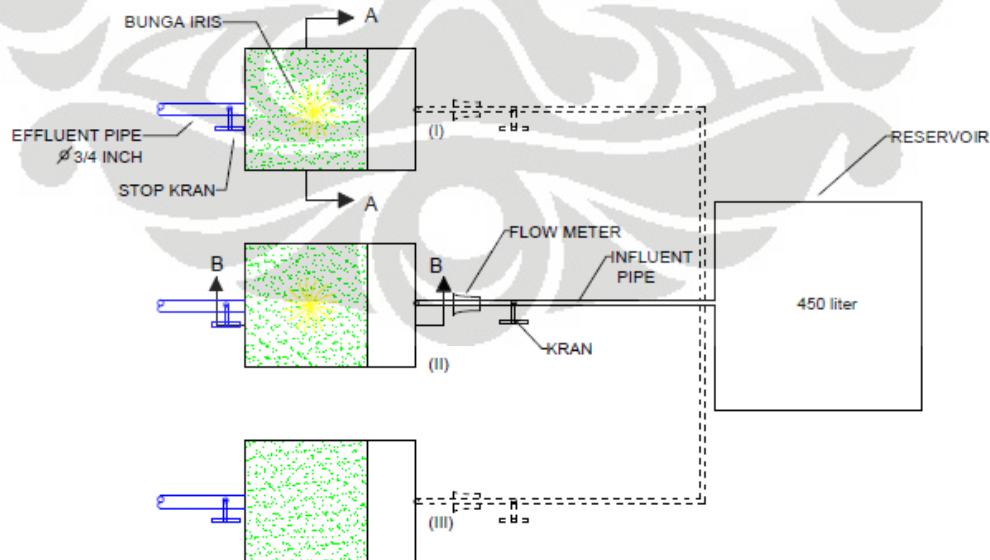
Penelitian dilakukan dengan menggunakan tiga bioretensi dan skala pilot, sehingga luasan dari masing-masing bioretensi adalah

$$Af' = \frac{7.07 \text{ m}^2}{3} = 2.357 \text{ m}^2 \quad (3.3)$$

Dilakukan *scale down* dari luasan bioretensi yang sebenarnya sebesar 10%. Sehingga luas yang digunakan pada masing-masing bioretensi adalah 0.236 m^2 . Dengan asumsi pembuatan bioretensi berbentuk persegi sehingga didapatkan panjang sisi sebesar.

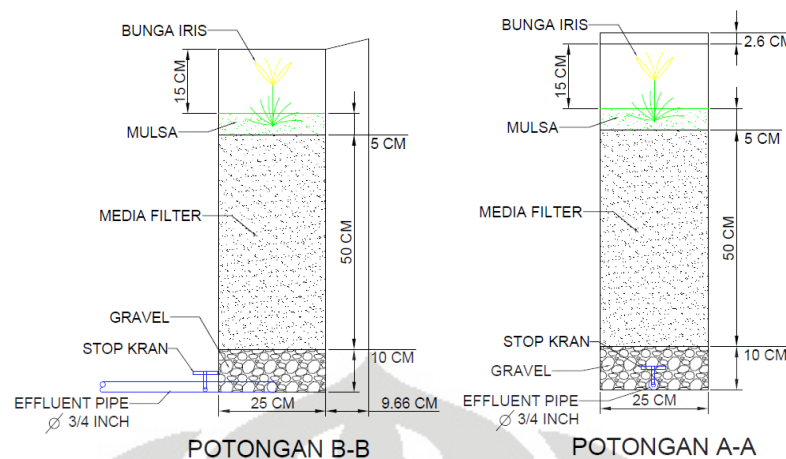
$$S = \sqrt{0.236 \text{ m}^2} = 0.486 \text{ m} \sim 0.5 \text{ m} \quad (3.4)$$

Dimensi bioretensi seharusnya adalah $0.5 \text{ m} \times 0.5 \text{ m} \times 1 \text{ m}$, namun bioretensi yang dibuat adalah skala pilot maka dimensi yang digunakan sebesar $0.25 \text{ m} \times 0.25 \text{ m} \times 0.5 \text{ m}$ (panjang x lebar x tinggi).



Gambar 3.4 Skema Pengaliran

Sumber: Analisis Penulis (2017)



Gambar 3.5 Potongan Bioretensi

Sumber: Analisis Penulis (2017)

3.6.2 Komposisi Media

Komposisi media yang digunakan pada penelitian ini adalah 50% pasir, 20% kompos, dan 30% tanah (Mayland, 2001; Davis *et al.*, 2008; Takaijudin *et al.*, 2014). Media pasir pada penelitian ini dijadikan variabel bebas untuk bioretensi I dan bioretensi II. Dengan menggunakan 2 jenis pasir berbeda. Jenis pasir yang digunakan berdasarkan penelitian yang telah dilakukan sebelumnya. Berdasarkan penelitian sebelumnya pasir kuarsa memiliki efisiensi penghilangan logam paling besar (Wang *et al.*, 2016). Pada penelitian lain menyatakan pasir hitam memiliki efisiensi terbesar pada penghilangan timbal (Pb) (Fassman *et al.*, 2013). Pasir kuarsa dijadikan media filter untuk bioretensi II dan III. Sedangkan pasir hitam hanya dijadikan media filter pada bioretensi I. Tanah yang digunakan pada penelitian ini merupakan tanah yang berada di Fakultas Teknik Universitas Indonesia, yang diambil di sekitar parkir mobil dekat Laboratorium Departemen Teknik Sipil.

3.6.3 Jenis Tanaman

Penelitian ini menggunakan tanaman bunga *Iris pseudacorus* atau iris kuning. *Iris pseudacorus* umum digunakan sebagai tanaman pengolahan air karena kemampuannya untuk mengabsorpsi logam berat. Tanaman pada penelitian ini juga digunakan sebagai variabel bebas untuk bioretensi II dan bioretensi III. Hal ini dilakukan untuk mencapai tujuan yaitu, menganalisis pengaruh adanya tanaman pada bioretensi dalam penghilangan konsentrasi timbal (Pb). Satu buah tanaman *Iris pseudacorus* digunakan pada masing-masing bioretensi skala pilot. Sesuai

dengan kriteria desain, jumlah tanaman yang dibutuhkan adalah 6-8 tanaman rumput dan tumbuhan lain untuk 1 m² bioretensi (Minnesota Stormwater Manual, 2014). Luas permukaan bioretensi skala pilot yang dibuat adalah 0.0625 m². Tanaman *Iris pseudacorus* menjadi variabel bebas antara bioretensi II dan III. Sehingga yang ditanami oleh *Iris pseudacorus* hanya bioretensi I dan II. Tanaman *Iris pseudacorus* yang digunakan sampai akhir penelitian memiliki umur 1.5 bulan. Pada penelitian ini dilakukan aklimatisasi terlebih dahulu selama 7 hari. Dengan komposisi air bersih dan limpasan air hujan berikut.

Tabel 3.2 Komposisi Aklimatisasi Tanaman Iris

Hari Ke-	Air Bersih	Limpasan Air Hujan
1	100%	0%
2	80%	20%
3	50%	50%
4	20%	80%
5-7	0%	100%

Sumber: Analisis Penulis (2017)

Dari tabel diatas dapat dilihat bahwa proses aklimatisasi dimulai dengan menggunakan air bersih 100% hal ini dilakukan karena tanaman *Iris pseudacorus* yang digunakan terbiasa dengan kondisi lingkungan tersebut. Selanjutnya untuk hari kedua air yang digunakan sudah mulai dicampur dengan limpasan air hujan yang telah ditampung terlebih dahulu sebanyak 20%. Pada hari ketiga campuran air yang digunakan menjadi 50% air bersih dan 50% limpasan air hujan. Sedangkan pada hari keempat persentase limpasan air hujan yang digunakan meningkat menjadi 80%, dan di hari kelima sudah menggunakan limpasan air hujan 100%. Proses aklimatisasi tidak berhenti sampai hari kelima, karena belum ada tanda-tanda kestabilan tanaman. Di hari ketujuh proses aklimatisasi dihentikan karena sudah mulai muncul daun baru pada tanaman *Iris pseudacorus*.

3.7 Metode Pengukuran

Pada penelitian ini terdapat beberapa parameter yang diukur dari sampel, yaitu *Total Suspended Solid* (TSS), timbal (Pb), dan *Chemical Oxygen Demand* (COD). Pengukuran parameter dilakukan pada saat sebelum dan setelah melalui bioretensi. Limpasan air hujan dari lahan parkir mobil Fakultas Teknik UI

ditampung terlebih dahulu, dan kemudian dialirkan kedalam bioretensi dengan menggunakan keran yang debitnya diatur sesuai dengan intensitas curah hujan yang terjadi. Berikut penjelasan mengenai metode pengukuran parameter-parameter tersebut.

3.7.1 Pengambilan Sampel

Metode pengambilan sampel yang dilakukan pada penelitian ini adalah metode *grab*. Pengambilan sampel dilakukan di 1 waktu dalam 1 kejadian hujan. Hal ini dilakukan dengan mempertimbangkan keterbatasan biaya, waktu, ketersediaan tenaga kerja dan tujuan dari penelitian. Pengambilan sampel dilakukan pada saat bioretensi telah jenuh dengan limpasan air hujan, kemudian kran pada bagian outlet dibuka.

Pada saat menentukan jumlah kejadian hujan harus mempertimbangkan hasil yang diperoleh. Hasil yang diinginkan merupakan hasil yang representatif, sehingga tingkat kepercayaan yang diambil harus mendekati 100%. Pada penelitian ini tingkat kepercayaan yang ingin dicapai adalah 95%. Dalam mencapai tingkat kepercayaan 95% dapat diperoleh melalui 3-100 kejadian hujan. Tentunya dengan jumlah kejadian hujan yang lebih sedikit akan memberikan standar deviasi yang besar.

3.7.2 Total Suspended Solid (TSS)

Parameter TSS merupakan parameter pendukung, karena jumlah padatan tersuspensi pada limpasan air hujan menunjukkan banyaknya logam berat (Göbel *et al.*, 2007). Sebagian besar logam berat pada limpasan air hujan menempel pada padatan tersuspensi (Fassman *et al.*, 2013). Pengukuran TSS dilakukan pada influen limpasan air hujan yang masuk kedalam bioretensi sebagai indikator keberadaan timbal. Pengukuran TSS dilakukan secara gravimetrik dengan menggunakan kertas saring. Parameter TSS diuji pada laboratorium pengujian Balai Teknologi Pengolahan Air dan Limbah, Badan Pengkajian dan Penerapan Teknologi (BPPT). Berdasarkan SNI 06-6989.3 tahun 2004 perhitungan TSS yang digunakan adalah.

$$\text{mg TSS per liter} = \frac{(A-B) \times 1000}{\text{Volume sampel uji (ml)}} \quad (3.5)$$

Keterangan: A: berat kertas saring dan residu kering (mg)

B: berat kertas saring (mg)

3.7.3 Timbal (Pb)

Pada penelitian ini parameter timbal (Pb) diukur pada influen dan efluen bioretensi. Hal ini dilakukan untuk mengetahui efisiensi penghilangan logam timbal. Timbal (Pb) diuji menggunakan metode Spektrofotometri Serapan Atom (SSA) sesuai dengan standar SNI 06-6989.8-2004. Dalam pengujian timbal harus dilakukan destruksi terlebih dahulu untuk menghilangkan zat organik dan zat-zat lain yang dapat mengganggu pembacaan alat. Destruksi dilakukan dengan menambahkan larutan asam nitrat. Setelah dilakukan destruksi maka sampel dibaca dengan alat SSA dengan bantuan gas etilen (C_2H_2). Parameter ini diuji di laboratorium pengujian Balai Teknologi Pengolahan Air dan Limbah, Badan Pengkajian dan Penerapan Teknologi (BPPT). Jumlah sampel yang dibutuhkan dalam pengujian Pb kurang lebih 100 ml.

Parameter ini juga diujikan pada tanaman yang digunakan, untuk mengetahui kemampuan tanaman *Iris pseudacorus* dalam menghilangkan logam timbal (Pb). Bagian dari tanaman yang diujikan adalah akar dan daunnya. Masing-masing sampel paling sedikit dibutuhkan 100 gram. Pengujian tanaman dilakukan di laboratorium terpadu IPB dengan menggunakan metode Spektrofotometri Serapan Atom (SSA) sama dengan metode pengukuran Pb pada limpasan air hujan.

3.7.4 Chemical Oxygen Demand (COD)

Nilai COD menunjukkan keberadaan bahan kimia di air yang kemudian teroksidasi (Gwaski *et al.*, 2013). COD merupakan parameter pendukung, karena keberadaan mengindikasikan keberadaan logam berat. Pengukuran COD hanya dilakukan pada sampel yang diambil dari influen bioretensi. Konsentrasi COD digunakan sebagai indikator keberadaan timbal dalam limpasan air hujan. COD diukur dengan metode refluks tertutup, dan pembacaan menggunakan spektrofotometri dengan panjang gelombang 600 nm. Metode yang digunakan sesuai dengan SNI 06-6989.2-2009. Parameter ini diuji di laboratorium pengujian Balai Teknologi Pengolahan Air dan Limbah,

Badan Pengkajian dan Penerapan Teknologi (BPPT). Berikut merupakan perhitungan konsentrasi COD.

$$\text{COD (mg } O_2/\text{ml)} = C \times f \quad (3.6)$$

Keterangan: C : Nilai COD* sampel (mg/l)

F : Faktor pengenceran

* Nilai COD adalah hasil pembacaan kadar sampel uji dari kurva kalibrasi

3.8 Analisis Data

Setelah mendapatkan data dari 3 parameter yang diuji, maka dilakukan analisis. Parameter TSS dan COD yang hanya diuji pada influen sebagai pendukung keberadaan timbal dalam limpasan air hujan. Hasil dari pengujian TSS dan COD dianalisis hubungannya terhadap konsentrasi timbal yang ada di limpasan air hujan dari area parkir mobil FTUI. Sedangkan timbal merupakan parameter utama pada penelitian ini, pengujian konsentrasi timbal dilakukan pada influen dan efluen bioretensi untuk mengetahui efisiensi penghilangannya. Efisiensi penghilangan timbal dari limpasan air hujan dihitung dengan menggunakan persamaan berikut.

$$\text{Efisiensi removal total Pb (\%)} = \frac{(A-B)}{A} \times 100\% \quad (3.7)$$

Keterangan: A: konsentrasi total Pb pada influen (mg/l)

B: konsentrasi total Pb pada efluen (mg/l)

Dengan persentase efisiensi penghilangan timbal dari masing-masing bioretensi dapat dilakukan analisis perbandingan variasi media yang paling efektif dalam menghilangkan konsentrasi timbal. Analisis yang dilakukan dibantu dengan pengolahan data menggunakan statistik seperti independen t tes untuk membandingkan bioretensi I dan II, uji t berpasangan untuk bioretensi II dan III, serta uji korelasi untuk mengetahui hubungan antara keberadaan logam pada limpasan air hujan dengan jumlah kendaraan yang parkir, COD, dan TSS. Pengujian statistik dilakukan karena statisik yang merupakan probabilitas memiliki kesimpulan statistik berupa evaluasi terhadap probabilitas suatu kejadian (Kim, 2015). Berikut ini merupakan penjelasan uji statistik yang digunakan.

3.8.1 Uji T Independen

Independen t tes merupakan uji t yang digunakan untuk menguji apakah ada perbedaan antara dua sampel rata-rata yang independen (Kim, 2015). Independen diartikan sebagai kelompok data yang tidak memiliki ikatan atau hubungan. Pada bioretensi I dan II memiliki variabel bebas variasi pasir yang digunakan. Jenis pasir yang digunakan tidak memiliki hubungan dan data hasil penelitian < 30 , sehingga digunakan uji t independen. Uji t independen dilakukan dengan bantuan *software* IBM SPSS Statistics yang sebelumnya telah dicek terlebih dahulu apakah data yang didapatkan sudah terdistribusi normal dan homogen. Pengecekan data terdistribusi normal dilakukan dengan uji normalitas *Saphiro Wilk*. Dari hasil pengujian menghasilkan tabel yang kemudian diinterpretasikan berdasarkan nilai signifikansi (p) yang diperoleh. Nilai signifikansi tersebut dibandingkan dengan tingkat kepercayaan (α) yang ditetapkan. Pada pengujian ini tingkat kepercayaan yang dipilih adalah 95%. Uji homogenitas dilakukan untuk mengetahui apakah sampel dua atau lebih variabel berasal dari populasi varian yang sama (Vorapongsathorn *et al.*, 2004). Pada *software* IBM SPSS Statistics pada saat melakukan proses uji t independen akan langsung otomatis melakukan pengujian homogen *Levene*. Hasil uji homogenitas akan muncul pada kolom pertama tabel hasil uji t independen. Dalam menginterpretasikan hasil uji homogen *Levene* yang diperhatikan adalah nilai F, kemudian dibandingkan dengan tingkat kepercayaan (α) sebesar (0.05).

3.8.2 Uji T Berpasangan

Uji t berpasangan merupakan uji t yang digunakan untuk mengevaluasi apakah ada perbedaan dari dua populasi nilai rata-rata dimana dua sampel yang diamati dapat dipasangkan satu sama lain, seperti satu sampel yang diperlakukan A dan sampel lainnya tidak (Bland and Altman, 1986). Pada kedua sampel yang dibandingkan memiliki hubungan, karena sebenarnya kedua sampel tersebut sama hanya saja dibedakan dengan suatu perilaku. Uji t berpasangan dilakukan pada analisis bioretensi II dan III, karena pada dasarnya kedua bioretensi tersebut sama hanya pada bioretensi II ditanami tanaman *Iris pseudacorus* sedangkan bioretensi III tidak. Jadi secara teori pada bioretensi II terjadi proses penyerapan polutan oleh tanaman sedangkan bioretensi III tidak. Selain itu jumlah data yang diperoleh dari

penelitian < 30 maka uji yang digunakan adalah uji t. Analisis pengujian t berpasangan dilakukan dengan bantuan *software* IBM SPSS Statistics. Data yang digunakan untuk uji t berpasangan harus data yang terdistribusi normal. Hasil kesimpulan yang diperoleh berupa tabel dengan penarikan kesimpulan berdasarkan nilai signifikansi (p) yang didapatkan. Selanjutnya angka signifikansi dibandingkan dengan tingkat kepercayaan (α) yang ditetapkan pada *software*. Pengujian t berpasangan memiliki tingkat kepercayaan sebesar 95%.

3.8.3 Uji Korelasi *Pearson*

Salah satu cara untuk mengetahui korelasi atau hubungan dari dua atau lebih variabel adalah dengan mengetahui koefisien *Pearson* (r) (Jan Hauke and Tomasz Kossowski, 2011). Beberapa syarat untuk melakukan uji korelasi *Pearson* adalah data terdistribusi normal, dan variabel yang dihubungkan memiliki data yang dipilih secara acak (Wijayanto, 2008). Dari pengujian korelasi menghasilkan tabel dengan nilai signifikansi dan koefisien *Pearson* (r). Nilai signifikansi yang dihasilkan sama seperti uji t, dibandingkan dengan tingkat kepercayaan sebesar 95% untuk mengetahui signifikansi antar variabel. Sedangkan koefisien *Pearson* menentukan kuat atau tidaknya hubungan antar variabel, dengan nilai $-1 \leq r \leq 1$ (Budiawati *et al.*, 2010). Jika nilai r negatif maka korelasi yang terjadi merupakan hubungan yang berlawanan, sedangkan untuk nilai r positif maka korelasi yang terjadi adalah hubungan searah. Berikut merupakan tabel interpretasi dari koefisien korelasi.

Tabel 3.3 Interpretasi Koefisien Korelasi

Nilai r	Interpretasi
0.9 sampai 1	Sangat tinggi
0.7 sampai 0.9	Tinggi
0.5 sampai 0.7	Sedang
0.3 sampai 0.5	Rendah
0 sampai 0.3	Tidak ada korelasi

Sumber: (Mukaka, 2012)

3.9 Rencana Kegiatan Penelitian

Rencana kegiatan penelitian yang akan dilakukan terdapat pada tabel berikut.

Tabel 3.4 Rencana Kegiatan Penelitian

No.	Kegiatan Penelitian	2016												2017																			
		Oktober				November				Desember				Januari				Februari				Maret				April				Mei			
		2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4	
1	Pengesahan Topik																																
2	Penetapan Dosen Pembimbing																																
3	Studi Literatur																																
4	Diskusi dengan Pembimbing																																
5	Survey Lokasi Penelitian																																
6	Pengumpulan Data Sekunder																																
7	Pre-Sampling																																
8	Penyusunan Seminar																																
9	Sidang Seminar																																
10	Persiapan Alat dan Bahan																																
11	Persiakitan Penampung dan Reaktor																																
12	Pengambilan Sampel Air Hujan																																
13	Pengukuran Sampel																																
14	Analisis Data																																
15	Penyusunan Skripsi																																
16	Sidang Skripsi																																

Sumber: Analisis Penulis (2017)

Keterangan:

■ : Tanggal Kegiatan

■ : UAS

■ : Libur Natal dan Tahun Baru



BAB 4

HASIL PEMBAHASAN

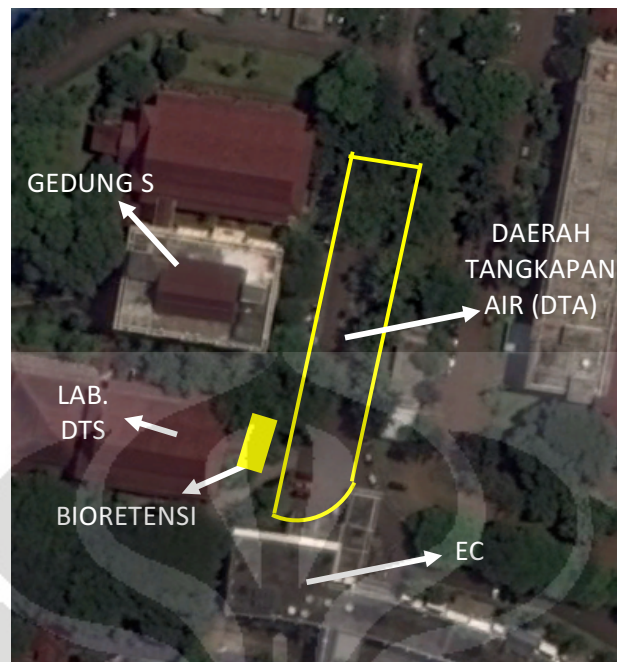
4.1 Gambaran Umum Fakultas Teknik Universitas Indonesia

Fakultas Teknik Universitas Indonesia memiliki 4 gedung perkuliahan, 7 gedung departemen, gedung dekanat, gedung Pusat Administrasi Fakultas, kantin, 3 lapangan olahraga, 1 lahan parkir motor, dan 2 lahan parkir mobil (bagian belakang dekat kantin dan bagian depan dekat gedung S dan *Engineering Center*). Pada penelitian kali ini yang difokuskan adalah lahan parkir dekat gedung *Engineering Center*, karena merupakan daerah tangkapan air hujan yang ditinjau. Lahan parkir tersebut memiliki luas 1762 m², dengan penutup permukaan aspal seluas 1180 m² dan penutup permukaan konblok 582 m². Dengan adanya penutup permukaan dapat menimbulkan limpasan air hujan sebesar 90% untuk aspal dan 80% untuk konblok. Lahan parkir dekat gedung *Engineering Center* arah alirannya menuju Laboratorium Departemen Teknik Sipil, dengan kapasitas 27 parkir tegak lurus, dan 39 parkir paralel. Fakultas Teknik Universitas Indonesia terletak di Kota Depok yang memiliki 2 musim, yaitu musim kemarau pada bulan April-September dan musim hujan dibulan Oktober-Maret. Pemerintah Kota Depok menyatakan bahwa karakteristik klimatologi Kota Depok sebagai berikut.

- Temperatur : 24.3⁰-33⁰C
- Kelembaban rata-rata : 82%
- Kecepatan angin rata-rata : 14.5 knot
- Jumlah curah hujan : 3.332 m/tahun
- Jumlah hari hujan : 222 hari/ tahun

4.2 Pembuatan Bioretensi

Bioretensi yang dibuat merupakan bioretensi skala pilot yang terbuat dari akrilik. Bioretensi ini diletakkan di depan Laboratorium Struktur dan Material yang dapat dilihat pada gambar 4.1.



Gambar 4.1 Lokasi Penelitian

Sumber: Google earth (2017)

Pada awal penelitian yang dipersiapkan adalah reservoir yang digunakan untuk menampung limpasan air hujan. Reservoir yang digunakan memiliki kapasitas 450 liter, dan diletakkan di atas saluran air depan Laboratorium Struktur dan Material DTS. Reservoir ini disangga menggunakan rangka agar saluran air dibawahnya tidak terganggu dan tetap mengalirkan air. Pompa *submersible* diletakkan didalam reservoir untuk mengalirkan limpasan air hujan ke dalam bioretensi.

Bioretensi yang dibuat memiliki ketinggian sebesar 80 cm dengan panjang dan lebar sebesar 25 cm. Akrilik yang dipesan sesuai dengan dimensi tersebut, dengan tambahan saluran inlet yang dibuat miring sebesar 15° . Hal ini dilakukan agar pada saat pengaliran limpasan air hujan masuk kedalam bioretensi secara merata. Setelah menyiapkan reaktor untuk bioretensi, dilakukan persiapan untuk media yang ingin digunakan. Media yang harus dipersiapkan adalah pasir hitam, pasir kuarsa, kompos, dan tanah. Kompos yang digunakan merupakan kompos yang dibuat oleh Unit Pengolahan Sampah Politeknik Negeri Jakarta. Tanah yang digunakan berasal dari Fakultas Teknik UI dekat Gedung S. Media dicampur sesuai dengan perbandingan volumenya yang didapat setelah mengetahui *specific gravity* nya. Untuk mendapatkan *specific gravity* dari media dilakukan pengujian di

Laboratorium Mekanika Tanah. Hasil *specific gravity* untuk tanah, pasir kuarsa, pasir hitam, dan kompos berturut-turut adalah 2.67, 2.61, 2.53, dan 1.95. Setelah itu media dicampur sesuai dengan perbandingan komposisinya dengan menggunakan cangkul.

Hal pertama yang dilakukan ketika reaktor telah jadi adalah memasang pipa *underdrain* dengan jarak ± 5 cm dari dasar. Setelah memasang pipa *underdrain* dimasukkan kerikil hingga tinggi 10 cm dari dasar. Pipa *underdrain* berfungsi sebagai saluran outlet yang dilengkapi dengan stop kran. Selanjutnya memasukkan campuran media setinggi 50 cm yang terbagi menjadi 3 *layer*, pada setiap *layer* dilakukan pemadatan terlebih dahulu agar rongga-rongga udara yang ada berkurang. Selanjutnya ditutup dengan mulsa yang berupa rumput gajah mini. Pada bioretensi 1 dan 2 ditanami *Iris pseudacorus* tepat di tengah bioretensi. Mulsa pada bioretensi dapat mencegah gulma dari perkecambahan, menjaga kelembaban, memberikan nilai estetika serta menjadi pengolahan pendahuluan sebelum masuk kedalam media filter (Kim *et al.*, 2014).



Gambar 4.2 Rangkaian Bioretensi

Sumber: Dokumentasi Penulis (2017)

4.3 Aklimatisasi

Aklimatisasi dilakukan untuk menstabilkan tanaman, dan pada saat kondisi akar tanaman telah berkembang maka dapat menyerap limbah cair atau air yang ingin diolah (Sharma dan Pandey, 2014). Aklimatisasi pada penelitian ini dilakukan sesuai dengan Tabel 3.2. Perubahan komposisi air dilakukan agar tanaman dapat beradaptasi dan sel-sel yang ada tidak mati. Proses aklimatisasi dilakukan hingga hari ke 7 dan tanaman *Iris pseudacorus* yang digunakan telah

menumbuhkan daun baru. Hal ini mengindikasikan bahwa tanaman telah stabil dan dapat tumbuh dengan baik.

4.4 Kualitas Limpasan Air Hujan

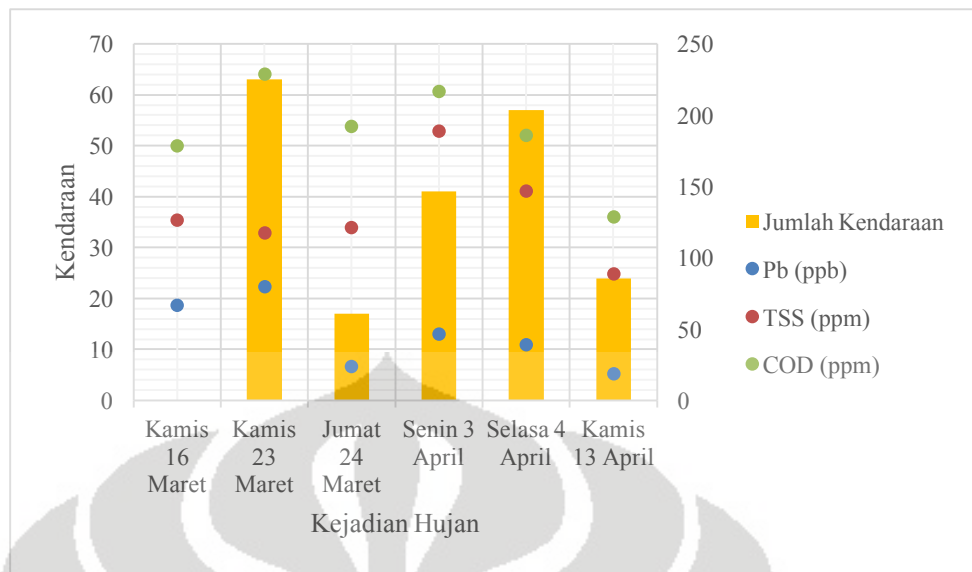
Limpasan air hujan yang diambil merupakan limpasan air hujan yang masuk kedalam saluran drainase belakang Laboratorium Departemen Teknik Sipil. Limpasan air hujan tersebut diarahkan masuk ke dalam reservoir yang berukuran 450 liter. Pengambilan sampel limpasan air hujan dilakukan sebanyak 6 kejadian hujan. Pada saat pengambilan sampel dilakukan pengadukan pada reservoir agar kualitas limpasan air hujannya merata. Pengambilan sampel dari reservoir diuji kualitasnya (COD, TSS, dan Pb) di laboratorium pengujian Balai Teknologi Pengolahan Air dan Limbah, Badan Pengkajian dan Penerapan Teknologi (BPPT). Pengambilan sampel influen dilakukan pada hari yang sama dengan *running* bioretensi. Berikut merupakan tabel waktu kejadian hujan dan *running* bioretensi.

Tabel 4.1 Waktu Kejadian Hujan dan *Running*

Hari Hujan	Waktu Kejadian	Hari <i>Running</i>
Kamis 16 Maret	Malam	Jumat 17 Maret
Kamis 23 Maret	Pagi	Jumat 24 Maret
Jumat 24 Maret	Malam	Sabtu 25 Maret
Senin 3 April	Sore	Senin 3 April
Selasa 4 April	Sore	Selasa 4 April
Kamis 13 April	Sore	Kamis 13 April

Sumber: Analisis Penulis (2017)

Selain itu juga dilakukan perhitungan jumlah kendaraan yang parkir pada saat kejadian hujan. Hal ini dilakukan karena logam berat pada limpasan air hujan berasal dari serpihan ban yang terlepas ketika kendaraan melintas dan minyak rem yang juga berasal dari kendaraan (Almaditya dan Zevi, 2012). Berikut merupakan hasil pengujian kualitas limpasan air hujan.



Gambar 4.3 Grafik Kualitas Limpasan Air Hujan

Sumber: Analisis Penulis (2017)

Dari gambar grafik 4.3 dapat dilihat bahwa pada kejadian hujan tanggal 16 Maret 2017 tidak ada jumlah kendaraan, karena hujan terjadi di malam hari dan tidak dilakukan perhitungan jumlah kendaraan di lahan parkir FTUI. Pada pengambilan sampel kedua yaitu pada kejadian hujan tanggal 23 Maret 2017 dilakukan perhitungan jumlah kendaraan yang parkir yaitu 63 kendaraan, dan merupakan jumlah terbesar. Dengan jumlah kendaraan yang besar, konsentrasi dari timbal pada limpasan air hujan juga terbesar yaitu 80 ppb. Konsentrasi COD pada limpasan air hujan pada kejadian kedua merupakan konsentrasi COD terbesar yaitu 229 ppm. Sedangkan TSS bukan merupakan konsentrasi terbesar. Hal ini dapat terjadi karena pada saat pengadukan di reservoir kurang homogen, atau padatan yang ada pada reservoir mengendap. Konsentrasi TSS pada kejadian kedua hanya sebesar 118 ppm.

Pengambilan sampel ketiga, yaitu kejadian hujan pada hari Jumat 24 Maret 2017 memiliki konsentrasi timbal (Pb) yang cukup kecil yaitu 24 ppb dengan jumlah kendaraan yang parkir sebanyak 17 kendaraan. Jika dibandingkan dengan kejadian hujan kedua, konsentrasi Pb menurun seiring dengan menurunnya jumlah kendaraan. Konsentrasi COD dan TSS berturut-turut adalah 192 ppm dan 121 ppm. Konsentrasi COD juga menurun jika dibandingkan dengan kejadian kedua. Namun untuk TSS sebaliknya, konsentrasi TSS meningkat tetapi konsentrasi Pb menurun.

Hal tersebut dapat disebabkan oleh TSS dapat berasal dari erosi penutup permukaan atau pun tanah, dan sampah daun (Minnesota Stormwater Manual, 2017).

Sampel kejadian hujan keempat pada hari Senin 3 April 2017 menunjukkan jumlah kendaraan yang parkir sebanyak 41 kendaraan dengan konsentrasi COD sebesar 217 ppm, TSS sebesar 189 ppm, dan 47 ppb untuk Pb. Jika membandingkan jumlah kendaraan, konsentrasi Pb, dan COD pada kejadian keempat lebih rendah dari kejadian hujan kedua, dan lebih tinggi dari kejadian hujan ketiga. Namun, untuk konsentrasi TSS merupakan konsentrasi terbesar. Hal ini dapat terjadi karena TSS merupakan padatan terlarut organik dan anorganik (Galloway, 2008). Sedangkan sebagian besar logam merupakan unsur anorganik (Singh *et al.*, 2011).

Pada kejadian hujan kelima di hari Selasa 4 April 2017, jumlah kendaraan yang parkir di lahan parkir lebih banyak dari kejadian hujan keempat yaitu sebanyak 57 kendaraan. Namun konsentrasi Pb, TSS, dan COD yang ada pada limpasan air hujan tersebut lebih rendah dari hari sebelumnya yaitu 39 ppb, 147 ppm, dan 186 ppm. Hal ini dapat terjadi karena kejadian hujan terjadi dalam dua hari berturut-turut, sehingga telah ada pencucian sebelumnya.

Pengambilan sampel dari kejadian hujan keenam yang terjadi pada hari Kamis 13 April 2017 memiliki konsentrasi COD sebesar 129 ppm, TSS sebesar 89 ppm, dan 19 ppb untuk Pb. Pada saat kejadian hujan tersebut jumlah kendaraan yang parkir adalah 24 kendaraan. Jika konsentrasinya dibandingkan dengan hujan kedua, ketiga, keempat, dan kelima, maka konsentrasi kejadian keenam merupakan konsentrasi terkecil. Namun, jumlah kendaraan yang diparkir pada kejadian keenam lebih besar dari kejadian hujan ketiga. Pada kejadian hujan ketiga yang terjadi pada hari Jumat kendaraan yang melintas pada saat hujan lebih banyak dibandingkan dengan kejadian hujan keenam.

Dari data yang diperoleh kemudian dilakukan analisis korelasi *Pearson*, dengan syarat data-data tersebut terdistribusi normal. Penguji distribusi normal dilakukan dengan uji Saphiro-Wilk karena data yang diperoleh < 50 . Berikut merupakan Tabel 4.2 hasil dari uji normalitas untuk konsentrasi influen limpasan air hujan dan jumlah kendaraan.

Tabel 4.2 Hasil Uji Normalitas Saphiro-Wilk Kualitas Limpasan Air Hujan

	Shapiro-Wilk
	Sig.
TSS	,790
Influen Pb	,477
COD	,486
Kendaraan	,772

Sumber: Analisis Penulis (2017)

Dari tabel diatas dapat dilihat bahwa nilai sig atau $p\text{ value} > 0.05$ maka data yang diperoleh terdistribusi normal. Setelah data yang diperoleh dinyatakan terdistribusi normal maka dilakukan uji korelasi *Pearson*.

Tabel 4.3 Korelasi Kendaraan dengan Konsentrasi Pb

		Influen Pb	Kendaraan
Influen Pb	Pearson Correlation	1	,973**
	Sig. (2-tailed)		,005
	N	6	5

Sumber: Analisis Penulis (2017)

Hasil dari analisis korelasi yang disajikan pada tabel 4.3 menunjukkan nilai $r = 0.973$ dan sig atau $p\text{ value} = 0.005$ yang berarti jumlah mobil yang ada di parkir Fakultas Teknik UI berkorelasi sangat kuat dan signifikan dengan konsentrasi timbal (Pb) pada limpasan air hujan. Sedangkan untuk COD dan TSS yang merupakan parameter pendukung keberadaan logam berat (Göbel *et al.*, 2007; Gwaski *et al.*, 2013) tidak memiliki korelasi yang signifikan terhadap konsentrasi timbal (Pb) di limpasan air hujan karena nilai sig atau $p\text{ value} = 0.155$ dan 0.715 . Namun, COD memiliki korelasi yang kuat terhadap konsentrasi Pb karena nilai $r = 0.659$. Hal ini dapat terjadi karena COD merupakan oksigen yang dibutuhkan untuk mengoksidasi zat organik dan anorganik, logam, dan nutrisi (West *et al.*, 2015). Sedangkan TSS tidak memiliki korelasi terhadap konsentrasi Pb karena nilai $r < 0.25$. Hal ini dapat terjadi karena konsentrasi logam berat lebih tinggi ketika partikel padatan lebih kecil, sehingga lebih mudah bergerak (Fassman *et al.*, 2013).

Tabel 4.4 Korelasi COD dan TSS dengan Konsentrasi Pb

		Influen Pb	COD	TSS
Influen Pb	Pearson Correlation	1	,659	,192
	Sig. (2-tailed)		,155	,715
	N	6	6	6

Sumber: Analisis Penulis (2017)

4.5 Pengaliran Limpasan Air Hujan ke dalam Bioretensi

Pengaliran limpasan air hujan dilakukan dengan menggunakan pipa yang telah disambung dengan selang pada ujungnya. Pipa disambungkan pada pompa *submersible* yang ada didalam reservoir. Pada setiap sebelum kejadian hujan, reservoir sudah dikosongkan terlebih dahulu agar limpasan air hujan yang tertampung merupakan hasil limpasan air hujan pada setiap kejadian. Setelah reservoir terisi oleh limpasan air hujan dialirkan dengan menggunakan rangkaian pengalir. Rangkaian yang digunakan untuk mengalirkan limpasan air hujan dilengkapi dengan *flow meter* pada ujung selang. Debit pengaliran limpasan air hujan ke dalam bioretensi dilakukan sesuai dengan intensitas hujan yang terjadi. Debit perhitungan debit dapat dilakukan dengan menggunakan persamaan 2.1.

Tabel 4.5 Pengaliran Kejadian Hujan

Kejadian Hujan Ke-	Tanggal Hujan	Intensitas (mm/hari)	Debit (liter/menit)
1	Kamis 16 Maret 2017	30	3.1825
2	Kamis 23 Maret 2017	180	19.095
3	Jumat 24 Maret 2017	23	2.4399
4	Senin 3 April 2017	133	14.109
5	Selasa 4 April 2017	118	12.518
6	Kamis 13 April 2017	47	4.986

Sumber: Analisa Penulis (2017)

Pada saat pengaliran, stop kran yang berada di outlet bioretensi ditutup terlebih dahulu. Hal ini dilakukan untuk mencegah limpasan air hujan keluar. Limpasan air hujan dialirkan hingga jenuh atau air menggenangi permukaan bioretensi setinggi 10 cm. dengan pengaliran debit yang sama untuk ketiga bioretensi tidak terjadi perbedaan waktu yang signifikan dalam pengaliran. Setelah itu stop kran dibuka dan dilakukan pengambilan sampel dengan menggunakan botol

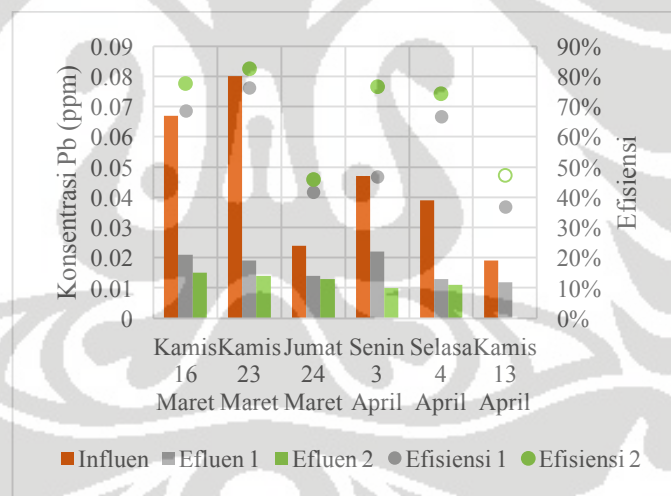
plastik. Stop kran setelah pengambilan sampel dibiarkan tetap terbuka agar seluruh air limpasan hujan dapat mengalir dan tidak mempengaruhi kemampuan bioretensi. Efluen yang telah diambil diuji di laboratorium pengujian Balai Teknologi Pengolahan Air dan Limbah, Badan Pengkajian dan Penerapan Teknologi (BPPT).

4.6 Penghilangan Logam Timbal (Pb)

Penghilangan logam timbal (Pb) dilakukan pada tiga bioretensi, namun analisis yang dilakukan dibagi menjadi dua, yaitu analisis mengenai variasi jenis pasir yang digunakan (bioretensi 1 dan 2), dan analisis pengaruh adanya tanaman *Iris pseudacorus* (bioretensi 2 dan 3). Pengambilan sampel efluen bioretensi dilakukan pada saat bioretensi telah jenuh.

4.6.1 Efisiensi Penghilangan Logam Timbal (Pb) pada Bioretensi 1 vs Bioretensi 2

Bioretensi yang dibandingkan merupakan bioretensi 1 yang menggunakan pasir hitam dengan bioretensi 2 yang menggunakan pasir kuarsa sebagai campuran media filter. Hasil efluen dari bioretensi 1 dan 2 terlihat pada gambar 4.4



Gambar 4.4 Grafik Perbandingan Jenis Pasir pada Bioretensi 1 dan 2

Sumber: Analisis Penulis (2017)

Pada kejadian hujan pertama, Kamis 16 Maret 2017 efluen dari bioretensi 1 sebesar 0.021 ppm dengan efisiensi 68.66%. Sedangkan efluen dari bioretensi 2 menunjukkan konsentrasi 0.015 ppm dengan efisiensi 77.61%. Pada kejadian hujan pertama dapat terlihat bahwa efisiensi penghilangan logam Pb oleh bioretensi 2 lebih besar dibandingkan bioretensi 1. Kejadian hujan kedua di hari Kamis 23 Maret menghasilkan limpasan air hujan dengan konsentrasi Pb sebesar 0.08 ppm. Sama

seperti kejadian hujan pertama, efisiensi serta kualitas efluen yang dihasilkan oleh bioretensi 2 lebih baik dibandingkan bioretensi 1. Efisiensi bioretensi 2 adalah 82.5% sedangkan bioretensi 1 hanya sebesar 76.25%. Hasil yang sama terus terjadi untuk kejadian hujan ketiga sampai keenam. Efisiensi yang dimiliki bioretensi 2 selalu lebih besar dari bioretensi 1. Namun, pada kejadian hujan keenam pada gambar 4.4 tidak terlihat konsentrasi efluen dari bioretensi 2, hal ini terjadi karena pembacaan pada alat menunjukkan < 0.01 ppm. Konsentrasi yang dihasilkan lebih kecil dari batas bawah pembacaan alat. Oleh karena itu notasi efisiensi pada grafik dibuat lingkaran tanpa isi, yang menyatakan efisiensi $> 47.37\%$. Dengan menganggap efisiensi bioretensi 2 pada kejadian hujan keenam = 47.37%, rata-rata efisiensi bioretensi 1 adalah 56.15% dan bioretensi 2 sebesar 71.38%.

Perbedaan efisiensi penghilangan logam timbal (Pb) juga dipengaruhi oleh adanya tanaman pada bioretensi. Fungsi adanya tanaman pada bioretensi adalah untuk mengangkut logam timbal yang ada pada limpasan air hujan. Akar tanaman dapat menyerap limpasan air hujan dan mengangkut menuju daun. Dengan bertambahnya timbal yang diserap maka terjadi penimbunan logam pada jaringan tanaman, yang dapat ditunjukkan dengan hasil laboratorium yang telah dilakukan. Hasil tersebut menunjukkan bahwa tanaman pada bioretensi 1 memiliki biomassa sebesar 15.18 mg/kg pada daun, dan 10.21 mg/kg pada akar. Sedangkan biomassa tanaman pada bioretensi 2 sebesar 20.67 mg/kg pada daun dan 13.79 mg/kg pada akar. Hal ini dapat terjadi karena rongga udara pada media filter bioretensi 2 lebih besar. Diameter butiran pasir yang digunakan lebih besar, sehingga dapat menyediakan volume air yang lebih besar untuk diserap. Tanaman selalu menyerap air dari akar untuk memenuhi kebutuhan nutrisi agar dapat tumbuh. Tanaman menyerap logam Pb dalam bentuk ion yang larut dan bergerak bebas (Amelia *et al.*, 2015).

Setelah mendapatkan data dilakukan analisis independen t. Syarat dalam melakukan analisis independen t tes adalah data harus terdistribusi normal dan homogen. Dalam menentukan data terdistribusi normal atau tidak harus dilakukan uji normalitas Shapiro-Wilk untuk data < 50 . Berikut merupakan tabel hasil uji normalitas tersebut.

Tabel 4.6 Hasil Uji Normalitas Saphiro-Wilk Efluen Bioretensi 1 dan 2

	Shapiro-Wilk
	Sig.
Bioretensi 1	,659
Bioretensi 2	,063

Sumber: Analisis Penulis (2017)

Dengan nilai sig atau p value > 0.05 maka data yang diperoleh terdistribusi normal. Setelah itu dilakukan uji homogen *Lavene* yang menghasilkan nilai $F = 0.085$. Nilai F yang diperoleh lebih besar dari tingkat kepercayaan (0.05) sehingga data yang dimiliki homogen. Selanjutnya independen t tes dilakukan untuk mengetahui apakah terjadi perbedaan yang signifikan. Berikut ini merupakan hasil uji independen t tes.

Tabel 4.7 Hasil Uji Independen T Tes

		Sig. (2-tailed)
Efisiensi	Equal variances assumed	,041
	Equal variances not assumed	,041

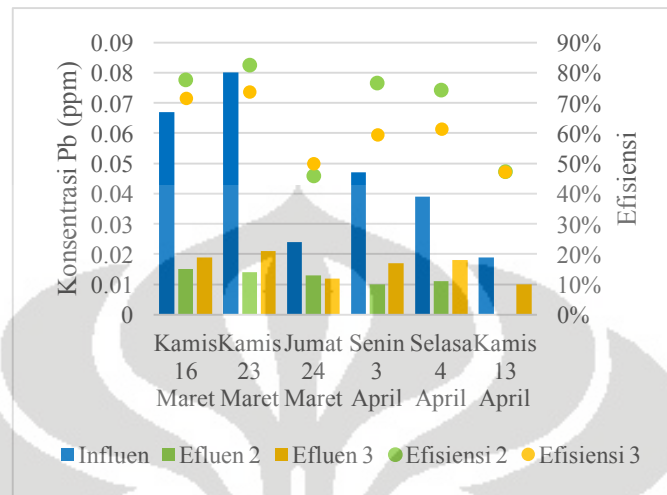
Sumber: Analisis Penulis (2017)

Dari tabel diatas dapat dilihat bahwa nilai sig atau p value < 0.05 maka terdapat perbedaan yang signifikan antara Bioretensi 1 dan 2. Dengan membandingkan rata-rata efisiensi 1 dan 2 dapat terlihat bahwa bioretensi 2 memiliki efisiensi yang lebih besar. Maka pasir kuarsa merupakan campuran media bioretensi yang lebih baik dari pasir hitam. Pasir kuarsa mengandung 97.85% SiO_2 (Malu *et al.*, 2015). SiO_2 merupakan senyawa yang terdapat pada silika gel, memiliki kemampuan untuk mengabsorbsi logam dari gaya van der Waals (gaya tarik menarik molekul larutan dengan media lebih besar dari zat terlarut dengan larutan). Reaksi pengikatan logam oleh pasir kuarsa merupakan interaksi fisik (Lesbani, 2011).

4.6.2 Efisiensi Penghilangan Logam Timbal (Pb) pada Bioretensi 2 vs Bioretensi 3

Bioretensi 2 dan 3 dibandingkan untuk mengetahui pengaruh tanaman *Iris pseudacorus* dalam menghilangkan logam timbal (Pb). Pada bioretensi 2 ditanami tanaman *Iris pseudacorus* dengan campuran media filter berupa pasir kuarsa,

sedangkan bioretensi 3 tidak menggunakan tanaman *Iris pseudacorus* dengan campuran media filter pasir kuarsa.



Gambar 4.5 Grafik Perbandingan Penggunaan Tanaman *Iris pseudacorus* pada Bioretensi 2 dan 3

Sumber: Analisis Penulis (2017)

Dari gambar 4.5 dapat terlihat bahwa pada kejadian hujan pertama, Kamis 16 Maret 2017 efluen yang dihasilkan oleh bioretensi 2 memiliki konsentrasi sebesar 77.61% sedangkan untuk bioretensi 3 konsentrasi efluennya 71.64%. Selanjutnya pada kejadian hujan kedua pada minggu berikutnya, yaitu tanggal 23 Maret 2017 kedua bioretensi tersebut mengalami peningkatan untuk efisiensi penghilangan logam Pb, yaitu sebesar 82.5% untuk bioretensi 2 dan 73.75% untuk bioretensi 3. Namun, pada kejadian hujan ketiga yaitu pada hari Jumat 24 Maret 2017, efisiensi penghilangan logam Pb mengalami penurunan. Hal ini dapat disebabkan oleh kondisi tanah yang masih jenuh akibat pengaliran limpasan air hujan sebetulnya karena terjadi dalam 2 hari berturut-turut. Setelah mengambil efluen tidak memperhatikan waktu menutup stop kran pada efluen, sehingga masih ada limpasan air hujan yang terperangkap dalam bioretensi. Sama halnya yang terjadi pada kejadian hujan kelima dan keenam. Perbedaan efisiensi terbesar yang terjadi adalah pada kejadian hujan keempat dengan efisiensi bioretensi 2 sebesar 76.6% dan bioretensi 3 sebesar 59.57%. Perbedaan efisiensi yang terjadi mencapai 17.03% yaitu pada kejadian hujan keempat. Hal ini dapat terjadi karena jarak kejadian hujan ketiga dan keempat ada jeda waktu, sehingga limpasan air yang

berada dibagian atas media filter telah turun. Efisiensi bioretensi 2 pada kejadian keenam adalah $> 47.37\%$, sehingga notasi pada grafik berupa lingkaran tanpa isi. Hal ini terjadi karena konsentrasi yang terbaca pada alat < 0.01 ppm. Secara visual dapat terlihat dari grafik bahwa bioretensi 2 memiliki efisiensi yang lebih tinggi dari bioretensi 3. Rata-rata efisiensi bioretensi 2 adalah 71.38% sedangkan untuk bioretensi 3 sebesar 60.65% , dengan mengasumsikan efisiensi bioretensi 2 pada kejadian hujan keenam = 47.37% . Bioretensi 2 memiliki efisiensi yang lebih besar karena tanaman dapat menyerap logam berat terlarut yang dibawa menuju akar dan daun selama pertumbuhannya (Muthanna, 2007; Lim *et al.*, 2015; Myung *et al.*, 2012). Menurut hasil laboratorium tanaman yang telah dilakukan, tanaman yang ada pada bioretensi 2 memiliki biomassa sebesar 20.67 mg/kg di daun dan 13.79 mg/kg pada akarnya untuk logam Pb. Hal ini menunjukkan adanya proses penyerapan logam timbal oleh tanaman. Kandungan Pb pada daun lebih besar pada daun karena air dan mineral terlarut yang diserap oleh akar dibawa menuju daun dengan jaringan xilem (Tanner and Beevers, 2001). Proses penyerapan logam oleh akar tanaman terjadi dengan adanya ikatan sulfida yang terbentuk dari fitokhelatin pada bagian akar dengan logam Pb (Sari *et al.*, 2014).

Setelah mendapatkan data dilakukan analisis uji t berpasangan, dengan syarat data yang diperoleh harus terdistribusi normal. Uji t berpasangan dilakukan untuk mengetahui adakah perbedaan yang terjadi antara bioretensi 2 dan 3. Berikut merupakan tabel hasil uji normalitas Saphiro-Wilk.

Tabel 4.8 Hasil Uji Normalitas Saphiro-Wilk Efluen Bioretensi 2 dan 3

	Shapiro-Wilk
	Sig.
Bioretensi 2	,063
Bioretensi 3	,300

Sumber: Analisis Penulis (2017)

Dengan memiliki nilai sig atau p value sebesar 0.063 untuk bioretensi 2, dan 0.3 untuk bioretensi 3, maka data yang diperoleh terdistribusi normal. Selanjutnya dilakukan uji t berpasangan, yang hasilnya disajikan pada tabel berikut.

Tabel 4.9 Hasil Uji T Berpasangan

		Sig. (2-tailed)
Pair 1	Bioretensi 2 – Bioretensi 3	,098

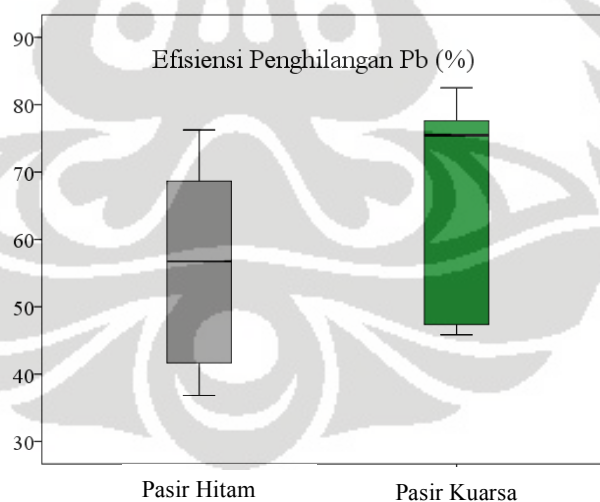
Sumber: Analisis Penulis (2017)

Dari tabel diatas dapat dilihat nilai sig atau *p value* sebesar 0.098, yang lebih besar dari 0.05. Dengan tingkat kepercayaan 95% tidak terjadi perbedaan yang signifikan antara bioretensi 2 dan bioretensi 3. Keberadaan tanaman *Iris pseudacorus* pada bioretensi tidak memberikan perbedaan yang signifikan terhadap penghilangan logam timbal dari limpasan air hujan. Hal ini dapat terjadi akibat tidak terbacanya konsentrasi efluen pada kejadian keenam (< 0.01 ppm), sehingga mempengaruhi data efisiensi yang didapatkan. Jumlah data dalam pengambilan keputusan menurut statistik dapat mempengaruhi kesimpulan yang didapat. Selain itu juga dapat disebabkan oleh umur tanaman yang masih cukup kecil yaitu 1.5 bulan, sehingga penyerapan logam yang dilakukan oleh tanaman belum optimum. Umur dan pertumbuhan tanaman dapat mempengaruhi konsentrasi logam pada tanaman (Laghlimi *et al.*, 2015).

4.7 Resume Hasil Penelitian

Berdasarkan penelitian yang telah dilakukan, resume yang didapatkan adalah sebagai berikut.

- Variasi penggunaan media filter yang telah dilakukan mempengaruhi efisiensi penghilangan logam timbal (Pb) pada limpasan air hujan.



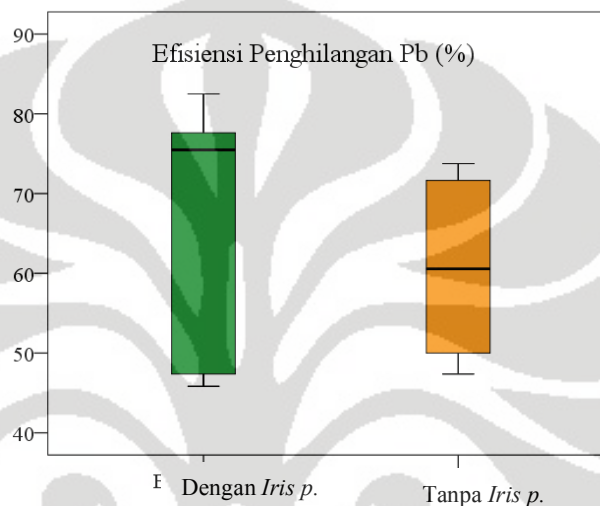
Gambar 4.6 Efisiensi Pasir Hitam dan Pasir Kuarsa

Sumber: Analisis Penulis (2017)

Dari Gambar 4.6 menunjukkan bahwa penggunaan pasir kuarsa memberikan efisiensi penghilangan timbal (Pb) yang lebih besar dibandingkan dengan penggunaan pasir hitam. Hal ini disebabkan oleh kandungan pasir kuarsa

yang memiliki kemampuan dalam mengabsorpsi logam dan ukuran butiran pasir kuarsa yang dapat memberikan ruang untuk limpasan air hujan agar diserap oleh tanaman.

- Keberadaan tanaman *Iris pseudacorus* pada bioretensi tidak memberikan pengaruh yang signifikan terhadap efisiensi penghilangan logam timbal (Pb) pada limpasan air hujan. Hasil tersebut dipengaruhi oleh hasil pembacaan konsentrasi efluen dan umur tanaman.



Gambar 4.7 Efisiensi Penggunaan dan Tanpa *Iris p.*

Sumber: Analisis Penulis (2017)

Dari Gambar 4.7 terlihat bahwa efisiensi bioretensi dengan tanaman *Iris pseudacorus* memiliki rata-rata lebih besar dari efisiensi bioretensi tanpa tanaman *Iris pseudacorus*. Namun jika dilihat data minimum yang dimiliki oleh kedua variasi tersebut tidak jauh berbeda.

4.8 Analisis Keterbatasan Penelitian

Dalam melakukan penelitian ini terdapat beberapa keterbatasan dalam mendapatkan hasil karakteristik limpasan air hujan, biomassa tanaman dan efisiensi penghilangan logam Pb dengan bioretensi, yaitu sebagai berikut:

a. Pengaliran ke dalam bioretensi

Keterbatasan pada saat pengaliran limpasan air hujan ke dalam bioretensi terjadi karena hanya terdapat satu selang. Pengaliran ke dalam tiga bioretensi tidak secara bersamaan, sehingga kemungkinan influen yang masuk berbeda-beda walaupun reservoir terus diaduk. Pengambilan sampel influen dilakukan

langsung dari reservoir setelah dilakukan pengadukan secara manual. Sehingga hasil yang diperoleh kurang representatif.

b. Pengukuran konsentrasi timbal (Pb)

Pengukuran konsentrasi timbal yang dimaksud adalah konsentrasi dalam limpasan air hujan maupun efluen bioretensi. Pengukuran sampel dilakukan di laboratorium pengujian Balai Teknologi Pengolahan Air dan Limbah, Badan Pengkajian dan Penerapan Teknologi (BPPT) yang memiliki alat dengan batas bawah pembacaan 0.01 ppm. Ketika sampel yang diuji memiliki konsentrasi lebih kecil dari 0.01 ppm maka tidak ada pembacaan, sehingga efisiensi yang diperoleh tidak akurat.

c. Pengambilan sampel efluen

Pengambilan sampel efluen cukup sulit untuk dilakukan seorang diri. Banyak hal yang perlu dilakukan ketika pengambilan sampel efluen, seperti menyambungkan listrik, memutar keran agar debit yang terbaca pada *flow meter* sesuai dengan kejadian hujan sebelumnya, menutup stop kran, dan mempersiapkan botol untuk pengambilan sampel agar tepat waktu ketika bioretensi telah jenuh. Oleh karena itu diperlukan 2 atau lebih mahasiswa untuk pengambilan sampel.

4.9 Pengembangan Bioretensi

Pengembangan bioretensi dilakukan untuk penerapan dalam skala yang lebih besar di Fakultas Teknik UI. Dalam pengembangan bioretensi dapat diterapkan melalui dua pilihan yaitu:

A. Pilihan Satu

Luas tangkapan air hujan sebesar 2,093 m² (Gambar 4.8). Bioretensi yang diterapkan menggunakan jenis pasir kuarsa dengan komposisi campuran media filter 50% pasir, 20% tanah, dan 30% kompos. Berikut desain yang dibuat untuk lahan parkir mobil



Gambar 4.8 Daerah Tangkapan Air Pilihan Satu

Sumber: Google Earth (2017)

1. Pra-pengolahan

- Menggunakan lapisan mulsa setinggi 5 cm
- Saluran inlet menggunakan bidang miring dengan lebar 30 cm dan panjang 5 m. Kemiringan dibuat 30^0 dari sumbu x. Kecepatan aliran maksimum pada inlet 1 m/s.

$$v_{horizontal} = \frac{Q}{A} \quad (3.2)$$

$$v_{horizontal} = \frac{0.000217 \text{ m}^3/\text{s}}{5 \text{ m} \times 0.3 \text{ m}}$$

$$v_{horizontal} = 0.000145 \text{ m/s}$$

$$\cos 30^0 = \frac{v_{horizontal}}{v_{inlet}} \quad (3.1)$$

$$v_{inlet} = \frac{v_{Horizontal}}{\cos 30^0} = \frac{0.000145 \text{ m/s}}{\cos 30^0}$$

$$v_{inlet} = 0.000525 \text{ m/s}$$

$$v_{inlet} < 1 \text{ m/s}$$

2. Pengolahan

- Luas area tangkapan hujan

Luas area parkir mobil Fakultas Teknik UI = 2,093 m² m² dengan 2 jenis penutup permukaan, yaitu konblok dan aspal. Luas area parkir mobil Fakultas Teknik UI dengan penutup permukaan konblok sebesar 582 m² dan 1,511 m² yang permukannya aspal.

- Koefisien limpasan

Koefisien limpasan konblok = 0.8 (Larry A. Roesner *et al.*,1992)

Koefisien limpasan aspal = 0.9 (Larry A. Roesner *et al.*,1992)

- Perhitungan volume limpasan air hujan (WQv)

- a. Volume kualitas air (WQv) konblok

$$WQv = I \times C_k \times A_k \quad (2.1)$$

Keterangan:

WQv : volume limpasan air hujan (m³)

C = 0.8

A = 582 m²

I = 10.28 x 10⁻³ m (intensitas hujan rata-rata FTUI dari tahun 2003-2016)

$$WQv = 10.28 \times 10^{-3} \text{ m} \times 0.8 \times 582 \text{ m}^2 = 4.787 \text{ m}^3$$

- b. Volume kualitas air (WQv) aspal

$$WQv = I \times C_a \times A_a \quad (2.1)$$

Keterangan:

WQv : volume limpasan air hujan (m³)

C = 0.9

A = 1511 m²

$$I = 10.28 \times 10^{-3} \text{ m}$$

$$WQv = 10.28 \times 10^{-3} \text{ m} \times 0.9 \times 1511 \text{ m}^2 = 13.98 \text{ m}^3$$

Jadi volume total limpasan air hujan yang dikelola adalah

$$4.787 \text{ m}^3 + 13.98.78 \text{ m}^3 = 18.766 \text{ m}^3$$

Debit yang dikelola bioretensi adalah

$$Q_{inlet} = 18.766 \frac{\text{m}^3}{\text{hari}} = 0.217 \text{ l/s}$$

- Perhitungan luas permukaan bioretensi

$$Af = \frac{WQv \times df}{[k \times (hf + df) \times tf]} \quad (2.2)$$

Keterangan:

Af : luas permukaan kolam bioretensi (m^2)

$$WQv = 18.766 \text{ m}^3$$

$$df = 1 \text{ m}$$

$$k = 0.63 \text{ m/hari}$$

$$hf = 0.15 \text{ m (Kim et al., 2014).}$$

$$tf = 2 \text{ hari berdasarkan literatur}$$

$$Af = \frac{18.766 \text{ m}^3 \times 1 \text{ m}}{\left[0.634 \frac{\text{m}}{\text{hari}} \times (0.15 \text{ m} + 1 \text{ m}) \times 2 \text{ hari}\right]}$$

$$Af = 12.86 \text{ m}^2$$

Luas yang dibutuhkan adalah 12.86 m^2 . Dengan mengasumsikan bentuk persegi panjang dengan lebar = 3 m.

$$A = p \times l \quad (4.1)$$

$$p = \frac{A}{l} = \frac{12.86 \text{ m}^2}{3 \text{ m}} = 4.3 \text{ m}$$

Keterangan:

A : luas permukaan kolam bioretensi (m^2)

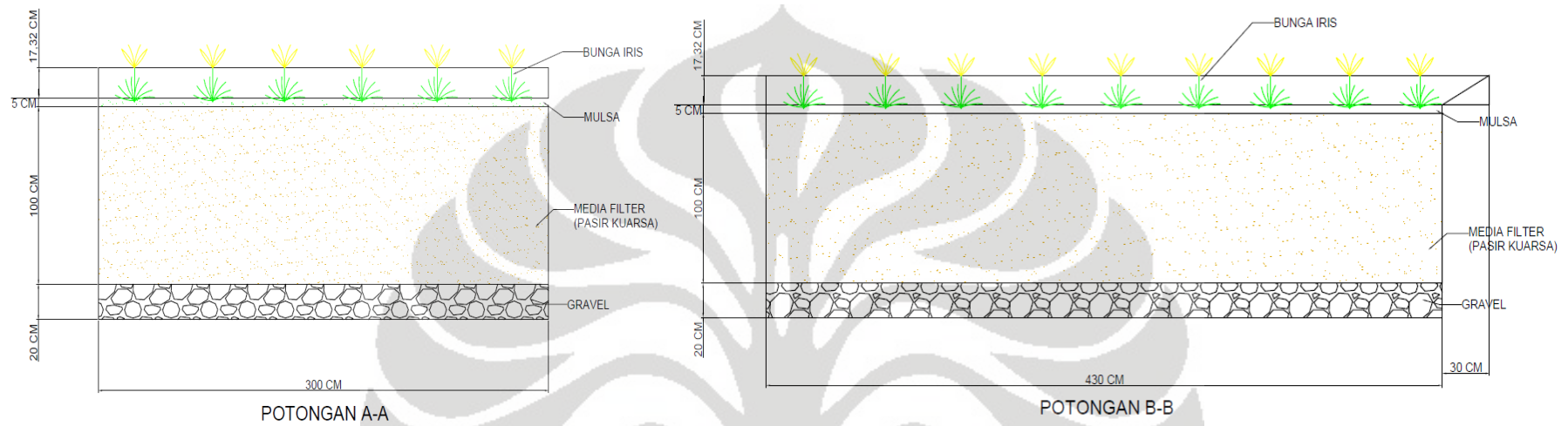
p : panjang (m)

l : lebar (m)



Gambar 4.9 Perencanaan Bioretensi FTUI Pilihan Satu

Sumber: Analisis Penulis (2017)



Gambar 4.10 Potongan Bioretensi FTUI Pilihan Satu

Sumber: Analisis Penulis (2017)

B. Pilihan Dua

Luas tangkapan air hujan sebesar 1,452 m² (Gambar 4.11). Bioretensi yang diterapkan menggunakan jenis pasir kuarsa dengan komposisi campuran media filter 50% pasir, 20% tanah, dan 30% kompos. Berikut desain yang dibuat untuk lahan parkir mobil



Gambar 4.11 Daerah Tangkapan Air Pilihan Dua

Sumber: Analisis Penulis (2017)

1. Pra-pengolahan

- Menggunakan lapisan mulsa setinggi 5 cm
- Saluran inlet menggunakan bidang miring dengan lebar 30 cm dan panjang 5 m. Kemiringan dibuat 30⁰ dari sumbu x. Kecepatan aliran maksimum pada inlet 1 m/s.

$$v_{horizontal} = \frac{Q}{A} \quad (3.2)$$

$$v_{horizontal\ 1} = \frac{0.000102\ m^3/s}{2\ m \times 0.3\ m}$$

$$v_{horizontal\ 1} = 0.00017\ m/s$$

$$v_{horizontal\ 2} = \frac{0.0000467\ m^3/s}{1.5\ m \times 0.3\ m}$$

$$v_{horizontal\ 2} = 0.000108\ m/s$$

$$\cos 30^0 = \frac{v_{horizontal}}{v_{inlet}} \quad (3.1)$$

$$v_{inlet\ 1} = \frac{v_{Horizontal}}{\cos 30^0} = \frac{0.00017\ m/s}{\cos 30^0}$$

$$v_{inlet\ 1} = 0.00015\ m/s$$

$$v_{inlet\ 2} = \frac{v_{Horizontal}}{\cos 30^0} = \frac{0.000108\ m/s}{\cos 30^0}$$

$$v_{inlet\ 2} = 0.000295\ m/s$$

$$v_{inlet\ 1,2} < 1\ m/s$$

2. Pengolahan

- Luas area tangkapan hujan

Luas area parkir mobil Fakultas Teknik UI = 1,452 m² dengan 2 jenis penutup permukaan, yaitu konblok dan aspal. Luas area parkir mobil Fakultas Teknik UI dengan penutup permukaan konblok sebesar 582 m² dan 872 m² yang permukannya aspal. Di tengah area parkir mobil dengan penutup permukaan aspal dibatasi oleh taman yang dapat dijadikan lokasi bioretensi. Oleh karena itu luas aspal dibagi menjadi 2 menjadi 436 m².

- Koefisien limpasan

Koefisien limpasan konblok = 0.8 (Larry A. Roesner *et al.*, 1992)

Koefisien limpasan aspal = 0.9 (Larry A. Roesner *et al.*, 1992)

- Perhitungan volume limpasan air hujan (WQv)

- a. Volume kualitas air (WQv) konblok

$$WQv = I \times C_k \times A_k \quad (2.1)$$

Keterangan:

WQv : volume limpasan air hujan (m³)

C = 0.8

A = 582 m²

I = 10.28 x 10⁻³ m (intensitas hujan rata-rata FTUI dari tahun 2003-2016)

$$WQv = 10.28 \times 10^{-3}\ m \times 0.8 \times 582\ m^2 = 4.787\ m^3$$

b. Volume kualitas air (WQv) aspal

$$WQv = I \times C_a \times A_a \quad (2.1)$$

Keterangan:

WQv : volume limpasan air hujan (m^3)

C = 0.9

A = $436 m^2$

I = $10.28 \times 10^{-3} m$

$$WQv = 10.28 \times 10^{-3} m \times 0.9 \times 436 m^2 = 4.034 m^3$$

Jadi volume total limpasan air hujan yang dikelola adalah

$$V_1 = 4.787 m^3 + 4.034 m^3 = 8.82 m^3$$

$$V_2 = 4.034 m^3$$

Debit yang dikelola bioretensi adalah

$$Q_{inlet 1} = 8.82 \frac{m^3}{hari} = 0.102 l/s$$

$$Q_{inlet 2} = 4.034 \frac{m^3}{hari} = 0.0467 l/s$$

- Perhitungan luas permukaan bioretensi

$$Af = \frac{WQv \times df}{[k \times (hf + df) \times tf]} \quad (2.2)$$

Keterangan:

Af : luas permukaan kolam bioretensi (m^2)

WQv : volume limpasan air hujan

df = 1 m

k = 0.63 m/ hari

hf = 0.15 m (Kim *et al.*, 2014).

tf = 2 hari berdasarkan literatur

$$Af_1 = \frac{8.82 m^3 \times 1 m}{\left[0.634 \frac{m}{hari} \times (0.15 m + 1 m) \times 2 hari \right]}$$

$$Af_1 = 6.05 m^2$$

$$Af_2 = \frac{4.034 \text{ m}^3 \times 1 \text{ m}}{\left[0.634 \frac{\text{m}}{\text{hari}} \times (0.15 \text{ m} + 1 \text{ m}) \times 2 \text{ hari}\right]}$$

$$Af_2 = 2.77 \text{ m}^2$$

Luas yang dibutuhkan untuk limpasan air 1 adalah 6.05 m^2 sedangkan limpasan 2 membutuhkan luas 2.77 m^2 . Luas 1 akan dibuat pada lahan disamping gedung S dengan lebar 2 m. Luas 2 akan dibuat pada taman yang membatasi jalur kendaraan pada lahan parkir mobil, dengan lebar 1.5 m.

$$A = p \times l \quad (4.1)$$

$$p = \frac{A}{l}$$

$$p_1 = \frac{6.05 \text{ m}^2}{2 \text{ m}} = 3 \text{ m}$$

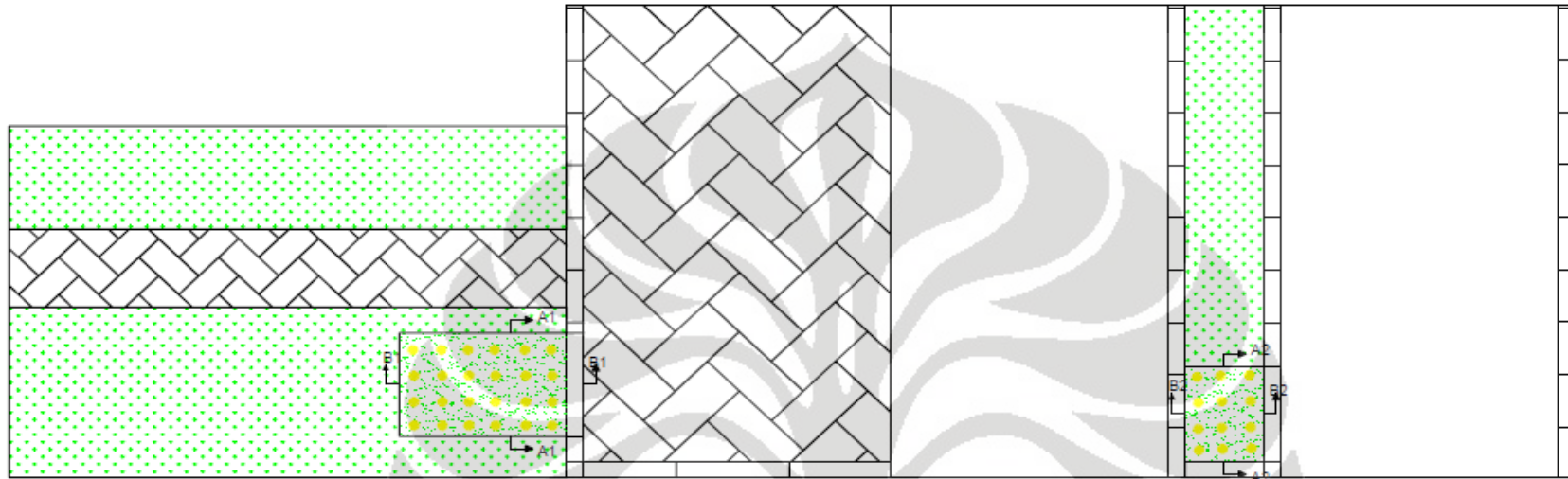
$$p_2 = \frac{2.77 \text{ m}^2}{1.5 \text{ m}} = 1.85 \text{ m}$$

Keterangan:

A : luas permukaan kolam bioretensi (m^2)

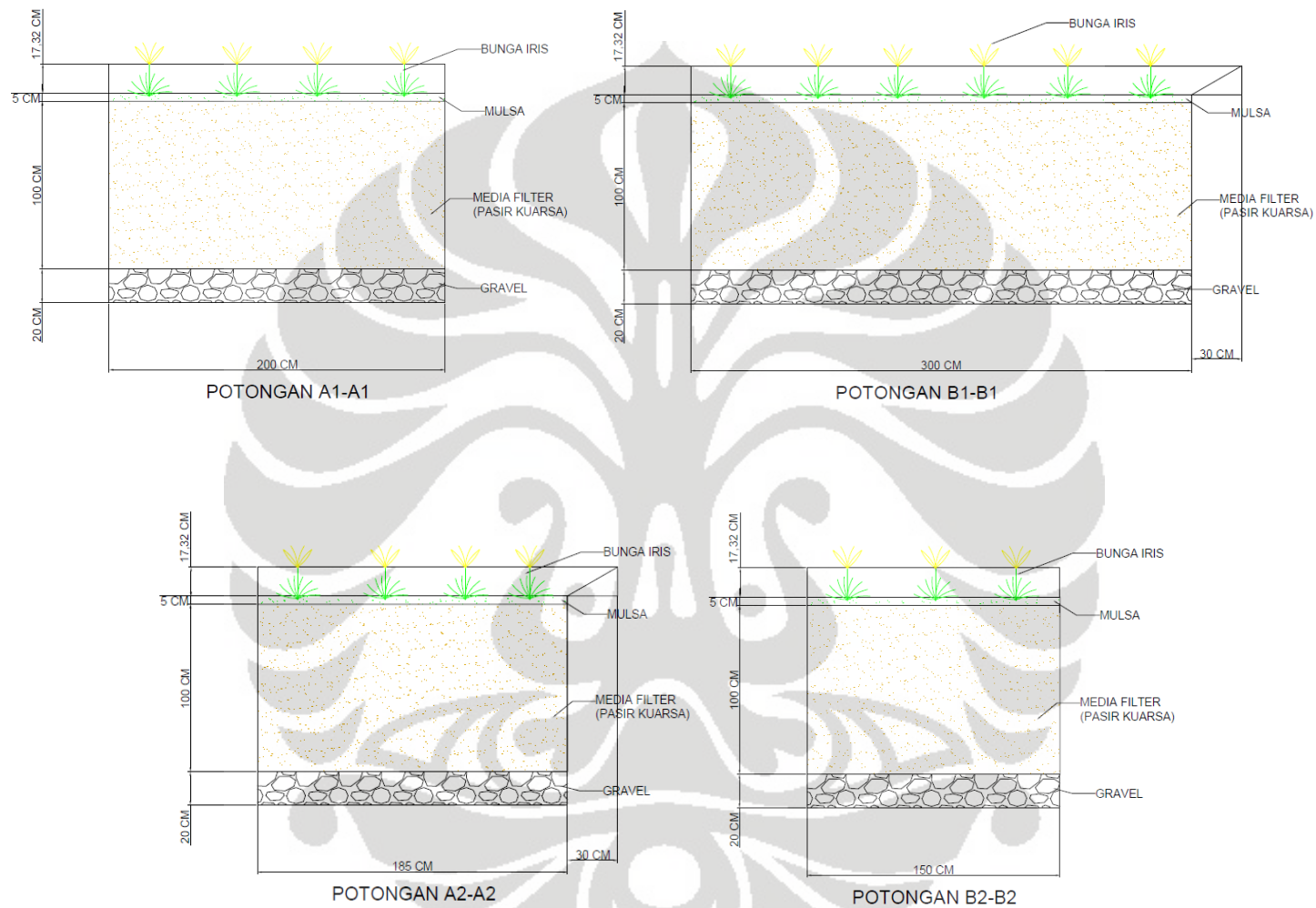
p : panjang (m)

l : lebar (m)



Gambar 4.12 Perencanaan Bioretensi FTUI Pilihan Dua

Sumber: Analisis Penulis (2017)



Gambar 4.13 Potongan Bioretensi Pilihan Dua

Sumber: Analisis Penulis (2017)

BAB 5

PENUTUP

5.1 Kesimpulan

Kesimpulan dari penelitian yang telah dilakukan mengenai pengelolaan limpasan air hujan dari lahan parkir mobil FTUI dengan bioretensi adalah:

1. Limpasan air hujan dari lahan parkir mobil Fakultas Teknik Universitas Indonesia yang berlokasi dekat gedung S dan *Engineering Center* memiliki konsentrasi COD (129 sampai 229 ppm), TSS (89 sampai 189 ppm), dan timbal (Pb) (0.019 sampai 0.08 ppm). Besar konsentrasi parameter tersebut dipengaruhi oleh jumlah kendaraan yang parkir, waktu terjadinya hujan, dan intensitas curah hujan.
2. Pasir kuarsa yang digunakan pada media filter memiliki efisiensi penghilangan logam timbal (Pb) paling besar dibandingkan dengan bioretensi lainnya. Efisiensi terbesarnya adalah 82.5% pada kejadian hujan kedua, dengan rata-rata efisiensi sebesar 71.38%.
3. Tanaman *Iris pseudacorus* pada bioretensi memberikan pengaruh terhadap efisiensi penghilangan logam timbal (Pb). Efisiensi yang terjadi pada bioretensi dengan tanaman *Iris pseudacorus* lebih besar sampai dengan 17.03% dari bioretensi tanpa tanaman pada kejadian hujan keempat. Tanaman *Iris pseudacorus* mampu menyerap logam timbal (Pb) hingga biomasnya sebesar 20.67 mg/kg pada daunnya.

5.2 Saran

Adapun saran yang dapat diberikan dari pemaparan dan kesimpulan yang telah disampaikan dari penelitian skripsi ini:

1. Diperlukan pemilihan lokasi yang lebih baik untuk perletakkan alat bioretensi, agar tidak terjadi gangguan dari daun-daun gugur dari pohon atau pun tetesan air hujan yang dapat mempengaruhi bioretensi.
2. Penelitian dengan menggunakan limpasan air hujan buatan dengan konsentrasi logam yang konstan untuk mendapatkan data efisiensi penghilangan logam lebih akurat. Tanpa adanya kesalahan-kesalahan yang

terjadi di lapangan seperti pengadukan influen kurang homogen, ketidakpastian kejadian hujan, dan jumlah kendaraan yang parkir sehingga memperngaruhi konsentrasi logam pada limpasan air hujan.

3. Dalam menganalisis kualitas limpasan air hujan khususnya logam harus dilakukan dengan kejadian hujan yang lebih banyak, dan intensitas yang bervariasi. Hal ini diharapkan dapat memberikan gambaran kualitas limpasan air hujan yang lebih akurat dan dapat digunakan sebagai acuan untuk melakukan penelitian skala laboraorium dengan limpasan air hujan buatan.
4. Dalam mendapatkan kualitas limpasan air hujan dibutuhkan adanya variable kontrol, seperti kualitas limpasan air hujan pada saat tidak ada kendaraan di lahan parkir.
5. Menggunakan tanaman dengan umur yang optimum dalam menghilangkan logam pada limpasan air hujan, dan mempertimbangkan pertumbuhan tanaman untuk mendapatkan data yang signifikan dalam membandingkan penggunaan tanaman pada bioretensi.

DAFTAR PUSTAKA

- A, K. P. (1983). Shoreline Vegetation in Axe Lake, Ontario: Effects of Exposure on Zonation Patterns. *Ecology*, 331-334.
- A. Osman Akan, Robert J. Houghtalen. (2003). *Urban Hydrology, Hydraulics, and Stormwater Quality: Engineering Applications and Computer Modeling*. New Jersey: John Wiley & Sons Inc.
- Adebola A. Adekunle, John K. Adewumi, Nuhu J. Bello, and Jacob O. Akinyemi. (2012). Stormwater Characteristics on 3rd Mainland Bridge Lagos. *Journal of Applied Technollogy in Environmental Sanitation*, 135-144.
- Allen P. Davis, Robert G. Traver, and William F. Hunt. (2010). Improving Urban Stormwater Quality: Applying Fundamental Principles. *Journal of Contemporary Water Research and Education*, 3-10.
- Allen P. Davis, William F. Hunt, Robert G. Traver, and Michael Clar. (2009). Bioretention Technology: Overview of Current Practice and Future Needs. *Journal of Environmental Engineering*, 109-117.
- Al-Snafi, A. E. (2015). Bioactive Components and Pharmacological Effects of Canna Indica-An Overview. *International Journal of Pharmacology & Toxicology*, 71-75.
- Andersson, F. (2005). *Ecosystem of The World. Coniferous Forests*. Amsterdam: Elsevier.
- Andini. (2015). *Pengaruh Komposisi Media Bioretensi Terhadap Kecepatan Infiltrasi dan Penyisihan Logam Zn Limpasan Air Hujan (Studi Kasus: Lahan Parkir Motor Fakultas Teknik Universitas Indonesia)*. Depok: Universitas Indonesia.
- Asheesh Kumar Yadav, Rouzbeh Abbassi, Naresh Kumar, Santosh Satya, T.R. Sreekrishnan, B.K. Mishra. (2012). The Removal of Heavy Metals in Wetland Microcosms: Effects of Bed Depth, Plant Species, and Metal Mobility. *Chemical Engineering Journal*, 501-507.
- Aurelia Mouret, Pierre Anschutz, Bruno Deflandre, Gwenaelle Chaillou, Christelle Hyacinthe, Jonathan Deborde, Henri Etcheber, Jean-Marie Jouanneau, Antoine Gremare, and Pascal Lecroart. (2010). Oxygen and Organic Carbon Fluxes in Sediments of The Bay of Biscay. *Deep-Sea Research*, 528-540.

- Black, P. E. (1996). *Watershed Hydrology. Second Edition*. New York: Lewis Publishers.
- Bland JM, and Altman DG. (1986). Statistical Methods for Assessing Agreement Between Two Methods of Clinical Measurement. *Lancet*, 307-10.
- Branigan, J. A. (2013). *Development of A Field Test Method for Total Suspended Solids Analysis*. Lincoln: University of Nebraska.
- C. Dasch Houdeshel, Kevin R. Hultine, Nancy Collins Johnson, Christine A. Pomeroy. (2015). Evaluation of Three Vegetation Treatments in Bioretention Gardens in A Semi-Arid Climate. *Landscape and Urban Planning*, 62-72.
- C. Glass & S. Bissouma. (2005). Evaluation of A Parking Lot Bioretention Cell for Removal of Stormwater Pollutants. *WIT Transactions on Ecology and the Environment*, 699-708.
- Chow, V.T., Maidment, D.R. and Mays, L.W. (1988). *Applied Hydrology*. New York: McGraw-Hill.
- D. Michael Revitt, Lian Lundy, Frederic Coulon, and Martin Fairley. (2014). The Sources, Impact and Management of Car Park Runoff Pollution: A Review. *Journal of Environmental Management*, 146: 552-567.
- Daniel Shaw and Rusty Schmidt. (2003). *Plants for Stormwater Design Species Selection for The Upper Midwest*. Saint Paul: Minnesota Pollution Control Agency.
- David B. McWhorter and Daniel K. Sunada . (1977). *Ground Water Hydrology and Hydraulics*. United States: Water Resources Publications, LLC.
- de Rozari P, Greenway M, El Hanandeh A. (2016). Phosphorus Removal from Secondary Sewage and Septage Using Sand Media Amended with Biochar in Constructed Wetland Mesocosms. *Science Total Environmental*, 123-133.
- Depok, P. K. (2015). *Kondisi Demografi*. Depok: Dinas Kominfo Kota Depok.
- Design, W. b. (2014). *Bioretention Technical Design Guidelines*. Brisbane: Healthy Waterways Ltd.
- Dongya Li, Jinquan Wan, Yongwen Ma, Yan Wang, Mingzhi Huang, and Yangmei Chen. (2015). Stormwater Runoff Pollutant Loading Distributions and Their Correlation with Rainfall and Catchment Characteristics in a Rapidly Industrialized City. *Plos One*, 1-17.

- Dr. E. A. Ubuoh, Mr. N. Nwawuikwe, Dr. M. C. Obeta, Mr. D. N. Osujieke. (2014). Environmental Risk Assessment of Heavy Metal Concentrations in Road Runoff with Absorption Atomic Spectrophotometer (AAS), Imo State, Nigeria. *Journal of Environment and Earth Science*, 62-69.
- Dr. Pawan Kumar 'Bharti' M, S. P. (2012). *Heavy Metals in Environment*. Germany: Lambert Academic Publishing.
- E Jequier and F Constant. (2010). Water as an essential nutrient: the physiological basis of hydration. *European Journal of Clinical Nutrition*, 115-123.
- Erica R. McKenzie, Jon E. Money, Peter G. Green, and Thomas M. Young. (2010). Metals Associated with Stormwater-Relevant Brake and Tire Samples. *Sci Total Environmental*, 5855-5860.
- Erin J. Nelson and Derek B. Booth. (2002). Sediment Sources in An Urbanizing, Mixed Land-Use Watershed. *Journal of Hydrology*, 51-68.
- Evasari, J. (2012). *Pemanfaatan Lahan Basah Buatan dengan Menggunakan Tanaman Typha latifolia untuk Mengelola Limbah Cair Domestik*. Depok: Universitas Indonesia.
- Evelyn Riandini, and Alex Hartana. (2015). Keanekaragaman Ganyong di Propinsi Bengkulu. *Floribunda*, 75-81.
- Farkhunda Burke, Salma Hamza, Shahid Naseem, Syed Nawaz-ul-Huda, Muhammad Azam, and Imran Khan. (2016). Impact of Cadmium Polluted Groundwater on Human Health: Winder, Balochistan. *Sage Open*, 1-8.
- Farzad Haghazari, Hassan Shahgholi, and Mehdi Feizi. (2015). Factors Affecting The Infiltration of Agricultural Soils: Review. *International Journal of Agronomy and Agricultural Research*, 21-35.
- Fassman. EA, Simcock. R, Wang. S. (2013). *Media Specification for Stormwater Bioretention Devices*. Auckland: Auckland Council.
- Francisco I. Pugnaire and Fernando Valladares. (2007). *Functional Plant Ecology. Second Edition*. Boca Raton: Taylor & Francis Group.
- Gagan Shah, Richa Shri, Vivek Panchal, Narendra Sharma, Bharpur Singh, and A. S. Mann. (2011). Scientific Basis for The Therapeutic Use of Cymbopogon Citratus, Stapf (Lemon grass). *Journal Advance Pharmaceutical Technology and Research*, 3-8.
- Galloway, J. M. (2008). *Determination of Organic and Inorganic Percentages and Mass of Suspended Material at Four Sites in the Illinois River in*

- Northwestern Arkansas and Northeastern Oklahoma, 2005-07*. Virginia: U.S. Geological Survey Scientific Investigation Report.
- Gary Austin and Kongjian Yu. (2016). *Constructed Wetlands and Sustainable Development*. New York: Routledge.
- Gary W. Coutu and Carmen Vega. (2007). Impacts of Land Use Changes on Runoff Generation in The East Branch of The Brandywine Creek Watershed Using A Gos-Based Hydrologic Model. *Middle States Geographer*, 40:142-149.
- Gerrard, J. (2014). *Fundamentals of Soils*. New York: Routledge.
- Gholami, V. (2013). The Influence of Deforestation on Runoff Generation and Soil Erosion (Case Study: Kasilian Watershed). *Journal of Forest Science*, 272-278.
- Greenleaf, J. E. (1970). *Human Acclimation and Acclimatization to Heat. A Compendium of Research*. California: National Aeronautics and Space Administration.
- Hanif Almaditya dan Yuniati Zevi. (2012). KARAKTERISASI LIMPASAN AIR HUJAN PERKOTAAN DIBANDUNG DALAM UPAYA AWAL REVITALISASI AIR TANAH. *Institut Tekonolgi Bandung*, 1-11.
- Hariprasad N. V and Dayananda H. S. (2013). Environmental Impact due to Agricultural Runoff Containing Heavy Metals. *International Journal of Scientific and Research Publications*, 1-6.
- Haug, R. T. (1993). *The Practical Handbook of Compost Engineering*. Florida: CRC Press.
- Heathcote, I. W. (2009). *Integrated Watershed Management: Principles and Practice*. New Jersey: John Wiley & Sons, Inc.
- Hide, J. C. (1953). Observations on Factors Influencing the Evaporation of Soil Moisture. *Soil Science Society of America Journal*, 234-239.
- Hinman, C. (2005). *LOW IMPACT DEVELOPMENT Technical Guidance Manual for Puget Sound*. Olympia: Puget Sound Action Team and Washington State University Pierce County Extension.
- Husna Takaijudin, Aminuddin Ab. Ghani, Nor Azazi Zakaria, and H.Md Azamathulla. (2014). Preliminary Study on The Impacts of Variation Engineered Soil Composition in Bioretention on Hydraulic Performance. *River Engineering and Urban Drainage Research*, 1-9.

- I.M. Broodie and P.K. Dunn. (2006). *Suspended Particle Characteristics in Storm Runoff from Urban Impervious Surfaces*, Ph. D. Thesis, Faculty of Engineering and Surveying. Toowoomba: University of Southern Queensland.
- Indira Priya Darsini, S. Shamshad and M. John Paul. (2015). Canna Indica (L.): A Plant With Potential Healing Powers: A Review. *International Journal of Pharma and Bio Sciences*, 1-8.
- Ir. Nusa Idaman Said, M. A. (2014). In M. A. Ir. Nusa Idaman Said, *Pengisian Air Tanah Buatan, Pemanenan Air Hujan dan Teknologi Pengolahan Air Hujan "Studi Kasus Kota Depok"* (pp. 24-35). Jakarta: Badan Pengkajian dan Penerapan Teknologi.
- Jan Hauke and Tomasz Kossowski. (2011). Comparison of Values of Pearson's and Spearman's Correlation Coefficients on The Same Sets of Data. *Quaestiones Geographicae*, 87-93.
- Järup, L. (2003). Hazards of Heavy Metal Contamination. *British Medical Bulletin*, 167-182.
- Jia Liu, David J. Sample, Cameron Bell, and Yuntao Guan. (2014). Review and Research Needs of Bioretention Used for the Treatment of Urban Stormwater. *Water*, 1069-1099.
- Jianlong Wang, Pingping Zhang, Liqiong Yang, and Tao Huang. (2016). Cadmium removal from urban stormwater runoff via bioretention technology and effluent risk assessment for discharge to surface water. *Journal of Contaminant Hydrology*, Volume 185: 42-50.
- Jimmy Prawira, Tengku Said Raza'i, dan Nancy Willian. (2015). Efektivitas Sistem Lahan Basah Buatan Sebagai Alternatif Pengolahan Limbah DOMestik Menggunakan Tanaman Hias Iris pseudoacorus. *Universitas Maritim Raja Ali Haji*, 1-15.
- Joanne M. Willey, Linda M. Sherwood, and Christopher J. Woolverton. (2008). *Prescott, Harley, and Klein's Microbiology Seventh Edition*. Avenue: McGraw-Hill.
- Jurik, T. W., S. C. Wang, and, A. G. van der Valk,. (1994). Effects of Sediment Load on Seedling Emergence from Wetland Seed Banks. *Wetlands*, 159-165.
- K, E. (1996). Tolerance of Four Wetland Plant Species to Flooding and Sediment Deposition. *Environmental and Experimental Botany*, 131-146.

- Kim H. Paus and Bent C. Braskerud. (2014). Suggestions for Designing and Constructing Bioretention Cells for A Nordic Climate. *Journal of Water Management and Research*, 139-150.
- Kim, T. K. (2015). T Test as A Parametric Statistic. *Korean Journal Anesthesiol*, 540-546.
- Krishna R. Reddy, Tao Xie, Sara Dastgheibi. (2014). Removal of Heavy Metals from Urban Stormwater Runoff Using Different Filter Materials. *Journal of Environmental Chemical Engineering*, 282-292.
- Kristen S. Veum, Keith W. Goyne, Peter P. Motavalli, and Ranjith P. Udawatta. (2009). Runoff and Dissolved Organic Carbon Loss from A Paired-Watershed Study of Three Adjacent Agricultural Watersheds. *Elsevier*, 115-122.
- Larry A. Roesner, Ben R. Urbonas, and William C. (1992). *Design and Construction of Urban Stormwater Management Systems*. Alexandria: American Society of Civil Engineers and Water Environment Federation.
- Larry A. Roesner, Ben R. Urbonas, and William C. Pisano. (1998). *Urban Runoff Quality Management*. Reston: Water Environment Federation and American Society of Civil Engineers.
- Lesbani, A. (2011). Studi Interaksi Vanadium dan Nikel dengan Pasir Kuarsa. *Jurnal Penelitian Sains*, 43-46.
- Lian Scholes, D. Michael Revitt, and J. Bryan Ellis. (2008). A systematic approach for the comparative assessment of stormwater pollutant removal potentials. *Journal of Environmental Management*, 467-478.
- M. J. McCorry and Florence Renou. (2003). *Ecology and management of Juncus effusus (soft rush) on cutaway peatlands*. Dublin: Department of Environmental Resource Management, University College Dublin.
- Mangangka, I. R. (2013). *Role of Hydraulic Factors in Constructed Wetland and Bioretention Basin Treatment Performance*, Ph.D. Thesis Of Civi Engineering. Brisbane: QUEENSLAND UNIVERSITY OF TECHNOLOGY.
- Manual, M. S. (2014). *Design Criteria for Bioretention*. Minnesota: Minnesota Pollution Control Agency.
- Manual, M. S. (2017). *Total Suspended Solids (TSS) in Stormwater*. Minnesota: Minnesota Pollution Control Agency.

- Manuel, J. (2014). Nutrient Pollution: A Persistent Threat to Waterways. *Environmental Health Perspectives*, 305-309.
- Marla Maniquiz-Redillas, Lee-Hyung Kim. (2014). Fractionation of Heavy Metals in Runoff and Discharge of A Stormwater Management System and Its Implications for Treatment. *Journal of Environmental Sciences*, 1214-1222.
- Mary West, Melissa Wenzel, Brian Schwieiss. (2015). Industrial Stormwater - Best Management Practices Guidebook. In M. W. Mary West, *Industrial Stormwater - Best Management Practices Guidebook* (pp. 1-67). Saint Paul: Minnesota Pollution Control Agency.
- Maser, J. (1998). *Juncus effusus - Soft Rush*. Portland: Portland State University.
- Mayasari. (2014). *Analisis Kualitas Air Hujan dan Limpasan Melalui Media Green Roof di Kampus Ipb Darmaga, Bogor*. Bogor: Intitut Pertanian Bogor.
- Mays, L. W. (2010). *Water Resources Engineering*. Arizona: John Willey & Sons.
- Mengzhi CHEN, Yingying TANG, Xianpo LI, Zhaoxiang YU . (2009). Study on The Heavy Metals Removal Efficiencies of Constructed Wetlands with Different Substrates . *Journal Water Resource and Protection*, 22-28.
- Meriem Laghlimi, Bouamar Baghdad, Hassan El Hadi, Abdelhak Bouabdli. (2015). Phytoremediation Mechanisms of Heavy Metal Contaminated Soils: A Review. *Journal of Ecology*, 375-388.
- Muhammad Sulthoni A.D.N, Badruzsaufari, Fadly H. Yusran, Eny Dwi Pujawati. (2014). Kemampuan Tanaman Ekor Kucing dan Purun Tikus dalam Penurunan Konsentrasi Fe dan Mn dari Air Limbah PIT Barat PT Pamapersada Nusantara Distrik KCMB Kabupaten Banjar. *EnviroScienceae*, 80-87.
- Mukaka, M. M. (2012). Statistics Corner: A Guide to Appropriate Use of Correlation Coefficient in Medical Research. *Malawi Medical Journal*, 69-71.
- Muthanna, T. M. (2007). *Bioretention as A Sustainable Stormwater Management Option in Cold Climates, Ph.D. Thesis of Civi Engineering*. Trondheim: Norwegian University of Science and Technology.
- Myung Hee Kim, Chan Yong Sung, Ming-Han Li, and Kung-Hui Chu. (2012). Bioretention for Stormwater Quality Improvement in Texas: Removal Effectiveness of Escherichia coli. *Separation and Purification Technology*, 120-124.

- Nandang Priyanto, Dwiyoitno, dan Farida Ariyani. (2008). Kandungan Logam Berat (Hg, Pb, Cd, Dan Cu) pada Ikan, Air, dan Sedimen di Waduk Cirata, Jawa Barat. *Jurnal Pascapanen dan Bioteknologi Kelautan dan Perikanan*, 69-78.
- Nasional, B. S. (2004). *SNI 06-6989.3-2004, Air dan Air Limbah- Bagian 3: Cara Uji Padatan Tersuspensi Total (Total Suspended Solid, TSS) secara gravimetri*. Indonesia: Standar Nasional Indonesia.
- Nicole David, Jon E. Leatherbarrow, Donald Yee, and Lester J. McKee. (2014). Removal Efficiencies of a Bioretention System for Trace Metals, PCBs, PAHs, and Dioxins in a Semiarid Environment. *American Society of Civil Engineers*, 1-8.
- Nurul Faradilah Said dan Nurul Widiastuti. (2008). Adsorpsi Cu (II) pada Zeolit A yang Disintesis dari Abu Dasar Batu Bara PT Ipmomi Paiton. *JURNAL ZEOLIT INDONESIA*, 1-11.
- Omayma E. Ahmed, Nabila A. Ali, Sawsan A. Mahmoud and Mamdouh M. Doheim. (2014). Environmental Assessment of Contamination by Petroleum Hydrocarbons in The Aquatic Species of Suez Gulf. *International Journal of Modern Organic Chemistry*, 1-17.
- P. Göbel, C. Dierkes, and W. G. Coldewey. (2007). Storm Water Runoff Concentration Matrix for Urban Areas. *Journal of Contaminant Hydrology*, 26-42.
- P. Servais, A. Barillier, and J. Garnier. (1995). Détermination of The Biodegradable Fraction of Dissolved and Particulate Organic Carbon in Waters. *Annls Limnol.*, 75-80.
- Parul Sharma and Sonali Pandey. (2014). Status of Phytoremediation in World Scenario. *International Journal of Environmental Bioremediation & Biodegradation*, 178-191.
- Peter A. Gwaski, Stephen S. Hati, Naomi P. Ndahi, and Victor O. Ogugbuaja. (2013). Modeling Parameters of Oxygen Demand in the Aquatic environment of Lake Chad for Depletion Estimation. *ARPJ Journal of Science and Technology*, 116-123.
- Prince George's County, M. (. (2007). *The Bioretention Manual*. Maryland: Dept. of Environmental Resources, Prince George's County, Md.
- Rajni Singh and S. Mary Celin. (2010). Biodegradation of BTEX (Benzene, Toluene, Ethyl Benzene and Xylene) Compounds by Bacterial Strain under Aerobic Conditions. *Journal of Ecobiotechnology*, 27-32.

- Reena Singh, Neetu Gautam, Anurag Mishra, and Rajiv Gupta. (2011). Heavy metals and living systems: An overview. *Indian Journal of Pharmacology*, 246-253.
- Research, V. W. (2013). *VIRGINIA DCR STORMWATER Design Specification No. 9 Bioretention*. Blacksburg: Virginia Polytechnic Institute and State University.
- Rizka Ayu Amelia, Fida Rachmadiarti, Yuliani. (2015). Analisis Kadar Logam Berat Pb dan Pertumbuhan Tanaman Padi di Area Persawahan Dusun Betas, Desa Kapulungan, Gempol-Pasuruan. *Lentera Bio*, 187-191.
- S. Lloyd and T. Wong. (2007). Paired Catchment Storm Event Monitoring: Assessing The Performance of A Bioretention System (Rain Gardens). *International Rainwater Catchment Systems Association*, 1-8.
- S.P.Malu, C.A.Edem and B.I.Ita. (2015). CHEMICAL CHARACTERIZATION OF SILICA SAND DEPOSIT FROM RIVER KATSINA, NORTH CENTRAL REGION OF NIGERIA. *Global Journal of Pure and Applied Chemistry Research*, 26-40.
- Saadu, R. O., Abdulrahman, A. A. and Oladele, F. A. (2009). Stomatal Complex Types and Transpiration Rates in Some Tropical Tuber Species. *African Journal of Plant Science*, 107-112.
- Septiana Kurnia Sari, Drs. Unggul P. Juswono, M.Sc., Chomsin S. Widodo, Ph.D. (2014). PENGUKURAN EFEKTIVITAS TANAMAN BAYAM (*Amaranthus* sp.) DALAM PENYERAPAN LOGAM TIMBAL (Pb) PADA LAHAN TPA SUPIT URANG, MALANG. *Physics Student Journal*, 1-3.
- Sinha, R. (2009). Earthworms Vermicompost: A Powerful Crop Nutrient over the Conventional Compost & Protective Soil Conditioner against the Destructive Chemical Fertilizers for Food Safety and Security. *American-Eurasian Journal of Agricultural & Environmental Sciences*, 1-55.
- Sinha, R. K. (2004). *Modern Plant Physiology*. Pangbourne: Alpha Science International Ltd.
- Skorobogatov, A. (2014). *Hydrological Functionality of Plants and Its Application to Stormwater Management*. Calgary, Canada: UNIVERSITY OF CALGARY.
- Snowden (nee Cook), R. E. D., and B. D. Wheeler,. (1993). Iron Toxicity to Fen Plant Species. *Journal of Ecology*, 35-46.

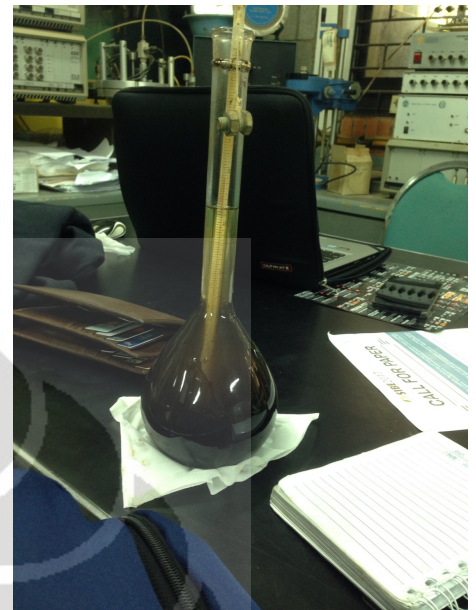
- Statistik, B. P. (2010). *Statistik Indonesia*. Jakarta: Badan Pusat Statistik.
- Statistik, B. P. (2015). *Statistik Transportasi DKI Jakarta*. Jakarta: Badan Pusat Statistik.
- Supradata. (2005). *Pengolahan Limbah Domestik Menggunakan Tanaman Hias Cyperus alternifolius, L. dalam Sistem Lahan Basah Buatan Aliran Bawah Permukaan*. Semarang: Universitas Diponegoro.
- Susilowati dan Tima Santita N.R. (2006). Analisis Perubahan Tata Guna Lahan dan Koefisien Limpasan Terhadap Debit Drainase Perkotaan. *Media Teknik Sipil*, 27-34.
- Sutherland, W. J. (1990). Biological Flora of British Isles. *Journal of Ecology*, 833-848.
- Sutopo, P. N. (2008). Analisis Kualitas Air Danau Kaskade Sebagai Sumber Imbuhan Waduk. *Jurnal Sains dan Teknologi Indonesia*, 99-105.
- T. N. Gontova and O. A. Zatylnikova. (2013). Comparative Morphological and Anatomical Study of Leaves and Stems of Iris Pseudacorus and Iris Sibirica. *International Journal of Pharmacy and Pharmaceutical Sciences*, 574-578.
- Teknologi, B. P. (2011). *BAB 3 Analisa Kebutuhan Air Bersih dan Potensi Air Hujan Di Wilayah Kota Depok*. Depok: Kelompok Teknologi Pengelolaan Air Bersih dan Limbah Cair.
- Thavatchai Vorapongsathorn, Sineenart Taejaroenkul, and Chukiat Viwatwongkasem. (2004). A comparison of Type I Error and Power of Bartlett's Test, Levene's Test and Cochran's Test. *Journal Science Technology*, 537-547.
- Todd Pagano, Morgan Bida and Jonathan E. Kenny. (2014). Trends in Levels of Allochthonous Dissolved Organic Carbon in Natural Water: A Review of Potential Mechanisms under a Changing Climate. *Water*, 2862-2897.
- Tuti Budiwati, Afif Budiyo, Wiwiek Setyawati, dan Asri Indrawati. (2010). Analisis Korelasi Pearson untuk Unsur-Unsur Kimia Air Hujan Di Bandung. *Jurnal Sains Dirgantara*, 100-112.
- University, N. C. (2009). *Low Impact Development A Guidebook for North Carolina*. North Carolina: North Carolina Cooperative Extension.
- USEPA. (1999). *Chapter 4 (Environmental Assessment) from EPA's Preliminary Data Summary of Urban Stormwater Best Management Practice*. United States: Environmental Protection Agency.

- USEPA. (2012). *Benefits of Low Impact Development*. Washington: United States Environmental Protection Agency .
- W. F. Hunt, A. R. Jarrett, J. T. Smith, L. J. Sharkey. (2006). Evaluating Bioretention Hydrology and Nutrient Removal at Three Field Sites in North Carolina. *Journal of Irrigation Drainage Engineering*, 600-608.
- W. Tanner and H. Beevers. (2001). Transpiration, A Prerequisite for Long-Distance Transport of Minerals in Plants? *Proceedings of The National cademy of Science of The United States of America*, 9443-9447.
- Wallace, Atwell M. and Stout, Norman B. (1962). Transpiration Rates Under Controlled Environment: Species, Humidity, and Available Water As Variables. *The Ohio Journal of Science*, 18-26.
- Water, M. (2005). *WSUD Engineering Procedures: Stormwater: Stormwater*. Collingwood VIC: Csiro Publishing.
- Waugh, D. (2000). *Geography: An Integrated Approach*. Cheltenham: Nelson Thornes.
- Wijayanto. (2008). *Analisis Korelasi Product Moment Pearson*. Semarang: Universitas Diponegoro.
- William C. Lyons, Gary J Plisga, BS. (2011). *Standard Handbook of Petroleum and Natural Gas Engineering*. Burlington: Gulf Professional Publishing.
- Yaser Shammaa and David Z. Zhu. (2001). Techniques for Controlling Total Suspended Solids in Stormwater Runoff. *Canadian Water Resources Journal*, 359-275.
- Yunn-Jinn Wang, Chi-Feng Chen, and Jen-Yang Lin. (2013). The Measurement of Dry Deposition and Surface Runoff to Quantify Urban Road Pollution in Taipei, Taiwan. *Environmental Research and Public Health*, 10(10): 5130–5145.

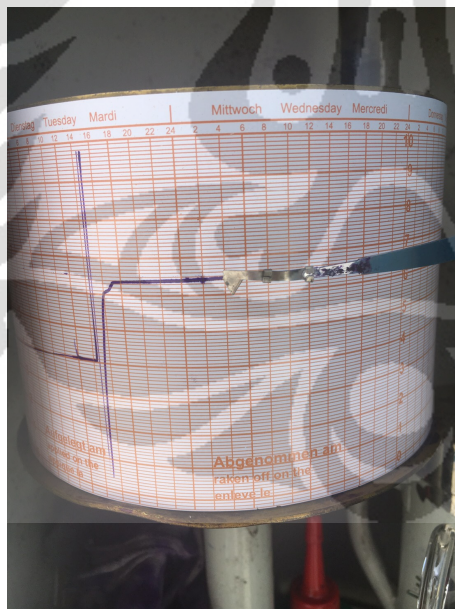
LAMPIRAN



Pemanasan untuk Pengujian *Specific Gravity*



Pembacaan *Specific Gravity*



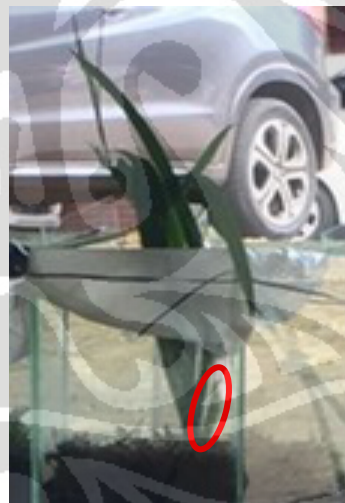
Pembacaan Intensitas Hujan di Stasiun Hujan
FTUI



Proses Destruksi Sampel



Reservoir Penampung Limpasan Air Hujan



Daun Baru Tumbuh Saat Aklimatisasi

Alat dan Bahan Bioretensi

A. Alat

1. Cangkul (1 buah)
2. Sekop (1 buah)
3. Baskom
4. Karung
5. Reaktor akrilik (3 buah)
6. Bak penampung 450 liter (1 buah)
7. Kerangka bak penampung (1 buah)
8. Pompa submersible (1 buah)
9. Aliran listrik
10. Pipa PVC
11. Stop kran (3 buah)
12. Gergaji (1 buah)
13. Lem keran (1 buah)
14. Lem kaca (1 buah)

B. Bahan

1. Kompos
2. Tanah
3. Pasir
4. Gravel
5. Mulsa
6. Limpasan air hujan

Bagian Tanaman	Biomassa Pb (mg/kg)	
	Bioretensi 1	Bioretensi 2
Akar	10.21	13.79
Daun	15.18	20.67

Media Filter	SG
Pasir Hitam	2.5347
Pasir Kuarsa	2.616
Tanah	2.675
Kompos	2.0518

Running	Tanggal Hujan	Intensitas (mm/hari)	Aspal (m ³ /hari)	Konblok (m ³ /hari)	Debit (liter/menit)
1	Kamis 16 Maret	30	3.18	1.39	3.1825
2	Kamis 23 Maret	180	1.91	8.38	19.095
3	Jumat 24 Maret	23	2.44	1.07	2.4399
4	Senin 3 April	133	14.12	6.19	14.109
5	Selasa 4 April	118	12.53	5.49	12.518
6	Kamis 13 April	47	4.99	2.18	4.986

Running	Tanggal Hujan	Konsentrasi (ppm)			Jumlah Mobil
		Influen (Pb)	COD	TSS	
1	Kamis 16 Maret	0.067	179	127	N/A
2	Kamis 23 Maret	0.08	229	118	63
3	Jumat 24 Maret	0.024	192	121	17
4	Senin 3 April	0.047	217	189	41
5	Selasa 4 April	0.039	186	147	57
6	Kamis 13 April	0.019	129	89	24
Standar Deviasi		0.023	34.93	33.66	17.74
Minimum		0.019	129	89	17
Maksimum		0.08	229	189	63
Rata-rata		0.046	188.67	131.83	36.4

Bioretensi 1				
Running	Tanggal Hujan	Konsentrasi (ppm)		Efisiensi
		Influen (Pb)	Efluen (Pb)	
1	Kamis 16 Maret	0.067	0.021	68.66%
2	Kamis 23 Maret	0.08	0.019	76.25%
3	Jumat 24 Maret	0.024	0.014	41.67%
4	Senin 3 April	0.047	0.025	46.81%

Bioretensi 1				
Running	Tanggal Hujan	Konsentrasi (ppm)		Efisiensi
		Influen (Pb)	Efluen (Pb)	
5	Selasa 4 April	0.039	0.013	66.67%
6	Kamis 13 April	0.019	0.012	36.84%
Standar Deviasi		0.023	0.005	15.57%
Minimum		0.019	0.012	36.84%
Maksimum		0.08	0.025	76.25%
Rata-rata		0.046	0.017	54.44%
Bioretensi 2				
Running	Tanggal Hujan	Konsentrasi (ppm)		Efisiensi
		Influen (Pb)	Efluen (Pb)	
1	Kamis 16 Maret	0.067	0.015	77.61%
2	Kamis 23 Maret	0.08	0.014	82.50%
3	Jumat 24 Maret	0.024	0.013	45.83%
4	Senin 3 April	0.047	0.011	76.60%
5	Selasa 4 April	0.039	0.010	74.36%
6	Kamis 13 April	0.019	<0.010	>47.37%
Standar Deviasi		0.023	0.002	16.40%
Minimum		0.019	0.010	45.83%
Maksimum		0.08	0.015	82.50%
Rata-rata		0.046	0.012	71.38%
Bioretensi 3				
Running	Tanggal Hujan	Konsentrasi (ppm)		Efisiensi
		Influen (Pb)	Efluen (Pb)	
1	Kamis 16 Maret	0.067	0.019	71.64%
2	Kamis 23 Maret	0.08	0.021	73.75%
3	Jumat 24 Maret	0.024	0.012	50.00%
4	Senin 3 April	0.047	0.019	59.57%
5	Selasa 4 April	0.039	0.015	61.54%
6	Kamis 13 April	0.019	0.010	47.37%
Standar Deviasi		0.023	0.004	10.80%
Minimum		0.019	0.010	47.37%
Maksimum		0.08	0.021	73.75%
Rata-rata		0.046	0.016	60.65%