



JURNAL

Jurusan Teknik Lingkungan - Fakultas Teknik Sipil dan Perencanaan
UNIVERSITAS ISLAM INDONESIA



SAINS & TEKNOLOGI LINGKUNGAN



9 772085 122007

Jurnal Saintek
Lingkungan UII

Vol.12

No.2

Hal.
84 -161

Yogyakarta
Juni 2020

ISSN
2085-1227



Published by Department of Environmental Engineering

ISSN 2085-1227 (print) | ISSN 2502-6119 (online)

EDITORIAL TEAM

EDITOR IN CHIEF

Eko Siswoyo, Ph.D., Universitas Islam Indonesia, Indonesia

EDITORIAL BOARD/REVIEWER

Dr. Nur Aini Iswati Hasanah, S.T., M.Si	Universitas Islam Indonesia, Indonesia
Dr. Is Fatimah	Universitas Islam Indonesia, Indonesia
Dr.-Ing. Ir. Widodo Brontowiyono, M.Sc	Universitas Islam Indonesia, Indonesia
Dr. Ir. Kasam, MT	Universitas Islam Indonesia, Indonesia
Dr. Joni Aldilla Fajri	Universitas Islam Indonesia, Indonesia
Dr. Suphia Rahmawati	Universitas Islam Indonesia, Indonesia
Dr. Hijrah Purnama Putra	Universitas Islam Indonesia, Indonesia
Annisa Nur Lathifah, Ph.D	Universitas Islam Indonesia, Indonesia
Dewi Wulandari, Ph.D	Universitas Islam Indonesia, Indonesia
Puji Lestari, M.Sc.	Universitas Islam Indonesia, Indonesia
Prof. Joni Hermana, Ph.D	Institut Teknologi Sepuluh Nopember, Indonesia
Arseto Yekti Bagastyo, Ph.D.	Institut Teknologi Sepuluh Nopember, Indonesia
Ervin Nurhayati, Ph.D.	Institut Teknologi Sepuluh Nopember, Indonesia
Bieby Voijant Tangahu, Ph.D.	Institut Teknologi Sepuluh Nopember, Indonesia
Dr. Arie Dipareza Syafei	Institut Teknologi Sepuluh Nopember, Indonesia
Erik Prasetyo, Ph.D.	Indonesian Institute of Sciences, Indonesia
Prof. Shunitz Tanaka, Ph.D	Hokkaido University, Japan
Prof. Thomas Boving, Ph.D.	University of Rhode Island, USA
Prof. Tsair Fuh-Lin, Ph.D.	National Cheng Kung University, Taiwan



Published by Department of Environmental Engineering

ISSN 2085-1227 (print) | ISSN 2502-6119 (online)

PUBLISHER

Department of Environmental Engineering, Universitas Islam Indonesia

ABOUT JOURNAL

Jurnal Sains & Teknologi Lingkungan (JSTL) published twice a year in January and June is a scientific journal that publishes scientific research papers and ideas in the field of science and technology related to environmental issues. JSTL only accepts original scientific works that have not been published by other medias. All incoming articles will be reviewed in advance by competent reviewers before being eligible for publication.

SCOPE OF JOURNAL

The scope of the journal emphasis but not limited to **Environmental Science and Technology**, i.e., drinking water treatment, wastewater treatment, solid waste treatment, solid waste management, cleaner production, air pollution management, resource recovery, water pollution, soil contamination, and other relevant fields.

PLAGIARISM CHECK

Plagiarism screening will be conducted by JSTL Editorial Board using Turnitin.

REFERENCE MANAGEMENT

Every article submitted to JSTL shall use Mendeley as reference management software.

ONLINE SUBMISSION

If you already have a Username/Password for JSTL, go to login at: <http://journal.uii.ac.id/JSTL/login>

Need a Username/Password? Go to registration at: <http://journal.uii.ac.id/JSTL/user/register>

Registration and login are required to submit items online and to check the current submission status.

ARTICLE PROCESSING CHARGE

Every article submitted to JSTL will not have any Article Processing Charges. This

includes submission, peer-reviewing, editing, publishing, maintaining and archiving, and allows

immediate access to the full text versions of the articles.



TABLE OF CONTENT

KARAKTERISTIK AKUIFER AIRTANAH DANGKAL DI ENDAPAN MUDA MERAPI YOGYAKARTA Erik Febriarta, Ajeng Larasati, Ajeng Larasati	84-99
POTENSI PENERAPAN KONSERVASI AIR PADA GEDUNG DEKANAT UNIVERSITAS X Shinta Ayu Afrhiani, Kancitra Pharmawati, Andindito Nurprabowo	90-109
PENURUNAN LOGAM Fe PADA PENGOLAHAN LUMPUR LIMBAH MENGGUNAKAN CACING LUMBRICULUS sp. Rodu Dhuha Afrianisa	110-120
VALUASI EKONOMI DEGRADASI LINGKUNGAN AKIBAT ALIH FUNGSI LAHAN DI KOTA MALANG, PROVINSI JAWA TIMUR Dian Hudawan Santoso, Ma'ruf Nurumudin	121-130
A BRIEF OF REVIEW OF EMS IMPLEMENTATION IN UNIVERSITY CAMPUS Filson Maratur Sidjabat, Riri Asyahira Sariati Syah, Michelle Natasya Gunawan	131-145
ANALISIS LIMPASAN PERMUKAAN DI SEKITAR KAMPUS UNIVERSITAS MUHAMMADIYAH SORONG KOTA SORONG Anif Farida, Vrita Tri Aryuni	146-161

KARAKTERISTIK AKUIFER AIR TANAH DANGKAL DI ENDAPAN MUDA MERAPI YOGYAKARTA

Erik Febriarta¹⁾, Ajeng Larasati^{2),3)}

¹⁾Magister Teknik Sipil Fakultas Teknik, Universitas Janabadra

²⁾Magister Pengelolaan Pesisir Daerah Aliran Sungai, Fakultas Geografi, Universitas Gadjadara

³⁾Palawa Karya, Yogyakarta

E-mail: e.febriarta@gmail.com

Abstrak

Peran air tanah semakin lama semakin penting dan strategis karena menyangkut kebutuhan dasar hajat hidup orang banyak dalam berbagai aktivitas masyarakat. Pemanfaatan air tanah dalam suatu cekungan air tanah perlu mempertimbangkan potensi yang terkandung dalam suatu cekungan tersebut, agar pemanfaatannya dapat dilakukan secara optimal dan berkelanjutan. Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui 1) laju pergerakan tanah atau keterusan air tanah, 2) nilai kemampuan batuan meluuskan air di dalam rongga batuan, dan 3) pengaruh jari-jari pemompaan. Nilai uji pompa (pumping test) merupakan salah satu teknik yang dilakukan untuk mengetahui karakteristik akuifer. Lokasi uji pompa (pumping test) berada di Kecamatan Sewon Kabupaten Bantul, secara litologi adalah material lepas berupa pasir hasil pengendapan aktivitas Gunungapi Merapi, yang secara morfologi berada di kaki Gunungapi Merapi, yang secara hidrogeologi termasuk pada zona lepasan air tanah atau daerah discharge. Metode yang digunakan untuk mengetahui parameter akuifer adalah pemompaan periode pendek dengan pendekatan perhitungan Theis dan Cooper-Jacob. Hasil pemompaan menunjukkan karakteristik hasil transmivitas (T) rata-rata adalah $1048,6 \text{ m}^2/\text{hari}$ dan nilai rata-rata konduktivitas hidrolis (K) adalah $679,8 \text{ m}/\text{hari}$. Berdasarkan karakteristik tersebut, potensi jari-jari pengaruh pemompaan sebesar $17,67 \text{ m}$.

Kata Kunci : Air tanah, Akuifer, Konduktivitas Hidrolis, Transmivitas, Uji pompa

Abstract

The role of groundwater has become increasingly important and strategic because it involves the basic needs of the lives of many people in various activities. To be able to utilize groundwater in a groundwater basin optimally and sustainably, the potential contained in the basin itself needs to be considered. This study aimed to determine 1) the rate of groundwater movement or groundwater continuity, 2) the ability of rocks to allow water to flow through their pores, and 3) the pumping radius of influence. The pumping test was one of the techniques employed to determine the characteristics of the aquifer. It was carried out in Sewon District, Bantul Regency, which represented specific lithological, morphological, and hydrogeological features. Morphologically, the test site was at the foot of Merapi Volcano and, lithologically, in loose materials, i.e., sands from the sedimentation activity of the volcano. Meanwhile, hydrogeologically, it was part of the groundwater discharge zone. The method used to identify the aquifer parameters was short-period pumping with the Theis and Cooper-Jacob approaches for the calculation. The pumping test results showed an average transmissivity (T) of $1048.6 \text{ m}^2/\text{day}$ and an average hydraulic conductivity (K) of $679.8 \text{ m}/\text{day}$. Based on these characteristics, the pumping radius of influence was potentially 17.67 m .

Keywords: Aquifer, Groundwater, Hydraulic Conductivity, Pumping Test, Transmissivity

1. PENDAHULUAN

Kebutuhan air bersih merupakan kebutuhan dasar setiap pemenuhan kebutuhan hidup dan kegiatan domestik secara lokal (Harjito, 2014). Pengambilan air bersih dari sumur gali maupun

Dikirim/submitted: 4 Mei 2020

Diterima/accepted: 18 Mei 2020

sumur bor merupakan sumber air yang diperoleh secara lokal tanpa membeli, misalkan jaringan air bersih dari perusahaan air minum (PAM). Air permukaan dan air tanah yang umumnya sering dimanfaatkan, walaupun pemanfaatan air tanah (*groundwater*) belum optimal dibandingkan air permukaan (*surface water*) (Santosa dan Adji, 2014). Hal ini dikarenakan air permukaan lebih mudah diperoleh dan dimanfaatkan. Akan tetapi, bila dilihat dari distribusi air di bumi tersebut maka air tanah memiliki potensi pemanfaatan yang sangat besar. Potensi atau kemampuan air tanah dapat dimanfaatkan dengan cara dipompa mempunyai batasan tertentu berdasarkan karakteristik akuifer dari kondisi hidrogeologi regional (Sutardi dkk., 2018; Anam dan Adji, 2018). Secara umum tipe air tanah di atas endapan Merapi muda adalah tipe akuifer bebas dengan material penyusun pasir. Pengukuran parameter akuifer diperlukan untuk mengetahui potensi kemampuan maksimum air tanah dalam pemanfaatan air tanah untuk pemenuhan kebutuhan air bersih (Iskandar dan Adji, 2017).

Kuantitas air tanah yang ada pada satu daerah sangat berkaitan dengan sistem dan karakteristik akuifer bahan penyusunnya diantaranya adalah kapasitas jenis dan transmivitas (Setiawan dan Asgaf, 2016). Parameter akuifer untuk mengetahui potensi air tanah antara lain, yaitu ; nilai K (Permeabilitas / kelulusan), nilai T (Transmivitas / keterusan), nilai S (koefisien simpanan), dan nilai r (Jarak pengaruh pemompaan) (Bouwer, 1978). Untuk mendapatkan nilai parameter akuifer tersebut dilakukan uji pemompaan air tanah dari sumur warga dengan waktu yang pendek (*short period*) dengan mempertimbangkan secara kondisi hidrogeologi regional merupakan akuifer bebas dengan material pasir sehingga respon dari akuifer dapat diketahui dengan sampel waktu yang pendek, misal pemompaan 1-4 jam (Febriarta, 2015 dan Fetter, 2004). Uji pemompaan ini merupakan suatu metode yang dapat digunakan secara luas untuk mengetahui karakteristik teknis akuifer (Prakoso dkk., 2014). Metode yang digunakan untuk analisis perhitungan parameter akuifer adalah pendekatan perhitungan Cooper-Jacob untuk data penurunan atau pemompaan air tanah dan perhitungan Theis untuk data kenaikan atau nilai pulih tinggi muka air tanah setelah pemompaan (Fetter, 2004 ;Todd dan Mays, 2005). Berdasarkan latar belakang tersebut, maka tujuan dari penelitian ini adalah menentukan potensi akuifer bebas dilihat dari nilai kelulusan dan keterusan di satuan endapan Merapi muda.

2. METODE PENELITIAN

2.1. LOKASI PENGUKURAN

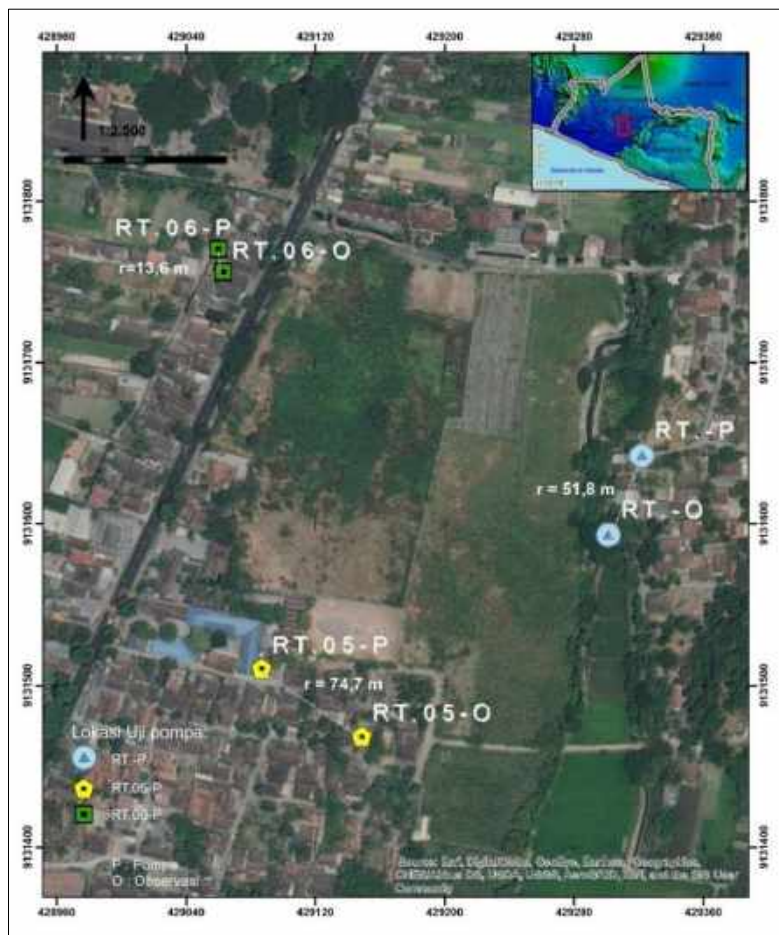
Uji pemompaan dilakukan di sumur penduduk secara administrasi berada di Pedukuhan Ngireng-ireng, dan Pedukuhan Cabean, Desa Panggungharjo, yang di Kecamatan Sewon Kabupaten Bantul, D.I.Yogyakarta. Setiap uji pompa (*pumping test*) memerlukan 2 (dua)

sumur yaitu sumur pompa dan sumur pantau. Lokasi uji pompa (*pumping test*) dan sumur observasi disajikan pada Gambar 1 dan Tabel 1.

Tabel 1. Lokasi pengukuran uji pompa (*pumping test*)

No.	X	Y	Elv mdpal	Kode	Status Uji Pompa	Jarak Observasi (m)
1	429060	9131770	72	RT.06-P	Pompa	13,6
2	429063	9131756	72	RT.06-O	Observasi	
3	429087	9131511	73	RT.05-P	Pompa	74,7
4	429149	9131469	73	RT.05-O	Observasi	
5	429301	9131593	75	RT.-P	Pompa	51,8
6	429322	9131642	75	RT.-O	Observasi	

Sumber : Pengukuran lapangan (2017)



Gambar 1. Lokasi Uji pompa

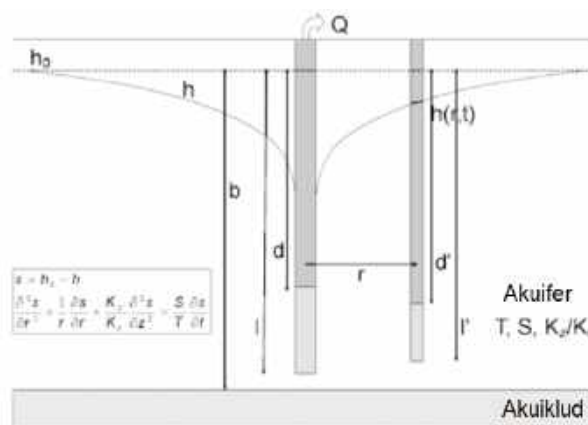
Lokasi uji pompa pada lokasi RT.05 dan RT.06 berada di penggunaan lahan permukiman warga dan pada lokasi RT berada di penggunaan lahan terbuka. Pada lokasi sumur pompa (a)

merupakan lokasi pengambilan air sedangkan pada sumur pantau (b) merupakan sumur yang diamati dampak dari penurunan air tanah.

2.2. METODE UJI POMPA (*PUMPING TEST*)

Metode untuk mengetahui parameter akuifer adalah dengan pengukuran langsung dilapangan. Pengukuran parameter akuifer memerlukan 2 (dua) sumur, yaitu ; sumur pompa dan sumur pantau. Pengukuran uji pompa (*pumping test*) memasukan pencatat data otomatis (*logger*) tinggi muka air tanah di kedua sumur dengan interval 1 menit selama 2 jam (Bouwer, 1978; Febriarta, 2016.). Metode pengukuran dengan durasi pendek (*short period*). Waktu pemompaan selama 2 jam dan pengukuran waktu balik atau waktu kambuh selama 1 jam (Fetter, 2004 ;Todd, dan Mays, 2005). Ilustrasi pengukuran uji pompa (*pumping test*) dengan metode Theis dan Cooper-Jacob disajikan pada Gambar 2.

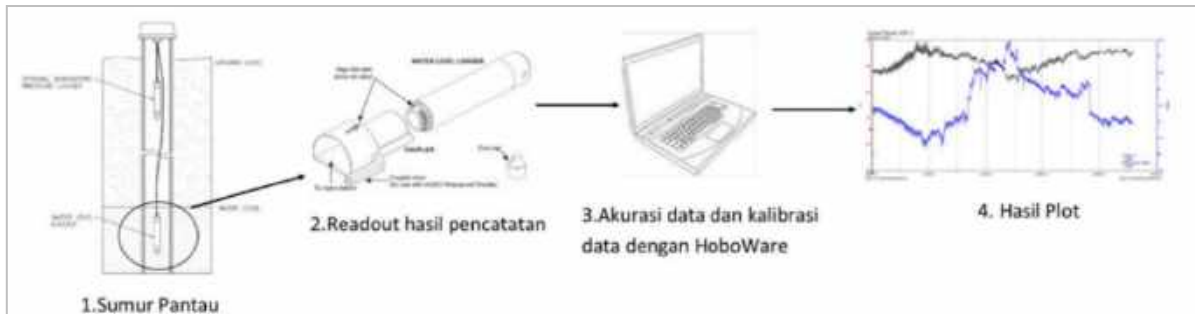
Tahapan uji pompa antara lain menghitung dan mencatat dimensi sumur pompa (a) dan sumur pantau (b), menghitung jarak kedua sumur (r) dari sumur yang dipompa (a) dengan sumur pantau (b) dengan plotting *Global Positioning System* (GPS) dengan koordinat Universal Transverse Mercator (UTM). Parameter yang dicatat ketika uji pompa di sumur pompa (a) antara lain menghitung besar debit pompa air (nilai Q), uji pompa dengan periode pendek selama 2 jam. Setelah 2 jam pemompaan, diamati waktu pulih atau waktu balik ke posisi awal pemompaan (Bouwer, 1978; Febriarta, 2015).



Gambar 2. Ilustrasi pengukuran uji pompa dengan sumur pantau (Bouwer, 1978)

Pencatat otomatis (*logger*) mempunyai data pencatatan air tanah dari optik pembaca instrumen sensor dengan bantuan kabel data kedalam komputer. Untuk mengolah data perlu dilakukan akurasi data (data kedalaman sumur) sebagai data akurasi dan kalibrasi data tinggi muka air.

Plot hasil perekaman dengan data kompensasi tekanan sebagai data tinggi muka air, alur pengunduhan hasil pencatatan tinggi muka otomatis disajikan pada Gambar 3.



Gambar 3. Langkah pembacaan pencatat otomatis (*logger*) (Febriarta, 2016)

2.3. ANALISIS DATA UJI POMPA (*PUMPING TEST*)

2.3.1 ANALISIS TRANSMIVITAS (T) DAN KONDUKTIVITAS HIDROLIK (K)

Berdasarkan data uji dilakukan analisis untuk mendapatkan parameter akuifer meliputi nilai keterusan / transmivitas –T, nilai kelulusan / permeabilitas–K, dengan pendekatan metode grafik. Dalam menganalisis data pengamatan uji pemompaan menggunakan data surutan atau penurunan muka air tanah digunakan Metode Copper-Jacob I dan Theis (Fetter, 2004 ;Todd dan Mays, 2005). Nilai permeabilitas/kelulusan –T, diperoleh dari rumus Copper-Jacob I (metode waktu terhadap waktu penurunan) sebagai berikut (Bouwer, 1978):

$$T = \frac{2,30 \cdot Q}{4 \cdot \pi \cdot \Delta s} \dots\dots\dots(1)$$

Untuk perhitungan koefisien storage (S), menggunakan pendekatan, sebagai berikut ;

$$S = \frac{2,25 \cdot T \cdot t_0}{r^2} \dots\dots\dots(2)$$

Keterangan :

T =Transmivitas/keterusan (m²/hari)

Q = debit (m³/hari) (debit diperoleh dari pengukuran output debit pompa air)

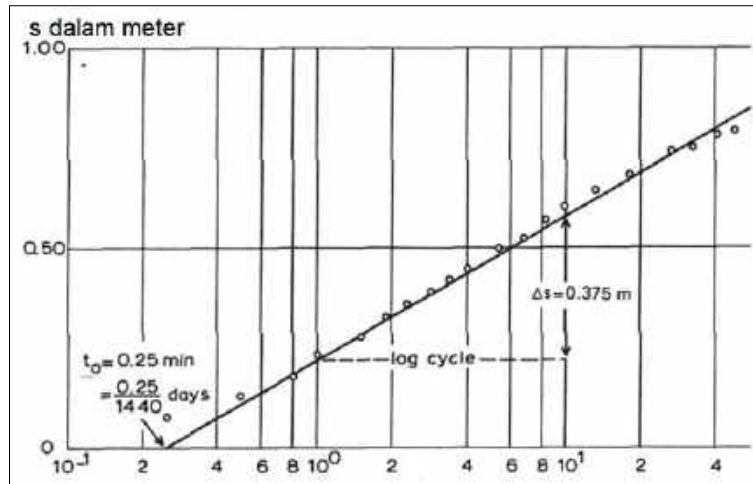
π = 3,14 atau 22/7

Δs = selisish penurunan (*drawdown*) satu siklus log

r = jarak sumu observasi (m)

t₀ = waktu ke- (menit ke-120/2 jam)

Langkah perhitungan diperoleh dari plot data pumping test ke dalam kertas semilog, dengan drawdown (s) pada skala biasa (tegak). Hasil dari titik-titik hasil pengeplotan tadi, tarik garis lurus sehingga didapatkan t₀. Δs dapat dihitung dari selisish drawdown pada satu siklus log (Gambar 4) (Febriarta, 2016). Hasil dari plot data menghasilkan nilai t₀ dan Δs, nilai-nilai tersebut kedalam rumus Copper-Jacob.



Gambar 4. Pencarian nilai t_0 dan Δs (Bouwer, 1978)

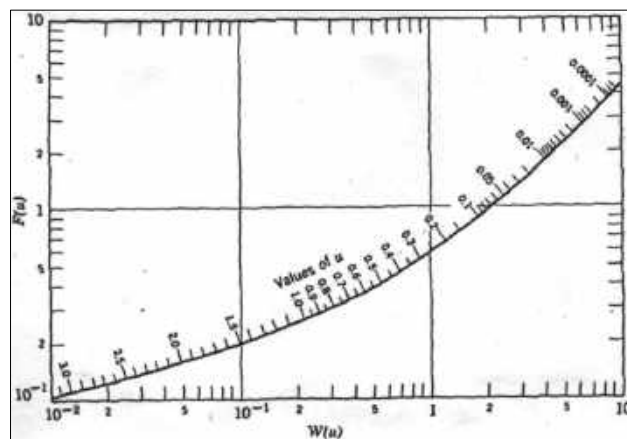
Untuk mengurangi ketidakakuratan selisish *drawdown* pada satu siklus log digunakan rumus Chow Data yang dipergunakan pada metode ini adalah data penurunan (*drawdown*) dari sumur observasi yang diplot pada kertas skala semilog seperti pada metode Jacob. Nilai plot tersebut tarik garis yang mewakili hasil plot tersebut. Hasil dari penarikan garis tersebut menentukan pula satu titik tertentu sepanjang garis tersebut pada satu siklus log untuk memperoleh nilai s dan t . Nilai $F(u)$ dapat diperoleh dengan rumus pada persamaan 3 dan Nilai $W(u)$ dan nilai u dapat diperoleh dari Gambar 5.

$$F(u) = \frac{s}{\Delta s} \text{ dengan skala log(3)}$$

Keterangan :

s = selisih penurunan (*drawdown*) (m)

Δs = selisish penurunan (*drawdown*) satu siklus log



Gambar 5. Kurva baku untuk mencari u dan $W(u)$ (Bouwer, 1978).

$$T = \frac{Q}{4 \cdot \pi \cdot s} W(u) \dots\dots\dots(4)$$

Keterangan :

- T = Transmivitas/keterusan (m²/hari)
- Q = debit (m³/hari)
- π = 3,14 atau 22/7
- Δs = selisish grafik penurunan (*drawdown*) satu siklus log (Gambar 4)
- W(u) = nilai diperoleh dari kurva baku (Gambar 5)

Untuk mendapatkan nilai transmivitas dengan cara plot data *drawdown* (skala tegak) dengan waktu (skala mendatar) pada kertas semilog. Nilai s dan t diperoleh dari pengeplotan. Nilai Δs dari satu siklus log. Harga s dan Δs digunakan untuk mencari harga F(u) dengan memakai rumus (1), sedangkan untuk memperoleh nilai faktor nilai u dan W(u) dengan cara plotting pada grafik baku (Gambar 5). Untuk mengetahui nilai K (Permeabilitas / kelulusan) dari nilai T (Transmivitas / keterusan) digunakan dari Logan dengan persamaan sebagai berikut (Bouwer, 1978):

$$T = K \cdot D, \text{ sehingga} \dots\dots\dots(5)$$

$$K = T / D \dots\dots\dots(6)$$

Keterangan :

- T = Transmivitas/keterusan (m²/hari)
- K = Permeabilitas/kelulusan (m/hari)
- D = Tebal akuifer = Tebal zona jenuh air (m), yang diperoleh dari selisih kedalaman dasar sumur dengan tinggi permukaan air yang diperoleh pada saat pengukuran dimensi sumur.

2.3.2 NILAI JARAK PENGARUH JARI-JARI PEMOMPAAN

Analisis untuk untuk mengetahui jari-jari pengaruh sumur dapat diketahui dengan menggunakan pendekatan metode Ketidakseimbangan (Tood dan Mays, 2005) dan (Sosrodarsono dan Takeda, 2006), dengan persamaan :

$$R = \sqrt{4\mu T t/s} \dots\dots\dots(7)$$

dengan, persamaan nilai W(μ) :

$$W(\mu) = (4\pi \cdot T/Q) s \dots\dots\dots(8)$$

Keterangan:

- R = jari-jari lingkaran pengaruh sumur
- T = Transmivitas/keterusan (m²/hari)
- t = waktu pemompaan
- μ = diperoleh dari kurva dan tabel hubungan W(μ) – μ (Gambar 5)
- π = 3,14 atau 22/7
- Δs = selisish grafik penurunan (*drawdown*) satu siklus log (Gambar 4)

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

Secara fisiografi, lokasi pengukuran berada di dataran kaki dari gunung api Merapi, dimana memiliki karakteristik keterdapatannya air tanah di celahan dan rongga antar butir, dengan produktivitas tinggi dengan penyebaran luas atau akuifer bebas dengan ketahanan tinggi dan potensi debit 5-10l/detik. Lokasi penelitian berdasarkan Keputusan Presiden Republik Indonesia No. 26 Tahun 2011 tentang Penetapan Cekungan Air Tanah di Indonesia, berada di Cekungan Air Tanah yang berada di wilayah Provinsi Daerah Istimewa Yogyakarta adalah CAT No. 109, yaitu Cekungan Air Tanah (CAT) Yogyakarta-Sleman, yang meliputi wilayah administrasi Kabupaten Sleman, Kota Yogyakarta dan Kabupaten Bantul. Kondisi hidrologi berdasarkan satuan geomorfologi atau hidrogeomorfologi daerah kajian adalah satuan kaki gunungapi Merapi.

Satuan kaki Gunungapi Merapi dibatasi pada bagian utara oleh kontur elevasi 150 m (dpl) di sekitar selokan/saluran Mataram, sedangkan di bagian selatan dibatasi oleh kontur elevasi 25 m (dpl) di daerah selatan kota Bantul, yang berbatasan dengan satuan dataran fluvial. Satuan ini memiliki kelerengan yang landai, yaitu dengan tingkat kelerengan kurang dari 5%. Pola penyaluran pada satuan kaki Gunungapi Merapi merupakan pola paralel yang semakin ke selatan membentuk lembah sungai semakin melebar dan bermeander. Landaian hidrolika pada daerah ini sudah tergolong landai dan kedalaman muka air tanah relative dangkal, sehingga daerah kaki Gunungapi Merapi ini termasuk pada zona lepasan air tanah atau daerah *discharge*.

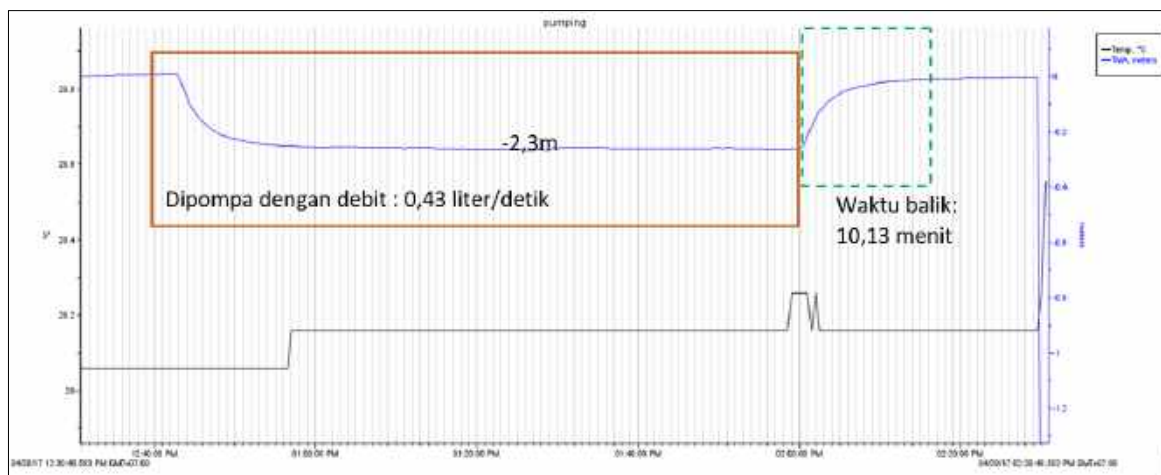
Daerah kaki Gunungapi Merapi dapat dibagi menjadi dua wilayah, yaitu daerah kaki bagian atas dan daerah kaki bagian bawah. Pada daerah kaki bagian atas merupakan daerah yang digunakan untuk pemukiman sangat padat apabila dibandingkan dengan daerah-daerah lainnya. Daerah kaki gunungapi bagian atas meliputi kota Yogyakarta dan sekitarnya. Dalam pemenuhan kebutuhan untuk air minum pada daerah ini tidak terdapat masalah, karena banyaknya sumur gali yang dangkal dan terdapatnya mata air pada tebing-tebing sungai. Kualitas air tanah pada daerah ini cukup baik, namun di sekitar aliran sungai umumnya sudah tercemar oleh limbah rumah tangga dan industri. Kedalaman muka air tanah tidak lebih dari 15 meter. Kondisi pada daerah kaki bagian bawah merupakan daerah untuk pemukiman dan pertanian, yaitu meliputi kota Bantul dan sekitarnya. Dalam memenuhi kebutuhan untuk air minum pada daerah ini umumnya menggunakan sumur gali yang dangkal dengan kedalaman tidak lebih dari 10 meter, bahkan beberapa tempat kurang dari 5 meter.

Lokasi uji pompa dengan sumur pantau berjarak 13,6 m pada uji pompa pertama (RT.06), kemudian uji pompa kedua berjarak 74,7m (RT.05), dan pada uji pompa ketiga berjarak 51,8 m (RT). Uji pompa (*pumping test*) berdasarkan sifat homogenitas terhadap penyusun batuan yaitu berupa material pasiran, yang mempunyai respon yang relatif cepat dengan sifat akuifer bebas. Durasi pemompaan setiap uji pompa adalah 2 jam kemudian dihitung waktu pulihnya. Hasil pengukuran uji pompa disajikan sebagai berikut:

3.1. UJI POMPA 1 (RT.06)

Lokasi uji pompa di sumur 1 atau berada di RT06, secara administrasi berada di Pedukuhan Ngireng-ireng, Desa Panggunharjo. Lokasi sumur uji merupakan sumur domestik penduduk, yaitu merupakan sumur yang diigunakan sehari-hari dalam pemenuhan kebutuhan air.

Pemompaan dilaksanakan dengan periode pendek selama 1 jam. Waktu pemompaan adalah pukul 12.42 WIB pada tanggal 28 April 2017. Posisi tinggi muka air tanah terhadap permukaan tanah adalah -3,4 m, atau 64,8 m dpal. Penurunan muka air tanah konstan pada kedalaman -2,3 m atau pada posisi 66,3 m dpal dengan debit pemompaan 0,43 liter/detik. Pemompaan dihentikan pada pukul 14.01 WIB, waktu yang diperlukan air tanah untuk kembali keposisi semula adalah 10,13 menit. Grafik pemompaan di sumur 1 disajikan pada Gambar 6.



Gambar 6. Grafik pemompaan uji pompa 1

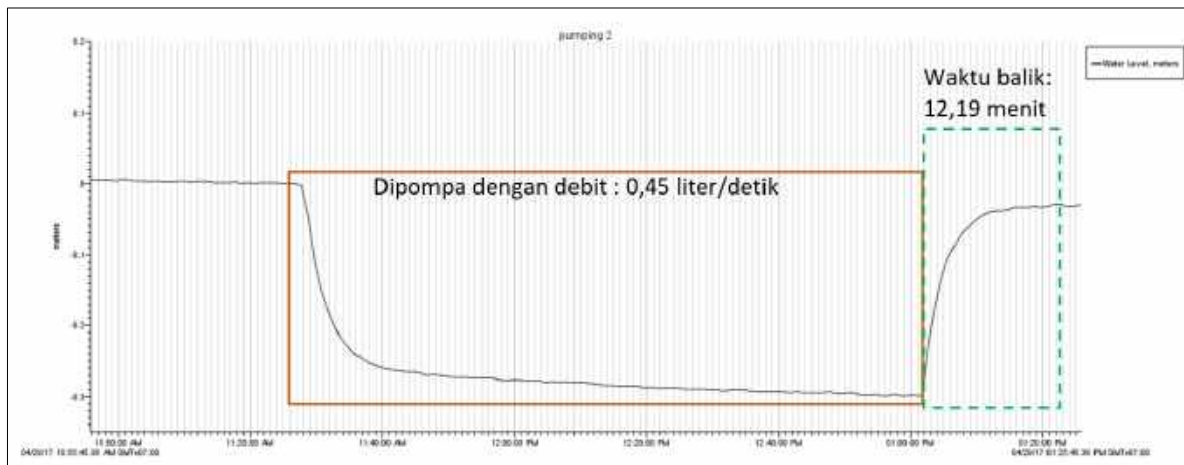
Berdasarkan kondisi fisik air dilihat dari temperatur menunjukkan air tanah pergerakan distribusi penurunan temperatur air tanah dari 29,152°C pada awal pemompaan menjadi 27,075°C pada akhir pemompaan dan setelah tinggi muka air tanah kembali keposisi awal. Nilai penurunan

1,77°C menunjukkan pergerakan air tanah bersifat lokal dan merupakan bagian dari air tanah permukaan (dangkal).

Karakter kurva yang dihasilkan (Gambar 6) mencirikan akuifer primer yang mencirikan penyusun batuan berupa pasir dengan ukuran sedang hingga kasar. Akuifer primer yang didominasi oleh pasir juga ditunjukkan oleh respon kelulusan air mengisi air tanah kembali ke posisi awal pemompaan. Sehingga dapat disimpulkan akuifer di lokasi tersebut merupakan termasuk akuifer bebas dengan keterusan tinggi.

3.2. UJI POMPA 2 (RT.05)

Pengujian karakteristik akuifer di sumur 2 dilaksanakan pada tanggal 29 April 2017 pada pukul 11.26 WIB hingga pukul 13.24 WIB. Pengukuran uji pompa dilakukan di sumur penduduk. Posisi tinggi muka air pada waktu sebelum pemompaan adalah -0,8 m dibawah permukaan tanah. Berdasarkan elevasi ketinggian, posisi tinggi muka air tanah berada pada ketinggian 72,2 m dpal. Berdasarkan uji pompa, penurunan muka air tanah konstan saat berada pada kedalaman -2,99 m atau berdasarkan elevasi ketinggian adalah 69,21 m dpal. Penurunan air tanah tersebut pada besar debit 0,45 liter/detik. Waktu yang diperlukan untuk air tanah kembali pada posisi semula adalah 12,19 menit. Grafik pemompaan di sumur 2 disajikan pada Gambar 7.



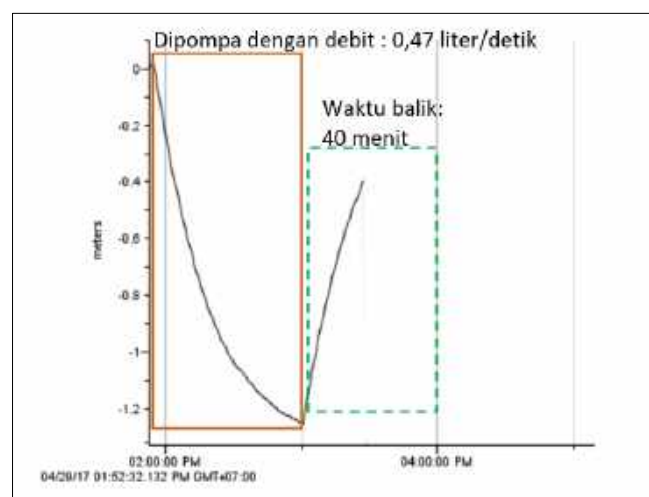
Gambar 7. Grafik Pemompaan uji pompa 2

Temperatur atau suhu air tanah selama pemompaan mengalami penurunan 1°C. Suhu awal saat pemompaan adalah 27,76°C. Berdasarkan sifat perubahan temperatur air tanah seperti pada sampel pemompaan sumur pertama (RT.06), memiliki karakteristik yang sama, yaitu merupakan bagian dari air tanah permukaan (dangkal).

Berdasarkan pengukuran menunjukkan tipe akuifer di lokasi sumur masih kelompok air tanah bebas, dimana menunjukkan respon penurunan yang relatif konstan pada dan waktu yang relatif cepat kembali ke posisi awal pemompaan. Penurunan muka air yang relatif sama dengan sumur 1, dengan selisih 0,6 m lebih dalam dan waktu yang relatif sama yaitu 12,19 menit menunjukkan karakteristik yang hampir sama dengan nilai produktivitas sumur 0,22 – 0,24 m/menit. Nilai tersebut diperoleh dari perbandingan nilai penurunan dibagi waktu balik. Berdasarkan grafik pemompaan (Gambar 7) dan waktu kembali ke posisi awal menunjukkan bahwa sumur 2 memiliki karakteristik yang relatif sama. Dari pola tinggi muka air kembali ke posisi awal menunjukkan tipe akuifer bebas dengan produktivitas tinggi, hal tersebut dikarenakan material penyusun berupa pasir dengan ukuran sedang hingga kasar.

3.3. UJI POMPA 3 (RT)

Uji pompa sumur ketiga berada di Timur dari kedua sumur uji 1 dan 2. Uji pompa dilaksanakan tanggal 29 April 2017 pada pukul 13.52 WIB hingga pukul 15.01 WIB. Pengukuran uji pompa menggunakan pendekatan periode pendek dengan durasi 1 (satu) jam dan menunggu waktu pulih air tanah kembali keposisi semula. Kondisi air tanah pada uji pompa sumur ke-3 berada di kedalaman 1,18 m dibawah permukaan tanah atau berada di elevasi 73, 8 m dpal. Penurunan air tanah dengan debit sebesar 0,47 liter/detik selama 1 (satu) jam turun sebanyak -1,25 m atau berada di elevasi 72,63 mdpal. Grafik pemompaan di sumur 3 disajikan pada Gambar 8.



Gambar 8. Grafik Pemompaan uji pompa 3

Kondisi temperatur atau suhu air tanah selama pemompaan mengalami penurunan 0,4°C. Suhu awal saat pemompaan adalah 27°C. Berdasarkan sifat perubahan temperatur air tanah seperti

pada sampel pemompaan sumur pertama (RT.06) dan kedua (RT.05), memiliki karakteristik yang sama, yaitu merupakan bagian dari air tanah permukaan (dangkal).

Berdasarkan grafik pemompaan (Gambar 8) menunjukkan asil yang berbeda dibandingkan kedua pemompaan sebelumnya (sumur 1 dan sumur 2). Grafik yang dihasilkan pada saat pemompaan membentuk kurva menurun dan tidak membentuk kurva mendatar dalam waktu 1 jam dengan debit 0,47 l/detik (Gambar 8), hal tersebut menunjukkan kurva grafik akuifer dengan produktivitas sedang-tinggi, tetapi dilihat dari kurva balik menunjukkan karakteristik dari material akuitart. Lapisan akuitart memiliki karakteristik yang hampir sama seperti akuifer. Lapisan akuitart juga dapat menyimpan air seperti halnya akuifer. Namun perbedaannya, lapisan akuitart ini hanya dapat mengalirkan air dalam jumlah yang terbatas. Berdasarkan lokasi pemompaan, lokasi tersebut berdekatan dengan alur sungai yang dimungkinkan adalah bagian dari tanggul alam dan rawa belakang, sehingga kelulusan air terbatas. Komposisi penyusun batuan disekitar sumur 3 anatra lain pasiran dengan ukuran butir halus hingga sedang dan endapan lanau. Endapan lanau merupakan material endapan sungai yang mempengaruhi waktu balik tinggi muka air tanag ke posisi yang relatif lambat dengan ukuran butir yang halus.

3.4. ANALISIS TRANSMIVITAS (T) DAN KONDUKTIVITAS HIDROLIK (K)

Analisis transmivitas (T) dan konduktivitas hidrolik (K) dapat diartikan kelulusan atau potensi mengalirkan air tanah dalam satuan waktu. Nilai transmivitas (T) dinyatakan dalam banyaknya air dalam suatu wilayah dalam satuan waktu ($m^2/hari$) yang diasumsikan mengalir melalui suatu penampang tegak lapisan suatu akuifer dengan lebar satuan meter dengan kemiringan atau kemiringan seratus persen dengan satuan pengukurannya adalah m^2 . Sedangkan nilai konduktivitas hidrolik (K) atau kelulusan adalah kemampuan tanah/batu untuk melewatkan air. Hasil perhitungan nilai parameter disajikan pada Tabel 2.

Tabel 2. Karakteristik akuifer hasil uji pompa

No.	X	Y	Elv (mdpal)	Kode	Data	Metode	T ($m^2/hari$)	K (m/hari)
1	429060	9131770	72	RT.06-P	Surutan	Copper-Jacob	1.420,1	1.411,0
					Pulih	Theis	1.440,0	1.440,0
2	429087	9131511	73	RT.05-P	Surutan	Cooper-Jacob	277,2	133,2
					Pulih	Theis	274,3	137,2
3	429301	9131593	75	RT.-P	Surutan	Cooper-Jacob	1.440,0	480,0
					Pulih	Theis	1.440,0	477,0
Rata-rata							1.048,6	679,8

Sumber : Analisis perhitungan, 2020

Berdasarkan hasil kurva pemompaan dapat dikelompokkan menjadi 2 tipe air tanah bebas, yaitu air tanah (akuifer) bebas yang ditunjukkan pada sumur 1 dan sumur 2, dan tipe akuitart atau air tanah bebas dengan material penyusun lanau yang dipengaruhi oleh daerah pengendapan sungai. Hasil pemompaan menunjukkan tipe air tanah bebas yang ditunjukkan sumur 1 dan sumur 2, tetapi potensi kelulusan air tanah berbeda. Parameter akuifer sumur 1 memiliki produktivitas akuifer lebih besar dibanding sumur 2.

Perbedaan potensi akuifer tersebut dipengaruhi oleh material penyusun pada sumur 2 mempunyai besar butir yang lebih halus dibanding di lokasi sumur 1. Sehingga meskipun tipe akuifer termasuk akuifer bebas tetapi secara kelulusan berbeda sedang hingga tinggi. Respon parameter akuifer di sumur 3 menunjukkan potensi yang relatif mirip dengan sumur 1 tetapi, secara penyusun batuan termasuk semi akuitart dengan material penyusun lanau, yang relatif lama atau sulit meloloskan air tanah, tetapi memiliki keterusan yang tinggi karena dekat dengan imbuhan dari sungai permukaan, sehingga tinggi muka air tanah relatif stabil.

3.5. PENGARUH JARAK

Pendekatan untuk mengetahui jari-jari lingkaran pengaruh pemompaan (*radius of influence*) menggunakan metode ketidakseimbangan (*non equilibrium formula*). Pengaruh jari-jari secara imajiner berbentuk lingkaran atau radial. Pengaruh jari-jari lingkaran pengaruh sumur terbesar berada di sampel 1 (RT.06) berada di bagian utara dengan penggunaan lahan permukiman dengan pengaruh jari-jari lingkaran 21 m. Sedangkan nilai dampak terkecil dengan pengaruh jari-jari lingkaran 13 m berada di bagian selatan kajian penelitian. Hasil nilai perhitungan nilai parameter jari-jari lingkaran pengaruh pemompaan disajikan pada Tabel 3 dan Gambar 9.

Karakteristik air tanah pada akuifer dangkal endapan merapi muda merupakan akuifer bebas yang menggambarkan nilai waktu balik ke kondisi tinggi muka air tanah semua relatif cepat. Pengaruh jari-jari penurunan air tanah di lokasi sumur observasi menunjukkan nilai yang relatif kecil yaitu 17,6 m pada skala lokal (Tabel 3). Berdasarkan kurva pemompaan sumur 1 dan sumur 2 diketahui bahwa material penyusun diketahui pasir. Sehingga jari-jari penurunan relatif sedang, tapi memiliki waktu balik yang cepat. Sedangkan sumur 3 mempunyai sisipan penyusun lanau yang mengakibatkan lambatnya meloloskan air tanah, sehingga jari-jari terdampak berjarak 19 m dikarenakan karena lambatnya terisi air tanah kembali.

Tabel 3. Pengaruh jarak jari-jari pemompaan r (m)

No.	X	Y	Z (m dpal)	Kode	R (m)
1	429060	9131770	72	RT.06-P	21,0
2	429087	9131511	73	RT.05-P	13,0
3	429301	9131593	75	RT.-P	19,0
Rata-rata					17.6

Sumber : Analisis perhitungan, 2020

**Gambar 9.** Pengaruh jarak jari-jari pemompaan (R)

4. KESIMPULAN

Kesimpulan dari uji pompa di akuifer dangkal bagian dari endapan merapi muda di Desa Panggungharjo, Kecamatan Sewon, Kabupaten Bantul, bahwa parameter akuifer air tanah dinamikia muka air tanah statis adalah 1,9 meter dibawah muka tanah sedangkan muka air tanah dinamis adalah 2,18 meter dibawah muka tanah. Potensi parameter akuifer transmivitas / kelurusan (K) adalah 679,8 m/hari dan konduktivitas hidrolis / keterusan (T) adalah 1.048,6 m²/hari. Secara fisiografi termasuk kedalam endapan muda Merapi, tetapi memiliki

karakteristik yang berbeda. Berdasarkan kurva pemompaan sumur 1 dan sumur 2 diketahui tipe air tanah bersifat bebas, sedangkan sumur 3 mempunyai karakteristik akuitart atau akuifer dengan material penyusun lanau atau lempungan, yang dipengaruhi oleh daerah pengendapan disekitar sungai dengan besar butir halus. Material disekitar sepadan sungai atau tanggul alam memiliki karakteristik jenuh air dan relatif lama melolosakan air, sehingga di sumur 3 waktu balik lebih lama dari waktu balik dari sumur 1 dan sumur 2. Secara umum pengaruh jari-jari pemompaan sumur adalah 17,6 m.

5. UCAPAN TERIMA KASIH

Ucapan terima kasih disampaikan kepada tim laboratorium kualitas air Fakultas Geografi UGM yang telah memfasilitasi penelitian ini.

DAFTAR PUSTAKA

- Anam, N.K dan Adji T.N. (2018). karakteristik Akiuifer Bebas Pada Sebagian Cekungan Air Tanah (CAT) Yogyakarta-Sleman di Kecamatan Pleret, Kabupaten Bantul, Daerah Istimewa Yogyakarta. *Jurnal Bumi Indonesia*, 7 (2) : 1-10
- Bouwer, Herman. (1978). Groundwater Hydrology. New York : McGraw-Hill
- Febriarta, E. (2015) . Laporan Akhir Uji Pompa Debit Sumur Produksi. Laporan Akhir . PT. Sari Husada, Yogyakarta.
- Febriarta, E. (2016). Studi Kapasitas Debit Sumur Produksi. Laporan Akhir. PT. Semen Indonesia, Gresik.
- Fetter, C.W. (2004). Applied Hydrogeology 5th Edition. Ohio: Merrill Publishing Company.
- Harjito. (2014). Metode Pumping Test Sebagai Kontrol Untuk Pengambilan Air tanah Secara Berlebihan. *Jurnal Sains Dan Teknologi Lingkungan*, 6 (2) : 138-149
- Iskandar, N.M dan Adji, T.N. (2017). Studi Karakteristik Akuifer Bebas dan Hasil Aman Penurapan Air tanah Kecamatan Trucuk Kabupaten Klaten. *Jurnal Bumi Indonesia*, 6(4) : 1-9.
- Prakoso, W.G ., Roh, S.B.W dan Widyarti, M. (2014). Pendugaan Nilai Kelulusan Hidraulik Akuifer dengan Uji Pemompaan pada sumur Filtrasi di Bantaran Sungai Cihideung Bogor. *Jurnal Teknik Hidraulik*, 5 (2) : 181 – 192.
- Santosa, L.W dan Adji, T.N. (2014). Karakteristik Akuifer dan Potensi Air tanah Graben Bantul. Yogyakarta: Gadjah Mada University Press.

- Setiawan, T dan Asgaf, M.A . (2016). Analisis Karakteristik Akuifer dan Zonasi Kuantitas Air Tanah di Dataran Kars Wonsari dan Sekitarnya, Kabupaten Gunung Kidul, Provinsi Daerah Istimewa Yogyakarta. *Jurnal Lingkungan dan Bencana Geologi*, 7 (3) :155-167
- Sutardi, A., Suprayogi, S., dan Adji, T.N. (2017). Kajian Kualitas Air Tanah Bebas antara Sungai Kuning dan Sungai Tepus di Kecamatan Ngemplak, Yogyakarta, Indonesia. *Majalah Geografi Indonesia*, 31 (1) : 31-38.
- Todd, D.K dan Mays, L.W. (2005). *Groundwater Hydrology : Third Edition*. New York: John Willey & Sons Inc.

POTENSI PENERAPAN KONSERVASI AIR PADA GEDUNG DEKANAT UNIVERSITAS X

Shinta Ayu Afrhiani¹⁾, Kancitra Pharmawati¹⁾, Andindito Nurprabowo¹⁾

¹⁾Program Studi Teknik Lingkungan, Institut Teknologi Nasional, Bandung

Email : saaafrhiani@gmail.com

Abstrak

Salah satu bentuk pengembangan Kota Bandung dapat dilakukan melalui peningkatan Sumber Daya Manusia (SDM) dengan tersedianya lembaga pendidikan. Universitas X merencanakan pembangunan Gedung Dekanat dengan tujuan agar dapat menunjang kebutuhan institusi dan peningkatan efektifitas dan efisiennya proses belajar mengajar. Pembangunan gedung baru di Kota Bandung diwajibkan untuk menerapkan Bangunan Hijau salah satunya dengan mengimplementasikan konservasi air. Konservasi air perlu diterapkan sebagai upaya menjaga keberlangsungan keberdayaan daya dukung, daya tampung dan fungsi sumber daya air. Metode penelitian yang dilakukan adalah mengidentifikasi potensi penerapan konservasi air dengan mengacu pada Peraturan Wali Kota Bandung No. 1023 Tahun 2016 tentang Bangunan Hijau, melalui penggunaan saniter hemat air, pemanfaatan kembali air bekas untuk kebutuhan flushing WC dan urinal, serta pemasangan meter air. Berdasarkan hasil identifikasi, potensi penerapan konservasi air yang bisa dilakukan di Gedung Dekanat adalah sebesar 10.489 liter/hari.

Keywords: Konservasi Air, Pemanfaatan Limbah Greywater, Saniter Hemat Air

Abstract

Improving human resources by ensuring the availability of educational institutions could be one of the ways from developing of Bandung City. X University has planned the construction of the Dean Building with the goals to be able to support the needs of institutions and increase the effectiveness and efficiency of the teaching and learning process. Construction of new buildings in the city of Bandung is required to implement Green Buildings, one is by implementing water conservation. Water conservation needs to be implemented as an effort to maintain the sustainability of the carrying capacity, and function of water resources. The research method used is to identify the potential application of water conservation by referring to Bandung Mayor Regulation No. 1023 of 2016 concerning Green Buildings, through the use of water-saving sanitary ware, re-use of used water for toilet and urinal flushing, and installation of water meters. Based on the identification results, the potential application of water conservation that can be done in the Dean Building is 10,489 liters/day.

Kata Kunci: Greywater Waste Utilization, Water Conservation, Water Saving Sanitary Ware

1. PENDAHULUAN

Proses pembangunan di Kota Bandung ikut ditunjang dengan adanya peningkatan Sumber Daya Manusia (SDM) melalui pendidikan (Yoman et al., 2016), oleh karena itu Universitas X merencanakan pembangunan Gedung baru Dekanat sebagai penunjang dari perkembangan dan kepentingan Universitas X sehingga sistem pendidikan lebih efektif dan efisien. Pembangunan tersebut perlu menerapkan konservasi air sebagaimana telah diwajibkan pada Peraturan Walikota Bandung Nomor 123 Tahun 2016 tentang Bangunan Hijau dan juga agar dapat

Dikirim/submitted: 11 Mei 2020

Diterima/accepted: 22 Mei 2020

menjaga keberlangsungan keberadaan daya dukung, daya tampung dan fungsi sumber daya air (Susanto et al., 2014). Perencanaan pembangunan Gedung Dekanat dengan mengimplementasikan konservasi air yang diterapkan di Kota Bandung ini merupakan perencanaan terbaru.

Gedung Dekanat di Universitas X ini berada di daerah utara Kota Bandung yang dibangun diatas tanah seluas 2.900 m² dengan luas bangunan 6.058 m² yang terdiri dari 11 lantai yaitu 3 lantai parkir *basement* dan 8 lantai keperluan solusi permasalahan parkir, dan kantor. Konsep konservasi ini perlu diterapkan pada Gedung Dekanat di Universitas X sebagaimana telah disebutkan pada Peraturan Wali Kota Bandung Nomor 1023 Tahun 2016 Tentang Bangunan Gedung Hijau yaitu untuk pembangunan gedung baru jenis perkantoran merupakan bagian dari Fungsi Usaha di Kota Bandung yang wajib menerapkan Konsep bangunan hijau dalam pembangunannya, yang salah satunya menerapkan konservasi air.

Konsep yang akan diterapkan pada Gedung Dekanat di Universitas X ini merencanakan sumber air untuk keperluan *flushing* menggunakan air daur ulang dari *greywater* yang bersumber dari pemakaian *kitchen sink*, *lavatory* dan *floor drain* kemudian diolah di *sewage treatment plant* (STP) selanjutnya ditampung di penampungan air bawah sekunder, penerapan lainnya yaitu penggunaan saniter hemat air dengan tujuan untuk menghemat penggunaan air pada alat plambing. Selain itu, adanya pemasangan meter air pada keluaran sumber air dari PDAM menuju *ground water tank*, dan keluaran sumber air bersih sekunder yang telah didaur ulang untuk *flushing* WC dan Urinal, pemasangan ini digunakan agar dapat mengkuantifikasi penggunaan air. Konsep yang diterapkan pada Gedung Dekanat di Universitas X diharapkan dapat menghemat penggunaan air yang berasal dari PDAM untuk keperluan pengguna gedung.

2. METODE PENELITIAN

Metode penelitian ini diuraikan menjadi beberapa tahap sebagai berikut.

2.1 Pengumpulan Data Sekunder

Data sekunder yang diperlukan meliputi denah arsitek yaitu denah detail keseluruhan gedung seperti tinggi gedung, luas lahan dari gedung perencanaan, denah fungsi ruang yaitu denah detail yang menunjukkan dimensi ukuran dan fungsi digunakan untuk menentukan jumlah populasi yang direncanakan pada Gedung Dekanat Universitas X.

2.2 Pengolahan Data

Berikut uraian tahapan dalam pengolahan data, meliputi :

2.2.1 Penentuan Jumlah Populasi Gedung

Jumlah populasi yang telah ditentukan digunakan untuk mendapatkan besarnya kebutuhan air bersih berdasarkan fungsi ruang setiap lantainya (Safiyanti, 2018). Populasi yang direncanakan dibagi menjadi 2 kategori yaitu tamu dan pekerja. Jumlah populasi didapatkan dari pembagian antara luas efektif ruang terhadap standar ruang, seperti pada persamaan berikut. (Noerbambang, 2005)

$$\text{Jumlah Populasi} = (\text{Luas Efektif \%} \times \text{Luas Lantai } m^2) / \text{Std. Beban Hunian}(m^2/\text{org}) \quad (1.1)$$

2.2.2 Kebutuhan Air Bersih

Penentuan jumlah kebutuhan air bersih yang dibutuhkan menggunakan persamaan berikut (Noerbambang, 2005).

$$Q_d = \text{Jumlah Populasi} \times \text{Standar Kebutuhan Org (l/o/h)} \quad (1.2)$$

Standar pemakaian air bersih ini diperoleh dari fungsi ruang pada gedung yang mengacu ada SNI 03-7065-2005 tentang Cara Perencanaan Sistem Plambing. Standar pemakaian air bersih yang digunakan untuk tamu sebesar 10 liter/jiwa, dan untuk pekerja sebesar 50 liter/jiwa.

2.2.3 Penentuan Jumlah Air Limbah yang Dihasilkan

Air limbah ini ditentukan berdasarkan jenisnya yaitu *greywater* dan *blackwater*. Jumlah limbah *greywater* ini sebesar 75% berasal dari air bekas yaitu air buangan dari *floor drain*, *kitchen sink*, dan *lavatory* (Rinka et al., 2014), sedangkan untuk *blackwater* sebesar 25% (Hardjosuprpto, 2000), dengan melihat jumlah timbulan air limbah total yang dihasilkan menggunakan persamaan (Hardjosuprpto, 2000) :

$$Q_{\text{Air Limbah}} = 80\% \times \text{Total Kebutuhan Air Bersih} \quad (1.3)$$

2.2.4 Saniter Hemat Air

Penggunaan saniter hemat air ini ditujukan pada alat plambing *water closet* (WC), Urinal, *lavatory* dan *faucet*. Pada perencanaan ini, alat plambing hemat air yang digunakan adalah merk TOTO. Penggunaan merk tersebut dengan pertimbangan biaya dan ketersediaannya alat plambing di pasaran. Berikut perbedaan kebutuhan air pada setiap alat plambing hemat air dengan alat plambing diasjikan pada **Tabel 1**.

Untuk mengetahui besarnya penghematan air yang didapatkan setelah menggunakan alat plambing hemat air, perlu diketahui besarnya selisih antara penggunaan alat plambing tanpa

penghematan (konvensional) dengan alat plambing hemat air yang dihitung berdasarkan persamaan berikut.

$$\text{Jumlah air yang dimanfaatkan} = \text{Pemakaian konvensional} - \text{pemakaian hemat air} \quad (1.4)$$

Tabel 1. Kebutuhan Air Pada Setiap Alat Plambing bermerk TOTO dan Alat Plambing Tanpa Penghematan

Kebutuhan Air Pada Alat Plambing		
Alat Plambing	Konvensional*	Hemat Air**
Water Closet Tank	6 L/flush	4.5 L/flush
Urinal Flush Valve	4 L/flush	0.47 L/flush
Lavatory	8 L/menit	7 L/menit
Faucet	8 L/menit	3.6 L/menit

Sumber : *Green Building Council Indonesia, 2013

**TOTO, 2016

2.2.5 Penentuan Jumlah Daur Ulang Limbah yang Diterapkan

Pemanfaatan *greywater* ini dilatarbelakangi selain untuk konservasi air juga karena pemakaian air bersih untuk siram WC dan Urinal cukup besar sehingga perlunya pemanfaatan untuk penghematan air yang digunakan (Handayani, 2014). *Greywater* yang dimanfaatkan ini sebesar 75% dari total timbulan air limbah. *Greywater* yang dihasilkan dimanfaatkan digunakan untuk kebutuhan air sekunder yaitu *flushing* WC dan Urinal dengan cara dilakukan *treatment* terlebih dahulu di *sewage treatment plant* (STP) (Handoko, 2016). Alat plambing yang menggunakan air sekunder pada perencanaan ini yaitu *water closet* (WC) dan Urinal. Penentuan besar kebutuhan *flushing* ini dihitung berdasarkan persamaan berikut.

$$\text{Kebutuhan Flushing} = \text{Kebutuhan air alat plambing} \times \text{Pemakaian Alat Plambing Harian} \quad (1.5)$$

Besarnya air daur ulang ini ditentukan sesuai dengan persamaan berikut.

$$\text{Besar Daur Ulang Air Limbah} = \text{Kebutuhan Flushing} \times \text{Banyak penggunaan} \times \text{Jumlah Populasi} \quad (1.6)$$

Penentuan volume tangki sekunder sesuai dengan persamaan (1.7) yaitu tempat penampungan air olahan dari STP untuk digunakan kembali sebagai kebutuhan *flushing*.

$$\text{Volume Tangki Sekunder} = \text{Timbulan air limbah greywater} \times 90\% \text{ efisiensi STP} \quad (1.7)$$

2.2.6 Besar Usaha Konservasi

Besarnya usaha konservasi yang diterapkan ini menentukan banyaknya jumlah air yang dapat dihemat yang disebabkan karena adanya usaha konservasi air yang diterapkan meliputi

pemanfaatan kembali *greywater* untuk *flushing*. Besaran usaha konservasi ini dapat diketahui berdasarkan persamaan berikut.

$$Usaha\ konservasi = Besar\ Air\ Daur\ Ulang + Penggunaan\ saniter\ hemat\ air \quad (1.8)$$

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

3.1 Jumlah Populasi Gedung

Jumlah populasi pada perencanaan ini sangat penting untuk mengetahui kebutuhan air bersih dan banyaknya jumlah alat plambing yang diperlukan (Artayana et al., 2010). Populasi pada gedung yang direncanakan terbagi 2 yaitu karyawan dan tamu. Sesuai persamaan (1.1) yaitu dengan mengkalikan luas efektif (%) masing-masing ruangan dengan luas lantai (m^2) pada ruangan tersebut kemudian dibagi dengan standar beban hunian (m^2/org) maka didapatkan 610 jiwa yang direncanakan meliputi 526 jiwa karyawan dan 84 jiwa tamu.

3.2 Kebutuhan Air Bersih

Kebutuhan air bersih yang diperlukan ini didapatkan berdasarkan banyaknya populasi setiap lantai dengan menggunakan standar kebutuhan air harian jiwa yang dilihat berdasar fungsi ruang masing-masing pada setiap lantainya. Kebutuhan air bersih didapatkan dari perkalian antara standar kebutuhan jiwa (l/hari) dengan jumlah populasi gedung, didapatkan jumlah kebutuhan air harian pada perencanaan ini sebesar 27.09 liter/hari atau sebesar 27,1 m^3 /hari.

3.3 Jumlah Limbah yang Dihasilkan

Air limbah yang dihasilkan ini sebesar 80% dari kebutuhan air bersih yang terdiri dari air limbah *blackwater* sebesar 25% dari total limbah yang dihasilkan, dan air limbah *greywater* sebesar 75% dari total limbah. Berikut rekapitulasi timbulan limbah pada Gedung Dekanat di Universitas X dilihat dalam **Tabel 2**.

Tabel 2. Jumlah Timbulan Limbah di Gedung Dekanat Universitas X

Jenis Air Limbah	Jumlah (l/h)
<i>blackwater</i>	5.418
<i>greywater</i>	16.254
Total	21.672

Sumber : Pengolahan Data, 2019

Dari hasil perhitungan tersebut diketahui bahwa total limbah yang dihasilkan yaitu sebesar 21.672 l/Hari yang terdiri dari timbulan air limbah *blackwater* sebanyak 5.418 L/hari dan timbulan air limbah *greywater* sebanyak 16.254 l/hari.

3.4 Saniter Hemat Air

Selain dengan menerapkan penggunaan daur ulang limbah *greywater*, usaha konservasi air dapat dilakukan juga dengan menggunakan plambing hemat air. Penggunaan plambing hemat air ini ditujukan pada alat plambing *faucet*, dan *lavatory*, selain itu penggunaan hemat air ini ditujukan pada alat plambing WC dan Urinal yang akan dibahas pada pemanfaatan air limbah *greywater*. Penggunaan plambing hemat air dibedakan atas dasar kebutuhan air per alat plambing seperti yang telah dituangkan pada **Tabel 1**, selanjutnya perlu diketahui bahwa nilai okupansi untuk pemakaian tap nilai okupansi dan *lavatory* sebesar 100% (Rahayu et al., 2020). Berikut nilai faktor penggunaan standar konsumsi pada setiap alat plambing dapat dilihat dalam **Tabel 3**.

Tabel 3. Standar Konsumsi Penggunaan Air

Standar Konsumsi Air			
Fixture Type	Okupansi	Faktor	Satuan
Durasi cuci tangan	100%	0,15	Menit/pemakaian
Pemakaian tap	100%	2,5	Per hari

Sumber: (Rahayu, Pratama, & Nurprabowo, 2020)

Perhitungan pemakaian air untuk alat plambing hemat air TOTO akan didapatkan dari perkalian antara jumlah populasi dengan nilai okupansi alat plambing sehingga didapatkan okupansi sebesar 610 jiwa untuk pemakaian *lavatory* dan *faucet*.

Selanjutnya untuk mengetahui banyaknya penggunaan air yang digunakan pada alat plambing hemat air, hasil dari perhitungan pemakaian air untuk alat plambing dikalikan dengan faktor durasi pemakaian dan juga debit standar alat plambing hemat air. Berikut hasil perhitungan pemakaian air menggunakan plambing hemat air yang dituangkan dalam **Tabel 5**.

Tabel 5. Jumlah Penggunaan Air pada Plambing Hemat Air

Fixture Type	Populasi Okupansi (jiwa)		Durasi Pemakaian		Debit		Faktor Pemakaian Tap		Pemakaian Air (L/Hari)
	Sesudah		Faktor	Satuan	Besaran	Satuan	Faktor	Satuan	
Lavatory	610		0,15	menit/pemakaian	7	L/menit	2,5	per hari	1.599
Faucet	610		0,15	menit/pemakaian	3,6	L/menit	2,5	per hari	822
				Total					2.421

Sumber: Pengolahan Data, 2020

Tujuan dari penggunaan alat plambing hemat air untuk menghemat penggunaan air yang digunakan, sehingga untuk mengetahui besarnya penghematan, maka perlu diketahui jumlah

pemakaian air yang digunakan pada alat plambing konvensional. Langkah perhitungan untuk mengetahui jumlah pemakaian air pada alat plambing konvensional ini sama dengan penggunaan plambing hemat air. Hasil perhitungan dari penggunaan alat plambing (konvensional) dirangkum dalam **Tabel 6**.

Tabel 6. Hasil Perhitungan Pemakaian Air Alat Plambing Konvensional

Fixture Type	Populasi Okupansi (jiwa)		Durasi Pemakaian		Debit		Faktor Pemakaian Tap		Pemakaian Air (L/Hari)
	sesudah	Faktor	Satuan	Besaran	Satuan	Faktor	Satuan		
Lavatory	610	0,15	menit/pemakaian	8	L/menit	2,5	per hari	1.827	
Faucet	610	0,15	menit/pemakaian	8	L/menit	2,5	per hari	1.827	
Total								3.654	

Sumber: Pengolahan Data, 2020

Berdasarkan persamaan (1.4), maka diketahui besarnya penghematan pemakaian air dengan melihat selisih dari kebutuhan air pada alat plambing hemat air dengan alat plambing konvensional, yaitu sebesar 1.233 l/hari.

3.5 Perhitungan Daur Ulang Air Limbah *Greywater*

Air limbah greywater yang dimanfaatkan untuk kebutuhan *flushing* ini berasal dari air bekas yaitu air buangan dari *floor drain*, *kitchen sink*, dan lavatory (Rinka et al., 2014). Banyaknya daur ulang limbah yang akan diolah untuk digunakan sebagai air sekunder ini ditentukan berdasarkan besaran air yang telah digunakan setiap kali menggunakan *flush* dari Urinal dan WC dan juga dari banyaknya pemakaian alat plambing tersebut oleh pengguna gedung. Banyaknya kebutuhan air yang digunakan untuk sekali *flushing* pada setiap alat plambing WC dan Urinal ini sebanyak 6l/*flush* dan 4l/*flush*. (*Green Building Council Indonesia, 2018*),

Banyaknya penggunaan WC dan Urinal dalam sehari akan mempengaruhi banyaknya air limbah greywater yang didaur ulang. Pemakaian alat plambing WC dan Urinal ini berbeda pada setiap jenis populasi, untuk populasi karyawan sebanyak 4 kali pemakaian perhari pada WC, dan 2 kali pemakaian Urinal, sedangkan untuk jenis populasi tamu ini sebanyak 2 kali sehari dalam penggunaan WC dan 2 kali juga dalam penggunaan Urinal (David et al., 2019). Berdasarkan persamaan (1.6) maka didapatkan kebutuhan *flushing* yang disajikan pada **Tabel 7**.

Tabel 7. Kebutuhan Flushing

Populasi	Jenis Alat Plambing	Kebutuhan		Kebutuhan Flushing (L/flush)
		Air (L/flush) (bermrk TOTO)	Banyak Penggunaan (kali perhari)	
Karyawan	WC	6	4	24
	Urinal	4	2	8
Tamu	WC	6	2	12
	Urinal	4	2	8

Sumber: Pengolahan Data, 2020

Selanjutnya setelah mengetahui kebutuhan flushing, akan didapatkan besar air limbah *greywater* yang didaur ulang. Besar air limbah *greywater* yang akan didaur ulang perlu melihat besar okupansi dari jumlah penghuni, nilai okupansi ini digunakan dalam penentuan banyaknya limbah *greywater* yang akan didaur ulang adalah 50% dari total penghuni gedung yang direncanakan (Rahayu et al., 2020), sehingga didapatkan jumlah populasi okupansi untuk karyawan sebesar 263 jiwa dan 42 jiwa tamu. Berikut besaran usaha konservasi air limbah *greywater* yang didaur ulang, dilihat dalam **Tabel 8**.

Tabel 8. Besaran Air Limbah *Greywater* yang Didaur Ulang

Populasi	Jenis Alat Plambing	Jumlah Populasi Okupansi(jiwa)	Kebutuhan Flushing (L/flush)	Banyaknya Air Daur Ulang Greywater (L/hari)
Karyawan	WC	263	24	6.312
	Urinal		8	2.104
Tamu	WC	42	12	504
	Urinal		8	336
Total				9.256

Sumber : Pengolahan Data, 2020

Jadi, besaran usaha konservasi air limbah *greywater* yang digunakan untuk daur ulang adalah sebesar 9.256 L/hari.

3.6 Besar Usaha Konservasi Air

Perencanaan ini mengimplementasikan konservasi air yang dapat menghemat pemakaian air dengan menerapkan konservasi air berupa pemanfaatan air limbah *greywater* untuk kebutuhan *flushing* dan pemakaian saniter hemat air. Besar usaha konservasi yang direncanakan dihitung berdasarkan persamaan (1.6) yaitu dengan menjumlahkan antara penghematan air saat menggunakan saniter hemat air dengan air limbah *greywater* yang dapat digunakan kembali, sehingga didapatkan penghematan air sebesar 10.489 l/hari.

4. KESIMPULAN

Pada perencanaan ini, telah dihitung potensi dari penerapan konservasi air dengan menerapkan pemakaian saniter hemat air, penggunaan air limbah greywater sehingga konservasi yang diterapkan pada Gedung Dekanat di Universitas X dapat menghemat air sebanyak 10.489 liter/hari atau 10,5 m³/hari.

DAFTAR PUSTAKA

- Artayana, K. C. B., & Atmajab, G. I. (2010). Perencanaan Instalasi Air Bersih dan Air Kotor Pada Bangunan Gedung dengan Menggunakan Sistem Pompa. *Jurnal Ilmiah Teknik Mesin*, 4 (1) : 51-56.
- David, V. V., Pharmawati, K., & Usman, D. K. (2019). Implementasi Konsep Konservasi Air di Gedung Apartemen X. Serambi *Engineering*, 4 : 694-702.
- Green Building Council Indonesia. (2013). Greenship Rating Tools: Greenship for the New Building version 1.1 Summary of Criteria and Benchmarks.
- Handayani, D. S. (2014). Kajian Pustaka Potensi Pemanfaatan *Greywater* sebagai Air Siram WC dan Air Siram Tanaman di Rumah Tangga. *Jurnal Presipitasi : Media Komunikasi dan Pengembangan Teknik Lingkungan*, 10 (1) :44-50.
- Handoko, J. P. S. (2016). Optimalisasi Pemanfaatan Greywater pada Bangunan Rumah Susun sebagai Upaya Mewujudkan Sustainable Architecture Studi kasus: Rumah Susun Juminahan di Yogyakarta *Publikasi Universitas Mercu Buana*, 5 (2) : 59-66
- Hardjosuprpto, M, (2002). Air Buangan Volume 1. ITB : Bandung
- Noerbambang, S. M., & Morimura, T, (2005). Perencanaan dan Pemeliharaan Sistem Plambing. Jakarta : PT. Prandya Paramita.
- Peraturan Wali Kota Bandung Nomor 1023 Tahun 2016 tentang Bangunan Gedung Hijau.
- Rahayu, A. K., Pratama, Y., & Nurprabowo, A. (2020). Perencanaan Sistem Instalasi Plambing Air Bersih dengan Penerapan Alat Plambing Hemat Air Di Blok A dan Blok B1 Rumah Sakit Akademik Universitas Sam Ratulangi Kota Manado. Serambi *Engineering*, 5 (2) : 914-920.
- Rinka, D. Y., Sururi, M. R., & Wardhani, E. (2014). Perencanaan Sistem Plambing Air Limbah dengan Penerapan Konsep *Green Building* pada Gedung Panghegar Resort Dago Golf-Hotel dan Spa. *Reka Lingkungan Institut Teknologi Nasional*, 7 (2) : 1-12.
- Safiyanti, A. D. (2018). Perencanaan Sistem Instalasi Plambing Air Bersih Gedung Olifant School. *Jurnal Reka Lingkungan*, 6 (2): 1-11

- Standar Nasional Indonesia (SNI) 7065-2005. (2005). Tata Cara Perencanaan Sistem Plambing. Jakarta : BSN.
- Standar Nasional Indonesia SNI 8153-2015. (2015). Sistem Plambing Pada Bangunan Gedung. Jakarta: BSN.
- Susanto, D., Kahana, R. E., & Chandra, H. P. (2014). Studi Kasus Penerapan Konservasi Air pada Perumahan PT X. *Dimensi Pratama Teknik Sipil*, 3 (2) : 1-8
- TOTO Indonesia Katalog. (2019). Fittings, Sanitary Wales, and Accessoris. <https://www.toto.co.id>. diakses 25 April 2020, dari
- Yoman, M., Pratiknjo, M. H., & Tasik, F. (2016). Kualitas Sumber Daya Aparatur dalam Mencapai Tujuan Pembangunan di Distrik Yamo, Kabupaten Puncak Jaya Provinsi Papua. *Administrasi Publik*, 3, 040.

PENURUNAN LOGAM Fe PADA PENGOLAHAN LUMPUR LIMBAH MENGUNAKAN CACING *LUMBRICULUS sp.*

Ro'du Dhuha Afrianisa¹⁾

¹⁾ Fakultas Teknik Sipil dan Perencanaan, Institut Teknologi Adhi Tama Surabaya

Email: rodu@itats.ac.id

Abstrak

Lumpur hasil pengolahan limbah industri sering mengandung logam berat, polutan organik dan bakteri patogen. Fe (besi) merupakan logam yang bila dalam jumlah besar di lingkungan dapat menyebabkan toksik pada lingkungan. Pengolahan lumpur menggunakan *Lumbriculus sp.* (cacing akuatik) merupakan alternatif dalam mengurangi jumlah lumpur yang dihasilkan dari suatu instalasi pengolahan air limbah. *Lumbriculus sp.* mampu mengakumulasi logam secara biologis (bioakumulasi) yang selanjutnya dapat terjadi pengurangan logam berat dalam lumpur. Penelitian dilakukan dengan menambahkan cacing *Lumbriculus sp.* pada lumpur dari unit reservoir IPAL dengan rasio berat cacing:lumpur adalah 0,4; 0,6; dan 0,8. Pengamatan penurunan kadar Fe pada lumpur dilakukan setiap hari selama 7 hari. Tujuan dari penelitian ini adalah untuk mengetahui penurunan kadar Fe pada lumpur unit secondary treatment menggunakan cacing akuatik. Hasil penelitian menunjukkan adanya penurunan Fe pada lumpur pada hari ke 7 sebesar 15,44% rasio 0,6 dan 21,87% rasio 0,8. Terjadi perbedaan pada rasio 0,4 penurunan logam Fe sebesar 21,09% pada hari ke 6.

Keywords: cacing *Lumbriculus sp.*, Fe, lumpur limbah.

Abstract

Industrial waste produced sludge often contains heavy metals, organic contaminants and pathogenic bacteria. Fe (iron) is a metal which can cause toxicity in large amounts in the environment. Aquatic worm are used to treated sludge as an alternative in reducing the amount of sludge generated from wastewater treatment plant. *Lumbriculus sp.* capable of biologically accumulating metals (bioaccumulation) that can lead to reduced heavy metals in sludge. The analysis was carried out with addition of *Lumbriculus sp.* on wastewater treatment plant in reservoir sludge unit. In the processing, the weight ratio of worm/sludge is 0.4; 0.6; and 0.8. The observation of the Fe content reduction was carried out every day for 7 days. The purpose of this study was to determine the decrease in Fe content in secondary treatment sludge using aquatic worms. The result of this study showed how a decrease of 15,44% in ratio 0.6 and 21,87% in ratio 0.8 on the 7th day. A separate decrease in Fe was observed 21.09% in the ratio 0.4 on 6th day.

Keywords: *Lumbriculus sp.*, Fe, sewage sludge.

1. PENDAHULUAN

Pengolahan air limbah secara biologis akan menghasilkan lumpur sebagai bentuk pemisahan antara polutan yang tercampur dengan air. Lumpur hasil pengolahan menjadi salah satu tantangan serius dalam pengolahan air limbah. Hal tersebut sebagai akibat dari adanya hukum yang mengatur, besarnya biaya dan keresahan masyarakat akibat pembuangan lumpur dari pengolahan limbah (Wei *et al.*, 2008). Lumpur yang mengandung bahan berbahaya dan beracun apabila tidak diolah dengan benar dapat menimbulkan dampak terhadap lingkungan dan

Dikirim/submitted: 12 Mei 2020

Diterima/accepted: 22 Mei 2020

kesehatan manusia. Adanya beban lebih yang masuk kedalam lingkungan sehingga lingkungan tidak mampu menampung beban tersebut dan dapat terjadi magnifikasi pada manusia sehingga membahayakan untuk kesehatan. Menurut Sanin *et al.* (2011), air limbah industri mengandung logam berat diantaranya adalah Fe. Fe merupakan logam bila dalam jumlah besar di lingkungan dapat menyebabkan toksik bagi lingkungan. Penelitian pendahuluan dilakukan untuk mendapatkan kadar logam Fe dalam salah satu lumpur limbah dari unit *secondary treatment*. Hasil dari analisis tersebut adalah lumpur mengandung Fe sebesar 18.902,8 mg/kg.

Menurut Zhang *et al* (2012), cacing akuatik seperti *Tubificidae*, *Lumbriculidae* dan *Aeolosomatidae* dapat mengurangi lumpur dari proses pengolahan air limbah. *Lumbriculus sp.* merupakan cacing akuatik dengan golongan oligochaeta yang mampu mereduksi lumpur dan mengakumulasi logam. *Lumbriculus sp.* merupakan organisme yang toleran terhadap pencemar. *Lumbriculus sp.* pada umumnya digunakan untuk mengukur biokonsentrasi kontaminan pada sedimen (Karlsson, 2013). Cacing-cacing tersebut mengkonsumsi lumpur sebagai makanannya.

Pengolahan air limbah secara biologis akan menghasilkan lumpur biologis (biosolid), bakteri, bahan organik dan anorganik, fosfor dan senyawa nitrogen serta beberapa jenis polutan seperti logam berat, polutan organik dan patogen (Elissen *et al.* 2010). Menurut *Water Environment Federation* (1998), biosolid adalah padatan dari air limbah yang merupakan produk organik yang secara menguntungkan dapat digunakan setelah pengolahan stabilisasi dan komposting. Karakteristik lumpur mengandung kadar air 87,19%, kadar solid 12,81%, volatil solid 74,44%, karbon 41,36% dan nilai kalor 4168 cal/gram (Lestari dan Yudihanto, 2013). Kandungan pada lumpur tersebut dapat dimanfaatkan sebagai makanan cacing akuatik. Lumpur yang terbentuk dari pengolahan limbah akan mengakibatkan penebalan pada unit pengolahan lumpur. Adapun pengolahan lumpur menggunakan teknik *dewatering* dan *thickening*. Lumpur yang menumpuk di unit pengolahan harus diolah untuk mengurangi beban pada lingkungan dan biaya pengolahan.(Wei *et al.*, 2008). Pengolahan lumpur secara konvensional (*dewatering* dan *thickening*) diketahui masih mengandung Fe. Penelitian ini menganalisis mengenai penurunan Fe dengan memanfaatkan cacing akuatik *Lumbriculus sp.* dalam mengakumulasi logam.

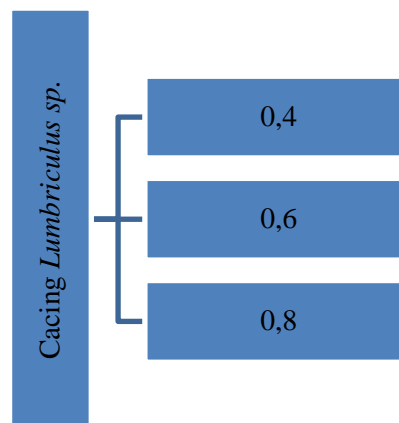
2. METODE PENELITIAN

Penelitian ini menggunakan reaktor cacing akuatik yang diisi air dengan oksigen kemudian ditambahkan lumpur. Analisis penurunan Fe pada lumpur dilihat dari dua kompartemen yaitu

kompartemen air dan kompartemen lumpur dengan cacing. Pengujian penurunan Fe dilakukan dengan memvariasikan rasio berat cacing per berat lumpur (cacing:lumpur). Jenis cacing akuatik yang digunakan adalah *Lumbriculus sp.* Lumpur berasal dari limbah industri dan limbah domestik. Variasi rasio berat cacing:lumpur yang digunakan adalah 0,4; 0,6; dan 0,8. Pemilihan rasio tersebut digunakan untuk menentukan pemenuhan kecukupan lumpur dengan cacing. Penurunan kadar Fe dihitung dengan mengukur kandungan Fe lumpur dalam reaktor setiap hari selama 7 hari. Setiap sehari sekali dilakukan pula analisis kandungan logam Fe pada cacing dan air. Pengambilan sampel dilakukan setiap pukul 08.00 WIB.

2.1 Persiapan Penelitian

Bahan yang digunakan adalah lumpur hasil pengolahan limbah domestik dan industri. Alat yang digunakan pada penelitian ini berupa reaktor uji. Reaktor uji berisi lumpur diisi dengan cacing *Lumbriculus sp.* Variasi reaktor dibuat berdasarkan berat cacing banding berat lumpur. Menurut Buys, *et al.* (2008), rasio minimum berat cacing:lumpur adalah 0,4 dan rasio 0,6 kematian cacing akan meningkat. Perbandingan rasio 0,8 dipilih untuk menjamin kecukupan lumpur terhadap cacing. Dari data tersebut dijadikan dasar pemilihan rasio berat cacing:lumpur. Variasi untuk pengolahan lumpur menggunakan *Lumbriculus sp.* dapat dilihat pada Gambar 1.



Gambar 1. Variasi rasio berat cacing/lumpur

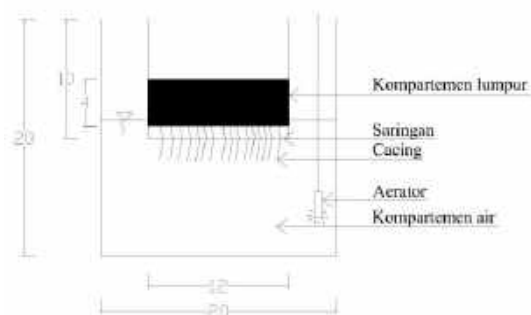
Perhitungan volume lumpur yang dibutuhkan sesuai rasio berat cacing/berat lumpur. Diketahui densitas lumpur sebesar 1 gr/cm³. Adapun berat cacing dan lumpur yang digunakan sesuai dengan rasio dapat dilihat pada Tabel 1.

Tabel 1. Berat cacing dan lumpur dalam reaktor

Jenis cacing	rasio	berat cacing (gr)	Volume lumpur (mL)
	0,4	± 5	± 23,6
<i>Lumbriculus sp</i>	0,6	± 7,5	± 23,6
	0,8	± 10	± 23,6

2.2 Alat dan Bahan

Penelitian ini menggunakan reaktor yang terdiri dari 3 komponen utama yaitu lumpur, cacing, dan air. Kompartemen lumpur berada dibagian atas kompartemen air kemudian ditambahkan cacing sebagai predator lumpur. Kompartemen air berada dibagian bawah bersentuhan dengan kompartemen lumpur, yang mana diharapkan bagian ekor cacing menyentuh air. Kompartemen air dibutuhkan untuk menyesuaikan dengan habitat cacing akuatik. Kompartemen lumpur dilengkapi dengan saringan. Saringan yang digunakan berupa saringan sablon yang berbahan nilon. Saringan ini berfungsi sebagai media menempel cacing sehingga cacing dapat mengambil substrat dari kompartemen lumpur dan mengambil oksigen dari kompartemen air. Reaktor terbuat dari bahan kaca dengan dimensi 20cmx20cmx20cm. Reaktor tersebut diisi air dengan ketinggian 10 cm dan diisi dengan kantung saringan berukuran 15cmx15cmx10cm. Lumpur yang digunakan diambil dari bangunan *Sludge Drying Bed* (SDB) IPAL SIER Surabaya. Cacing yang digunakan adalah cacing akuatik Cacing *Lumbriculus sp.* dengan panjang panjang ±12cm. Detail reaktor cacing pengolah lumpur dapat dilihat pada gambar 2.

**Gambar 2.** Reaktor cacing

2.3 Metode Analisis

Parameter yang digunakan dalam penelitian ini adalah logam Fe menggunakan metode spektrofotometri serapan atom. Pengujian kadar besi dilakukan dalam bentuk persenyawaan

kompleks. Reagen pengompleks yang banyak diusulkan yaitu 1,10 fenantrolin (Anjarsari dan Sugiarto, 2015). Prosedur analisis yaitu menguji kadar Fe lumpur, cacing, dan air. Sampel cacing akuatik dipisahkan dari sedimen lumpur dan kotoran yang melekat dipermukaan tubuhnya. Sampel lumpur dan cacing yang telah terpisah dikeringkan dengan oven suhu 105°C selama 24 jam kemudian sebanyak 0,1 gram sampel kering pada masing masing sampel dimasukkan kedalam *beaker glass* dan dilarutkan dengan aquades sebanyak 25ml. Sampel cacing dan sampel lumpur didestruksi menggunakan 1ml HCl. Larutan yang terbentuk ditambahkan hydroxylamine sebanyak 0,5 mL kemudian dipanaskan hingga volume menjadi 15-20 mL. Encerkan kembali larutan dengan aquades, hingga volume 25 ml dan tambahkan 5 mL ammonium acetat buffer serta 1mL phenantrolin. Nilai Fe pada masing masing sampel dibaca menggunakan spektrofotometer dengan panjang gelombang 510 μm .

Analisis kondisi lingkungan dibutuhkan untuk mengetahui apakah tingkat akumulasi terpengaruh oleh kondisi lingkungan yang buruk atau kondisi lingkungan yang ada sudah sesuai untuk menunjang kehidupan cacing akuatik. Kondisi lingkungan diukur pada reaktor cacing yang meliputi parameter pH, temperatur dan oksigen terlarut. Analisis pH menggunakan metode 4500 H⁺ Electrometric Method dengan menggunakan alat *basic* pH-meter (APHA, 2005). Analisis DO dilakukan dengan menggunakan DO meter. Analisis temperatur dilakukan dengan menggunakan alat termometer.

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

3.1 Kondisi Lingkungan pada Reaktor Uji

Reduksi lumpur menggunakan cacing berhubungan erat dengan kondisi lingkungan yang mendukung aktivitas cacing (Lou *et al.*, 2013). Tingginya reduksi lumpur dapat dicapai dengan kemampuan cacing bertahan hidup dengan baik dalam reaktor. Reaktor uji yang telah terisi air dan lumpur ditambah dengan cacing *Lumbriculus sp.*, selanjutnya mengamati kondisi perilaku cacing. Kondisi cacing pada saat berada pada lumpur terlihat melakukan pergerakan dan perpindahan saat di dalam reaktor. Hal tersebut menunjukkan bahwa cacing dapat hidup dalam reaktor uji. Sebelum melakukan eksperimen, analisis kandungan Fe pada lumpur telah dilakukan dan hasilnya adalah 18.902,8 mg/kg.

Kondisi lingkungan seperti temperatur, pH, oksigen terlarut, toksisitas ammonia berpengaruh pada konsumsi lumpur oleh cacing (Hendrickx *et al.* 2009). Kondisi lingkungan yang diukur pada reaktor cacing dalam penelitian ini meliputi parameter pH, temperatur dan oksigen

terlarut. Analisis ketiga parameter tersebut dilakukan pada kompartemen air saja. Penyesuaian kondisi lingkungan penting dilakukan untuk mengoptimalkan kerja dari reaktor cacing dalam mengolah lumpur limbah.



Gambar 3. Reaktor cacing *Lumbriculus sp.*

Kondisi pH air pada cacing *Lumbriculus sp.* mengalami fluktuatif, namun selisihnya tidak terlalu berbeda jauh dari pH awal. Nilai pH pada reaktor cacing *Lumbriculus sp.* berada pada range 7,64 hingga 8,41, nilai pH tersebut masih dalam nilai pH yang dibutuhkan oleh cacing yaitu 7,5-9.

Tabel 2. Nilai pH air pada reaktor cacing *Lumbriculus sp.*

Waktu (hari)	Rasio cacing:lumpur		
	0.4	0.6	0.8
0	8.41	8.36	8.33
1	8.39	8.31	8.28
2	7.98	7.86	7.91
3	7.99	7.93	7.82
4	8.20	8.27	8.25
5	8.15	8.02	7.64
6	8.01	8.05	7.99
7	8.37	8.33	8.38

pH kompartemen air cenderung turun meskipun tidak signifikan. Penurunan pH yang terjadi pada reaktor karena adanya pembentukan CO₂ dari proses respirasi cacing. Pada umumnya perubahan pH dipengaruhi oleh suhu, oksigen terlarut, respirasi dan metabolisme organisme (Rukminasari dkk, 2014 ; Wetzel, 2001).

Pada analisis suhu, data menunjukkan nilai yang cenderung stabil selama penelitian berlangsung yaitu berkisar antara 28,5-30,5 °C (Table 3). Fluktuasi suhu yang terjadi pada penelitian ini merupakan dampak dari perubahan suhu ruangan. Rata-rata suhu tertinggi dalam reaktor adalah 30°C sehingga akan mempengaruhi kerja cacing dalam mereduksi lumpur. Suhu optimum yang mendukung kehidupan cacing yaitu antara 20-25°C, suhu yang lebih tinggi dari suhu optimum dapat menghambat pertumbuhan cacing (Zhang *et al*, 2012).

Tabel 3. Suhu pada reaktor cacing *Lumbriculus sp.*

Waktu (hari)	Suhu air (°C) tiap rasio cacing:lumpur		
	0.4	0.6	0.8
0	30	30	30
1	30	30	30
2	30	30	30.5
3	29	29	29.5
4	30	29.5	30
5	30	30	30
6	29	29	28.5
7	30	30	30

Kisaran suhu yang menjadi tinggi disebabkan oleh tingginya intensitas cahaya matahari, sehingga suhu ruangan menjadi naik dan mempengaruhi suhu dalam reaktor. Peningkatan suhu mengakibatkan penurunan kelarutan gas-gas di perairan seperti O₂, CO₂, N₂ dan CH₄. Peningkatan suhu juga menyebabkan peningkatan kecepatan metabolisme dan respirasi organisme air yang mengakibatkan peningkatan konsumsi oksigen (Efendi, 2003).

Tabel 4. Kadar DO pada reaktor cacing *Lumbriculus sp.*

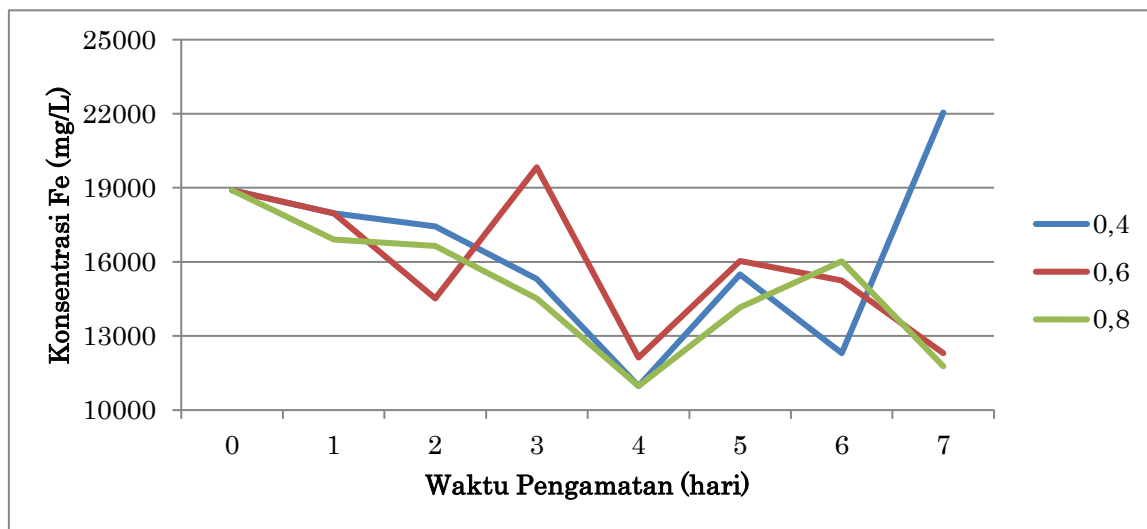
Waktu (hari)	DO air (mg/L) tiap rasio cacing:lumpur		
	0.4	0.6	0.8
0	3.56	3.51	3.53
1	3.38	3.39	3.37
2	3.37	3.36	3.35
3	3.34	3.32	3.31
4	3.1	3.17	3.17
5	3.18	3.18	3.22
6	3.26	3.28	3.28
7	3.29	3.31	3.33

Pada Tabel 4 menunjukkan kadar oksigen terlarut pada cacing *Lumbriculus sp.* paling kecil yaitu 3,1 mg/L dan terbesar adalah 3,56 mg/L. Nilai oksigen hasil analisis pada reaktor cacing

Lumbriculus sp. juga masih dalam keadaan yang sesuai untuk proses metabolisme cacing, yang mana menurut Cahyo dkk (2015) pada konsentrasi DO 2,04 - 3,56 mg/L cacing *Lumbriculus sp.* mampu bertahan hidup.

3.2 Analisis Kandungan Fe

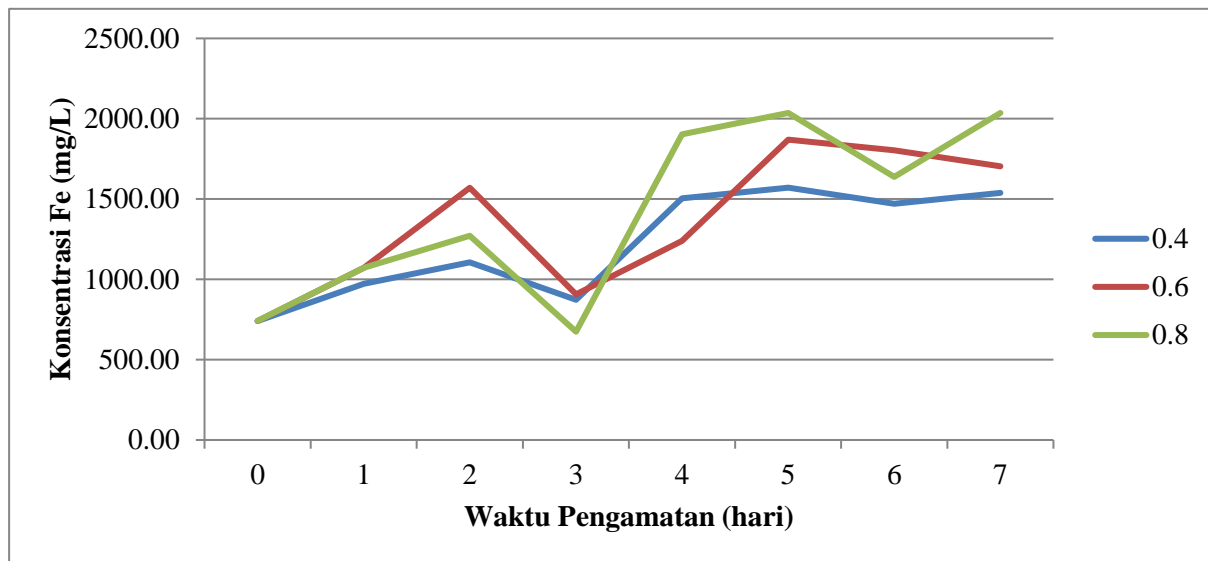
Kadar awal konsentrasi Fe pada perlakuan kontrol lumpur adalah 18.902,8 mg/kg. Penambahan cacing akuatik pada reaktor biologis berpengaruh pada penurunan Fe dalam mengolah lumpur limbah. Grafik penurunan kadar Fe pada lumpur dapat dilihat pada Gambar 4.



Gambar 4. Konsentrasi Fe pada lumpur reaktor cacing *Lumbriculus sp.*

Trendline yang terbentuk pada grafik (Gambar 4) menunjukkan penurunan nilai kandungan Fe pada lumpur. Pada rasio 0,4 terjadi penurunan hingga hari ke 6 yaitu sebesar 13.629,1 mg/kg, namun pada hari ke 7 peningkatan konsentrasi hingga konsentrasi sebesar 22.051 mg/kg. Peningkatan yang terjadi pada hari ketujuh dapat disebabkan feses dari cacing tidak jatuh di kompartemen air sehingga terjadi peningkatan Fe pada lumpur. Rata-rata penurunan konsentrasi Fe sebesar 13,89%. Pada rasio 0,6 dan 0,8, konsentrasi Fe turun menjadi 12.832,1 mg/kg dan 11.769,4 mg/kg, dimana masing-masing persentase penurunan konsentrasi perhari adalah 15,44% dan 21,87%. Masuknya logam berat ke dalam tubuh organisme perairan ada tiga cara yaitu melalui makanan, insang dan difusi melalui permukaan kulit (Sahetapy dalam Widiastuti dkk, 2018). Fluktuasi dalam penurunan Fe pada lumpur disebabkan oleh kemampuan cacing dalam mengkonsumsi logam tiap harinya. Peningkatan dan penurunan konsentrasi logam dapat dikaitkan dengan adanya konsumsi lumpur oleh cacing dan adanya logam yang dikeluarkan oleh cacing (Zhang *et al.* 2012).

Fe merupakan unsur mikronutrien pada cacing. Fe dibutuhkan dalam menghasilkan energi, enzim memanfaatkan Fe pada proses metabolisme selain itu Fe digunakan sebagai transportasi elektron (Palar, 2012). Proses metabolisme atau bio-transformasi yang terjadi dalam tubuh organisme hidup dikenal dengan proses fisiologis. Proses fisiologi disetiap biota akan mempengaruhi akumulasi logam dalam tubuh biota perairan. Besar kecilnya jumlah logam dalam sedimen dipengaruhi pula oleh proses fisiologi dari biota. Adapun kenaikan nilai Fe pada cacing *Lumbriculus sp.* akibat akumulasi pada tubuhnya dapat dilihat pada Gambar 4.



Gambar 5. Konsentrasi Fe pada cacing *Lumbriculus sp.*

Cacing dengan rasio 0,4 dapat mengakumulasi Fe dalam tubuhnya hingga 1570,8 mg/kg hal tersebut dapat dilihat pada hari ke 5 peningkatan konsentrasi rata-rata sebesar 74,31% atau sebesar 55.032,64 mg/kg. Pada hari ke 6 dan ke 7, *Lumbriculus sp.* menyerap Fe lebih sedikit dari hari ke 5. Hal ini dikarenakan fase stationer telah dimulai, dimana cacing tidak dapat mengakumulasi lebih banyak lagi. Fase yang sama terjadi pada rasio 0,6 dimana akumulasi Fe terjadi pada hari ke 5 yakni sebesar 1.869,7 mg/kg dan cacing tidak mampu mengakumulasi Fe pada hari ke 6 dan ke 7. Rata-rata peningkatan konsentrasi yang terjadi pada rasio 0,6 sebesar 96,09% atau sebesar 71.162,9 mg/kg. Pada rasio 0,8 terjadi peningkatan akumulasi maksimum Fe di hari ke 5 yakni sebesar 2035,7 mg/kg. Fase stasioner ditunjukkan pada hari ke 6 dan hari ke 7 dengan jumlah akumulasi yang tidak melebihi dari hari ke 5. Peningkatan konsentrasi pada rasio 0,8 sebesar 105,6% atau sebesar 77.804,77 mg/kg.

Kemampuan cacing dalam mengakumulasi Fe dipengaruhi oleh lingkungan sekitar cacing. Kecukupan pH dan oksigen terlarut mendukung untuk melakukan aktivitas hidup cacing. Nilai pH pada eksperimen tersebut juga masih dalam kondisi netral antara 7,64-8,41 (Tabel 1) dimana selain sesuai untuk hidup cacing, pH netral juga menandakan kondisi logam yang stabil (Palar, 2012). Fe dalam tanah akan larut pada pH 3 sedangkan dalam air Fe mengendap seluruhnya (Gelyaman, 2018), sehingga peningkatan kandungan Fe pada tubuh cacing terjadi akibat dimakannya lumpur yang mengandung Fe.

Menjaga kondisi lingkungan optimum cacing pada suhu 25°C penting dilakukan dalam menunjang proses metabolisme. Pada penelitian Zhang (2012) adanya penurunan tingkat reduksi TSS sebesar $\pm 27\%$ dalam lumpur di suhu 20°C namun tidak banyak pengurangan pada logam Cu, Zn, dan Pb yang terkandung dalam lumpur. Pada penelitian ini diperkirakan suhu yang mencapai 30°C berpengaruh pada metabolisme cacing sehingga berdampak pada penurunan reduksi Fe dalam lumpur oleh *Lumbriculus sp.* Kemampuan maksimum cacing dalam akumulasi logam juga mempengaruhi penurunan Fe pada lumpur. Nilai maksimum akumulasi logam ditunjukkan dari fase stationer Fe dalam cacing.

4. KESIMPULAN

Penelitian ini menganalisis penurunan logam Fe pada lumpur sisa pengolahan limbah oleh cacing akuatik *Lumbriculus sp.* Hasil menunjukkan logam Fe mengalami penurunan pada hari ke 7 sebesar 15,44%, pada rasio 0,6 dan 21,87%, pada rasio 0,8. Rasio 0,4 terjadi penurunan 21,09% pada hari ke 6. Penurunan kandungan logam pada lumpur diikuti dengan kenaikan kandungan logam pada tubuh cacing *Lumbriculus sp.*

DAFTAR PUSTAKA

- Anjasari, N dan Sugiarto, R.D. (2015). Analisa gangguan ion merkuri (II) terhadap kompleks besi (II)-fenantrolin menggunakan metode spektrofotometri UV-Vis. *Jurnal Sains dan Seni ITS*, 4 (2) : 2337-3520.
- APHA, AWWA and WEF. (2005). Standart methods for the eximination of water and wastewater, 21st ed. Washington, D.C. : American public health association, Washington, D.C.
- Buys, B., Klapwijk, A., Elissen, H and Rulkens, W.H. (2008). Development of a test method to assess the sludge reduction potential of aquatic organisms in activated sludge. *Bioresource Technology*, 99 : 8360-8366.

- Efendi, H. (2003). Telaah kualitas air bagi pengelolaan sumberdaya dan lingkungan perairan. Yogyakarta: Kanisius.
- Elissen, H.J.H., Mulder, W.J., Hendrickx, T.L.G., Elbersen, H.W., Beelen, B., Temmink, H and Buisman, C.J.N., (2010). Aquatic worms grown on biosolids: biomass composition and potential applications. *Bioresour. Technol*, 101 (2) : 804–811.
- Gelyaman, G. D. (2018). Faktor – Faktor yang Mempengaruhi Bioavailabilitas Besi bagi Tumbuhan. *Jurnal Siantek Lahan Kering*, 1 (1) : 14-16.
- Karlsson, M.V. (2013). Uptake of pharmaceuyicals and personal care products from sediments into aquatic organism [Thesis]. Doctor of Philosophi, University of York.
- Lestari, D.R. dan Yudihanto,G. (2013). Pengolahan lumpur tinja pada *sludge drying bed* IPLT Keputih menjadi bahan bakar alternatif dengan metode *biodrying*. *Jurnal Teknik Pomits*, 2 (2) : 133-137
- Lou, J., Cao, Y., Sun, P and Zheng, P. (2013). The effects of operational conditions on the respiration rate of Tubificidae. *Plos One*, 8 (12) : 1-9.
- Palar, H. (2012). Pencemaran dan toksikologi logam berat. Jakarta : Reka Cipta.
- Rukminasari, N., Ndiarti, dan Awaluddin, K. (2014). Pengaruh derajat keasaman (pH) air laut terhadap konsentrasi kalsium dan laju pertumbuhan *Halimeda sp. Torani* (*Jurnal Ilmu Kelautan dan Perikanan*), 24 (1): 28-34.
- Sanin, F.D., William, W., Clarkson, P and Vesilind, A. (2011). Sludge Engineering: The Treatment and Disposal of Wastewater Sludges. Pennsylvania : DEStech Publication, Inc.
- Wei, Y., Zhu, H., Wang, Y., Li, J., Zhang P., Hu J and Liu^a J. (2008). Nutrients release and phosphorus distribution during oligochaetes predation on activated sludge. *Biochemical engineering journal*, 43 : 239-245.
- Wetzel, R.G. (2001). Limnology Lake and River Ecosystem Third Edition. Sydney : Academic Press.
- Widiastuti, I., M., Maizar, A., Musa dan Arfiati, D. (2018). Konsentrasi timbal (Pb) dalam Air, sedimen, dan Tubifex sp. pada perairan tercemar logam. *Jurnal Ilmu Perikanan*, 9 (1): 23-30.
- Zhang, X., Tian, Y., Wang, Q., Chen, L and Wang, X. (2012). Heavy metal distribution and speciation during sludge reduction using aquatic worms. *Bioresource Technology* , 126: 41-47.

VALUASI EKONOMI DEGRADASI LINGKUNGAN AKIBAT ALIH FUNGSI LAHAN DI KOTA MALANG, PROVINSI JAWA TIMUR

Dian Hudawan Santoso¹⁾, Ma'ruf Nurumudin¹⁾

¹⁾Jurusan Teknik Lingkungan, Fakultas Teknologi Lingkungan, UPN "Veteran" Yogyakarta
E-mail: hudageo@gmail.com

Abstrak

Degradasi lingkungan yang menyebabkan alih fungsi lahan dan lahan kritis telah terjadi di Kota Malang khususnya tahun 2017. Penelitian ini bertujuan untuk menghitung nilai ekonomi degradasi sumberdaya alam dan lingkungan yang diakibatkan oleh alih fungsi lahan dan lahan kritis. Metode yang dipakai dalam penelitian ini adalah survey lapangan, analisis data primer dan sekunder. Pendekatan yang dipakai adalah teknik biaya pengganti, teknik perubahan produktifitas, teknik biaya pencegahan, dan cost of illness. Berdasarkan analisis dan hasil pembahasan didapatkan bahwa di Kota Malang telah terjadi degradasi lingkungan berupa alih fungsi lahan dan lahan kritis dengan luas 5.802,63 Ha dengan jumlah nilai ekonomi yang hilang sebesar Rp 158.282.980.614,- Nilai degradasi lahan tersebut selanjutnya dapat dijadikan pertimbangan oleh pemerintah dalam rangka untuk melakukan pencegahan maupun rehabilitasi lingkungan secara optimal.

Kata kunci: *Alih fungsi lahan; Degradasi lingkungan; Lahan Valuasi ekonomi*

Abstract

Environmental degradation has led to the conversion of land and critical land. Happened in Malang City especially in 2017. This study aims to calculate the economic value of degradation of natural resources and the environment caused by the conversion of land and critical lands. The method used in this study is a field survey, primary and secondary data analysis. The approach used is the cost replacement technique, productivity change techniques, cost prevention techniques, and the cost of illness. Based on the analysis and results of the discussion it was found that in Malang City environmental degradation had occurred in the form of land conversion and critical land with an area of 5,802.63 Ha with a total economic value of Rp 158,282,980,614. - The value of land degradation could subsequently be taken into consideration by the government in order to carry out optimal prevention and rehabilitation of the environment.

Keywords: *Critical land, Economic valuation, Environmental degradation, reclaiming the land function*

1. PENDAHULUAN

Degradasi lingkungan adalah penurunan kualitas lingkungan hidup yang berpotensi merugikan kehidupan manusia. Degradasi lingkungan hidup dapat disebabkan oleh dua faktor utama, yaitu alam dan manusia (Moersidik, 2014) Secara umum, degradasi lingkungan ini mengakibatkan banyak kerugian seperti kerusakan fisik, korban jiwa, timbulnya penyakit, perubahan iklim, dan kelaparan. Kerugian akibat degradasi lingkungan juga dapat dilihat dari berbagai indikator lain seperti kelangkaan sumber air bersih, pencemaran air dan udara, meluasnya daerah kumuh, dan penetrasi air asin pada sumur penduduk (Triwidiastuti, 2016).

Dikirim/submitted: 6 Mei 2020

Diterima/accepted: 20 Mei 2020

Munculnya degradasi lingkungan disebabkan oleh adanya kegiatan manusia seperti alih fungsi lahan dan lahan kritis. Alih fungsi lahan merupakan perubahan penggunaan lahan dari lahan non terbangun menjadi lahan terbangun seperti persawahan menjadi permukiman (Benu dan Moniaga, 2016) . Lahan kritis adalah lahan yang tidak mampu secara efektif digunakan untuk lahan pertanian, sebagai media pengatur tata air, maupun sebagai pelindung alam lingkungan. Lahan kritis juga dapat didefinisikan sebagai lahan yang tidak sesuai antara kemampuan tanah dan penggunaannya akibat kerusakan secara fisik, kimia, dan biologis sehingga membahayakan fungsi hidrologis, sosioekonomi, produksi pertanian ataupun bagi permukiman. Hal ini dapat menimbulkan bencana erosi dan longsor di daerah hulu serta terjadi sedimentasi dan banjir di daerah hilir (Zain, 1998).

Kota Malang merupakan salah satu kota besar di Jawa Timur yang perkembangannya cukup pesat. (Santoso dan Astuti, 2019) Pertumbuhan dari berbagai sektor yang cukup signifikan pada akhirnya memberikan dampak perubahan lingkungan. Dalam hal ini adalah terjadinya degradasi lingkungan yang disebabkan oleh perubahan penggunaan lahan dari lahan non terbangun menjadi lahan terbangun dan adanya lahan kritis. Degradasi lingkungan yang terjadi di Kota Malang adalah hilangnya kesuburan tanah akibat pola tanam yang tidak tepat sehingga menyebabkan lahan kritis. Lahan kritis menjadikan tanah menjadi tidak berfungsi optimal sehingga terjadilah perubahan penggunaan lahan dari pertanian menjadi permukiman. Adanya degradasi lingkungan merupakan ancaman yang serius bagi keseimbangan ekosistem dan lingkungan di Kota Malang pada masa-masa yang akan datang. Oleh karena itu hal ini tidak bisa dibiarkan begitu saja.

Harus ada upaya yang serius oleh pemerintah dan masyarakat dalam rangka mengatasi permasalahan itu. Untuk itu penting diketahui seberapa besar nilai ekonomi degradasi sumberdaya alam dan lingkungan yang telah terjadi di Kota Malang. Nilai ekonomi degradasi lingkungan dapat dijadikan sebagai acuan kerugian lingkungan yang telah terjadi dalam bentuk rupiah (Santoso dan Astuti, 2020). Ketika telah diketahui nilai ekonomi degradasi lingkungan maka dapat memudahkan pihak terkait untuk merehabilitasi degradasi lingkungan dengan nilai kerugian tersebut sesuai nominal yang telah dihitung. Selanjutnya pemerintah dan pihak terkait mampu melakukan berbagai upaya dalam rangka mengatasi masalah degradasi lingkungan yang telah terjadi. Oleh karena itu penelitian ini bertujuan untuk menghitung nilai ekonomi degradasi sumberdaya alam dan lingkungan yang diakibatkan oleh alih fungsi lahan atau lahan kritis.

2. METODOLOGI

Pendekatan yang digunakan dalam penentuan degradasi lingkungan di Kota Malang mengacu pada isu prioritas lingkungan hidup yang telah dikeluarkan oleh Dinas Lingkungan Hidup Kota Malang dalam laporan Status Lingkungan Hidup Daerah (SLHD) tahun 2017 dan juga berdasarkan Laporan Kajian Indeks Kualitas Lingkungan Hidup Kota Malang tahun 2017. Isu prioritas adalah kondisi atau hal yang harus diperhatikan atau dikedepankan dalam pengelolaan lingkungan karena dampaknya yang signifikan bagi entitas (daerah/masyarakat) di masa yang akan datang. Suatu kondisi atau kejadian yang menjadi isu prioritas adalah keadaan yang apabila tidak diantisipasi, akan menimbulkan kerugian yang lebih besar atau sebaliknya, dalam hal tidak dimanfaatkan, akan menghilangkan peluang untuk meningkatkan kesejahteraan masyarakat dalam jangka panjang (SLHD Kota Malang, 2017).

2.1. Perhitungan Degradasi Lingkungan Akibat Alih Fungsi Lahan dan Lahan Kritis

Pada penelitian ini dibatasi degradasi sumberdaya lingkungan yang dihitung berupa tanah saja karena keterbatasan penelitian meskipun potensi degradasi lingkungan pada sektor lain juga ada misalnya degradasi air dan udara. Penghitungan degradasi sumberdaya alam atau lingkungan (SDALH) berdasarkan degradasi sumberdaya tanah dan diperkirakan terjadi di daerah perkotaan dapat dihitung menggunakan persamaan berikut:

$$\text{Nilai Degradasi Sumberdaya Tanah} = (\text{Volume Erosi} \times \text{Biaya Rehabilitasi Erosi}) + (\text{Luas Konversi} \times \text{Biaya Penggantian Konversi}) + (\text{Volume Lahan Kritis} \times \text{Biaya Rehabilitasi Lahan Kritis})$$

2.2. Penentuan Valuasi Ekonomi Lingkungan

Berdasarkan Peraturan Menteri Negara Lingkungan Hidup No 14 Tahun 2012 tentang Panduan Valuasi Ekonomi, penetapan nilai ekonomi total maupun nilai ekonomi degradasi lingkungan digunakan pendekatan harga pasar dan pendekatan non pasar. Penyusun menggunakan pendekatan harga pasar sebenarnya yang mana melalui pendekatan produktivitas.

2.3. Pendekatan Produktivitas

Valuasi yang dilakukan dengan pendekatan produktivitas untuk memberikan harga SDALH sedapat mungkin menggunakan harga pasar sesungguhnya. Hal ini terutama dapat dilakukan bagi sumber daya alam (SDA) yang diperjualbelikan di pasar. Tahapan pelaksanaannya yaitu penyiapan data dan informasi mengenai kuantitas SDA, pelaksanaan survei untuk membantu

mendapatkan informasi yang diperlukan mengenai kuantitas dan harga SDA yang belum tersedia dan pengkalian jumlah kuantitas SDA dengan harga pasarnya.

Berikut adalah persamaan-persamaan yang digunakan untuk menghitung nilai total SDA :

$$\text{Nilai SDA} = \text{SDA} \times \text{Harga}$$

$$\text{Nilai Total SDA} = (\text{SDA 1} \times \text{Harga 1}) + (\text{SDA 2} \times \text{Harga 2}) + \dots(\text{SDA n} \times \text{Harga n})$$

Terdapat beberapa teknik yang biasa digunakan dalam pendekatan produktivitas ini, yaitu 1) Perubahan Produktivitas, 2) Biaya Pengganti, dan 3) Biaya Pencegahan.

1) Teknik Perubahan Produktivitas (*Change of Productivity*)

Teknik ini menggunakan nilai pasar yang ada dari suatu SDA. Dengan mengetahui harga pasar dan kuantitas SDA, maka dapat diketahui nilai total dari SDA tersebut. Kuantitas SDA dipandang sebagai faktor produksi. Perubahan dalam kualitas lingkungan merubah produktivitas dan biaya produksi yang kemudian mengubah harga dan tingkat hasil yang dapat diamati dan diukur. Tahapan pelaksanaannya yaitu penggunaan pendekatan langsung dan menuju sasaran, penentuan perubahan kuantitas SDA yang dihasilkan untuk jangka waktu tertentu, kepastian perubahan merupakan hal yang berkaitan dengan perubahan lingkungan yang terjadi dan pengkalian perubahan kuantitas dengan harga pasar.

2) Teknik Biaya Pengganti (*Replacement Cost*)

Teknik ini secara umum mengidentifikasi biaya pengeluaran untuk perbaikan lingkungan hingga mencapai/mendekati keadaan semula. Biaya yang diperhitungkan untuk mengganti SDA yang rusak dan kualitas lingkungan yang menurun atau karena praktek pengelolaan SDA yang kurang sesuai dapat menjadi dasar penaksiran manfaat yang kurang diperkirakan dari suatu perubahan. Tahapan pelaksanaannya yaitu identifikasi fungsi SDA yang hilang karena perubahan kualitas lingkungan, penentuan pengganti fungsi SDA yang hilang/terganggu, menyiapkan data fisik termasuk harga pasar untuk masing-masing komponen yang dibutuhkan sehubungan dengan fungsi pengganti serta penghitungan jumlah nilai moneter untuk menciptakan semua fungsi dan manfaat yang diganti.

3) Teknik Biaya Pencegahan (*Prevention Cost Expenditure*)

Apabila nilai jasa lingkungan tidak dapat diduga nilainya, maka pendekatan ini, baik pengeluaran aktual maupun potensi pengeluaran, dapat dipakai. Melalui teknik ini, nilai lingkungan dihitung berdasarkan hal-hal yang disiapkan masyarakat untuk melakukan upaya pencegahan kerusakan lingkungan, seperti pembuatan terasering untuk mencegah terjadinya erosi di dataran tinggi, biaya pemeliharaan taman nasional untuk memperbaiki kualitas air, udara, dan lain-lain. Tahapan pelaksanaannya yaitu penentuan cara untuk melakukan pencegahan (meminimalkan dampak) baik cara preventif secara fisik maupun perilaku menghindari risiko, mengestimasi biaya tenaga kerja dan material yang dibutuhkan serta biaya investasi yang diperlukan untuk pemulihan dampak lingkungan, pengidentifikasian data dan harga pasar untuk setiap komponen data yang dibutuhkan dan penjumlahan semua nilai pengeluaran untuk melaksanakan upaya pencegahan tersebut.

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

Identifikasi terhadap kondisi lingkungan berdasarkan isu prioritas SLHD Kota Malang dan Laporan Kajian Indeks Kualitas Lingkungan Hidup di Kota Malang tahun 2017 ditemukan beberapa jenis permasalahan lingkungan yang dapat memicu dan menyebabkan terjadinya degradasi sumberdaya alam dan lingkungan salah satu diantaranya adalah lahan kritis dan alih fungsi lahan. Munculnya permasalahan degradasi lingkungan akibat alih fungsi lahan dan atau lahan kritis tersebut disebabkan berbagai macam faktor sehingga dampak yang dihasilkan akan bersifat kumulatif.

Perubahan penggunaan lahan berlangsung signifikan terjadi di Kota Malang pada akhir-akhir ini. Hal ini disebabkan oleh alih fungsi lahan tak terbangun khususnya lahan pertanian dan sawah, menjadi lahan terbangun. Alih fungsi lahan dapat mengakibatkan hilangnya lapisan atas tanah (*top soil*) sehingga lahan tersebut berubah menjadi lahan kritis. Terjadinya alih fungsi lahan salah satu faktornya disebabkan oleh penambahan jumlah penduduk yang cukup signifikan, melihat Kota Malang merupakan salah satu kota destinasi pendidikan dan pariwisata. Selain itu Kota Malang juga merupakan kota industri, perdagangan dan jasa sehingga mengundang penduduk yang berasal dari luar daerah untuk menjalani pendudukan atau bekerja di Kota Malang. Berdasarkan laporan SLHD, (2017) pertumbuhan penduduk yang disebabkan migrasi lebih tinggi dibandingkan pertumbuhan penduduk alami. Hal ini dapat menyebabkan kebutuhan akan ruang permukiman menjadi meningkat. Pada tahun 2017, jumlah penduduk Kota Malang mencapai 861.414 jiwa. Laju pertumbuhan penduduk

pertahun di Kota Malang mencapai 0,49% dengan kepadatan penduduk sebesar 8.880,69 jiwa/km². Pertumbuhan penduduk ini jika tidak ditanggulangi dengan rencana penataan ruang Kota Malang yang baik akan berdampak negatif terhadap secara umum kualitas lingkungan Kota Malang.

Berdasarkan data BPN Kota Malang dalam SLHD Kota Malang tahun 2017, terjadi penambahan luas lahan permukiman hingga mencapai 54,99% dari luas lahan permukiman tahun 2016. Saat ini luas lahan permukiman sudah mencapai 41.748 ha. Sementara terjadi pengurangan luas lahan sawah sebesar 84,10% dari luas sawah tahun 2016. Sehingga luas lahan sawah di Kota Malang pada tahun 2017 hanya sebesar 29.555 Ha. Begitu pula dengan luas lahan pertanian yang berkurang sebesar 64,90% dari luas lahan pertanian di tahun 2016. Sehingga luas lahan pertanian di Kota Malang pada tahun 2017 hanya tersisa 70.073 Ha.

Lahan kritis tersebar di 5 kecamatan di Kota Malang. Timbulnya lahan kritis berdampak terhadap lingkungan seperti dapat menyebabkan banjir, erosi maupun berkurangnya daerah resapan air. Luas lahan kritis di Kota Malang terlihat pada Tabel 1.

Tabel 1. Luas Lahan Kritis di 5 (lima) Kota Malang Tahun 2017

Kecamatan	Luas Wilayah (ha)	Luas Lahan Kritis (ha)	% Lahan Kritis terhadap Luas Wilayah
Kedungkadang	3.989	2.874,34	72,057
Lowokmaro	2.260	1.202,77	53,22
Sukun	2.097	1.144,37	54,572
Blimbing	1.777	5.16,33	29,056
Klojen	883	64,82	7,341
Jumlah	11.006	5.802,63	52,72

Sumber : SLHD Kota Malang, 2017

Data lahan kritis tersebut menunjukkan Kecamatan Kedungkadang memiliki luas wilayah 3.989 ha terdiri dari 2.874,34 Ha lahan kritis, untuk Kecamatan Lowokmaro dengan total luas 2.260 Ha kurang lebih 53,22% merupakan lahan kritis atau seluas 1.202,77 Ha. Begitu pula dengan Kecamatan Sukun yang total luasnya 2.097 Ha 54,572% diantaranya adalah lahan kritis, Kecamatan Blimbing total luas 2.097 ha yang 29,056% atau 516,33 ha adalah lahan kritis. Kecamatan Klojen 883 ha terdiri dari 64,82 ha lahan kritis dan Kecamatan Jumlah 11.006 ha yang mana 52,72% merupakan lahan kritis.

Lahan kritis yang ada di Kota Malang sebagian besar merupakan hasil dari alih fungsi lahan dari lahan sawah dan pertanian menjadi lahan terbangun (Gambar 1). Dilihat dari luas lahan kritisnya, lahan kritis di Kota Malang paling banyak terdapat di Kecamatan Kedungkadang

yaitu seluas 2.874,34 ha yang merupakan 72,057% dari luas kecamatan. Sedangkan lahan kritis paling sedikit terdapat pada Kecamatan Klojen yaitu seluas 64,82 ha atau 7,341% dari luas wilayah kecamatan. Secara keseluruhan jumlah lahan kritis yang ada di Kota Malang adalah 5.802,63 ha atau 52,72% dari luas wilayah Kota Malang.



Gambar 1. Alih Fungsi Lahan Dari Lahan pertanian menjadi lahan terbangun

Penghitungan valuasi degradasi lahan kritis pada penelitian ini menggunakan dua pendekatan yaitu pendekatan substitusi dan pendekatan nilai produktivitas pertanian yang hilang. Perhitungan valuasi lahan kritis dilakukan dengan cara menghitung harga pupuk yang harus dibayar untuk melakukan restorasi lahan kritis. Penentuan lahan kritis pada metode substitusi menggunakan pendekatan kandungan nutrisi yang terkandung pada tanah, yaitu Natrium (N), Fosfor (P), dan Kalium (K) yang terdegradasi akibat alih fungsi lahan. Oleh karena itu untuk memvaluasi harga tanah yang terdegradasi digunakan pendekatan harga pupuk NPK dengan lahan yang dialokasikan menjadi lahan terbangun (Tabel 2).

Tabel 2. Nilai Degradasi Lahan Kota Malang

Jenis Pupuk	Kebutuhan Pupuk	Unsur Hara Tanah	Harga Pupuk	Harga Pupuk
	kg per Ha	N, P, K	(Rp per Kg)	(Rp per Kg)
NPK	250	70%, 20%, 10%	2.300	575.000
Kebutuhan Pupuk per Ha (Rp, per Ha per musim)				575.000
Kebutuhan Pupuk per Ha (Rp, per Ha per tahun)				1.725.000
Total luas lahan kritis (Ha)				5.802,63
Nilai Ekonomi nutrisi tanah yang hilang (Rp)				10.009.536.750

Sumber : Permentan Nomor 06/Permentan/SR.130/2/2011 tentang HET, Permentan Nomor 40/Permentan/OT.140/4/2007 tentang rekomendasi pemupukan N,P,K pada lokasi sawah spesifik

Dengan adanya lahan kritis dapat diperkirakan nilai nutrisi lahan yang hilang karena lahan kritis tersebut. Karena tanah umumnya terdiri dari unsur N 70%, unsur P 20% dan unsur K 10%, maka dengan menggunakan Pupuk NPK (*Natrium Phospor Kalium*) dengan harga Rp 2.300,00 per kg dalam kemasan 50 kg. Dengan harga tersebut dapat diperkirakan seluruh kehilangan nutrisi pada lahan kritis di Kota Malang. Harga pupuk perkilogram kemudian dikali dengan dosis yang disarankan untuk penanaman padi, yaitu 250 kg/ha, dikali kebutuhan pupuk per musim (musim tanam padi selama 1 tahun adalah 3 kali) kemudian dikali dengan luas lahan kritis keseluruhan yaitu 5.802,63 ha sehingga didapatkan nilai ekonomi degradasi lahan kritis di Kota Malang adalah **Rp 10.009.536.750,-**.

Pendekatan produktivitas hasil pertanian digunakan untuk mengetahui berapa besar nilai rupiah yang hilang akibat lahan kritis tidak mampu lagi memproduksi bahan makanan pokok dalam hal ini beras atau padi. Sebagian besar lahan kritis yang terjadi adalah alih fungsi lahan dari lahan sawah dan pertanian menjadi lahan terbangun maka dapat diasumsikan bahwa ketersediaan lahan penghasil pangan di Kota Malang juga berkurang. Luas lahan yang sudah tidak produktif secara keseluruhan di Kota Malang 5802,63 ha. Produktivitas padi di kota Malang tahun 2017 dapat dilihat pada Tabel 3.

Tabel 3. Produktivitas Padi di Kota Malang Tahun 2017

Kecamatan	Luas Panen (ha)	Produksi (kg)	Produktivitas (kg/ha)
Kedungkandang	706	5041	71,43
Sukun	549	3641	66,32
Klojen	0	0	0
Blimbing	211	1515	71,95
Lowokwaru	597	4613	77,25
Jumlah	2063	14640	70,98

Sumber : BPS Kota Malang Dalam Angka, 2018

Berdasarkan Peraturan Menteri Perdagangan RI No 27/M-DAG/PER/5/2017 Tentang Penetapan Harga Acuan Pembelian di Petani dan Harga Acuan Pencualan di Konsumen di ketahui harga Gabah Kering Panen (GKP) sebesar Rp 3.600,-/ kg. Berdasarkan hal tersebut diatas maka dapat dihitung rupiah yang hilang dari produktivitas bahan pangan di Kota Malang yaitu sebesar 5802,63 Ha x 70,98 Kg/Ha x 100 x Rp 3.600,- = Rp 148.273.443.864,00.

Berdasarkan hasil perhitungan tersebut dapat disimpulkan bahwa terjadinya alih fungsi lahan dari lahan produktif menjadi lahan yang tidak produktif selama tahun 2017 telah menyebabkan hilangnya jasa ekosistem (pangan) sebesar **Rp 148.273.443.864,00**. Hilangnya jasa ekosistem pangan dalam hal ini beras atau padi telah menurunkan kontribusi Kota Malang dalam penyediaan bahan pangan.

Berdasarkan perhitungan di atas didapatkan total nilai rupiah yang hilang akibat terjadinya lahan kritis dan alih fungsi lahan pada tahun 2017. Adanya lahan kritis yang menyebabkan ketidaksuburan tanah bernilai Rp 10.009.536.750,00. Kemudian adanya lahan kritis dan alih fungsi lahan menyebabkan produktivitas pertanian yang hilang sebesar Rp 148.273.443.864,00. Sehingga total nilai degradasi lahan sebesar **Rp158.282.980.614,00**.

Analisis perhitungan diketahui nilai total degradasi lahan di Kota Malang adalah sebesar **Rp158.282.980.614,00**. Nilai degradasi lahan tersebut selanjutnya dapat dijadikan pertimbangan oleh pemerintah dalam rangka untuk melakukan pencegahan maupun rehabilitasi lingkungan secara optimal. Minimal dibutuhkan nilai rupiah yang setara untuk mengganti produktivitas lahan dan lingkungan yang telah hilang.

4. KESIMPULAN

Terjadinya alih fungsi lahan dan lahan kritis selama tahun 2017 di Kota Malang telah menyebabkan terjadinya degradasi lingkungan. Degradasi lingkungan dapat menyebabkan hilangnya produktivitas lahan. Produktivitas lahan yang telah berkurang berupa jasa pangan dan ketidaksuburan tanah. Jika dikonversikan dalam rupiah nilai jasa pangan yang hilang secara keseluruhan di daerah penelitian adalah sebesar Rp 148.273.443,00 sedangkan nilai hilangnya kesuburan tanah adalah sebesar Rp 10.009.536.750,00. Nilai ekonomi degradasi lahan akibat alih fungsi lahan dan lahan kritis di Kota Malang sebesar Rp 158.282.980.614,00. Dibutuhkan nilai rupiah yang setara untuk mengganti produktivitas lahan dan lingkungan yang telah hilang.

DAFTAR PUSTAKA

- Benu, N. M., & Moniaga, V. R. (2016). Dampak Ekonomi dan Sosial Alih Fungsi Lahan Pertanian Hortikultura Menjadi Kawasan Wisata Bukit Rurukan di Kecamatan Tomohon Timur, Kota Tomohon. *AGRI-SOSIOEKONOMI*, 12(3) : 113-124.
- Badan Pusat Statistik (BPS) Kota Malang. (2018). Data Produktivitas Padi di Kota Malang Tahun 2017 diakses melalui <https://malangkota.bps.go.id/> pada 10 Oktober 2018

- Dinas Lingkungan Hidup (DLH) Kota Malang. (2017). Data Indeks Kualitas Lingkungan Hidup (IKLH) Kota Malang Tahun 2017, Malang, Jawa Timur
- Dinas Lingkungan Hidup (DLH) Kota Malang. (2017). Pengembangan Data dan Informasi Lingkungan Kota Malang (SLHD), Malang, Jawa Timur
- Moersidik, S. S. (2014). Degradasi Lingkungan Di Kawasan Penyangga Suaka Margasatwa Bukit Rimbang Bukit Baling Propinsi Riau. *Jurnal Ilmu Lingkungan*, 8(2) : 214-225.
- Santoso, D. H dan Astuti, F. A. (2019). Penilaian Ekonomi Jasa Lingkungan Pada Ruang Terbuka Hijau (RTH) Di Kota Malang Provinsi Jawa Timur. *Jurnal Mineral, Energi, dan Lingkungan*, 3(2) : 69-82.
- Santoso, D. H dan Astuti, F. A. (2020). Valuasi Deplesi Sumberdaya Air dalam Rangka Penghitungan PDRB Semi Hijau di Kota Malang, Jawa Timur. *Jurnal Ilmiah Lingkungan Kebumihan*, 2(1) : 1-12.
- Triwidiastuti, Sri Enny, (2016), Model Degradasi Kualitas Lingkungan Hidup di Perkotaan pada Waktu Tertentu. Tangerang Selatan : Peran Matematika, Sains, dan Teknologi dalam Mendukung Gaya Hidup Perkotaan (Urban Lifestyle) yang Berkualitas. *Universitas Terbuka* , hal. 11-28. ISBN 978-602-392-160-7
- Zain, A.S. (1998). Aspek Pembinaan Kawasan Hutan dan Sertifikasi Hutan Rakyat. Jakarta: Rineka Cipta.

A BRIEF REVIEW OF EMS IMPLEMENTATION IN UNIVERSITY

Filson M Sidjabat¹⁾, Riri Asyahira¹⁾, Michelle Gunawan¹⁾

¹⁾Environmental Engineering Study Program, Faculty of Engineering, President University

E-mail : fmsidjabat@president.ac.id

Abstract

Higher education institutions have a huge population that induces the large consumption of drinking water, the large consumption of electricity, the production of large quantities of garbage, the use of high transport and the rise in the building of facilities. Thus, the implementation of the Environmental Management System in University is crucial to achieving sustainable development. This study is a literature review of the ISO 14001 Environmental Management System implementation in University. The discussions are among the EMS implementation in Indonesia's university, as well as in other country universities. The implementation started from the environmental policy that was made by the university adjusting to the ISO 14001, the environmental management planning, implementation, and assessment for evaluation. Several universities have been implementing an environmental management system but still need improvement. Universities should start implementing environmental management practices that promote sustainable development and protection of the environment. These initiatives can focus on various environmental aspects, depending on the needs and culture of the university. However, some case studies have shown that solid waste management is a common aspect that many institutions are focused on.

Keywords: *University, Environmental Management System, Green Campus, Sustainability*

1. INTRODUCTION

Environmental Quality Management System (EQMS) is a collection of regulations, systems, and procedures that is necessary for the implementation and planning of production, development, and operation in the core business field of the organization or company. Environmental Quality Management System organizations are the way to measure its performance of the operation meets with the objective. EQMS is established based on the standard of action measurement that is needed to be done. EQMS can be certified, and it proves that the company has good environmental awareness and quality control. The purpose of EQMS itself should enable the company to provide good service and products and minimize environmental degradation (Simola, 2015).

The International Organization for Standardization (ISO) provides the standard that helps organizations to ensure both purposes of EQMS. First is ISO 9001 helps ensure that customers get consistent good-quality products and services. Another one is the ISO 14001 Environmental Management Systems (EMS) standard of an International Standardized Organization, which provides guidelines for an organization, in keeping with the philosophy of 'plan-do-check-actions,' to continuously improve its environmental efficiency. Because of ongoing questions

Dikirim/submitted: 15 Mei 2020

Diterima/accepted: 28 Mei 2020

regarding global environmental effects and climate change, the ISO 14001 specification reflects organizational sustainability commitments (Salim et al., 2018).

University, as a higher education institution has an interest in promoting sustainability. It is a key stakeholder that has a significant opportunity for changing behavior through environmental education and innovation (Sonetti et al., 2016). The United Nations also put great emphasis on the role of higher education institutions in promoting sustainable development (Aleixo et al., 2018). A sustainable university can be defined as “A higher education institution, as a whole or as a part of it, which discusses, involves and encourages, at a global or regional level, the minimization of the detrimental environmental, cultural, health and economic effects produced through the use of its resources to accomplish its teaching, science, outreach and collaboration functions, and stewardship in ways that enable society to migrate to sustainable lifestyles.” (Alshuwaikhat, 2008).

Universities have the primary function of educating the next generation of leaders. Therefore, it plays an important role more than any other sectors in terms of implementing sustainable development and tackling sustainability issues. (Omracen et al., 2018) Implementation of university sustainability serves as a role model for students and is also an important way of raising awareness about sustainability. Universities have four roles to play, which are education, research, outreach, and CO₂ reduction. (Omracen et al., 2018).

According to a report by the International Sustainable Campus Network (ISCN), there are several common approaches to implement sustainability in universities. First is the Living Lab Approach, which is described as “providing opportunities for students to engage with hands-on experience both on campus and more broadly to learn and solve critical issues”. For example, in De La Salle University – Dasmariñas, they have student initiatives that educate the community of the importance of waste management. The second approach focuses on equality and wellbeing for all, which focuses on the social aspects of sustainable development. Third, the university implements sustainability by integrating sustainability in the infrastructure and operations of the university. For example, Chulalongkorn University has a five-year zero university action plan to cut usage and waste. Lastly, the university applies sustainability through the education approach by having courses and programs that teach sustainability (ISCN, 2018).

Higher education aims to enhance environmental efficiency continuously by EMS. It demonstrates the value of EMS implementation as an attempt to achieve higher education sustainability (Nurcahyo et al., 2019). Higher education may implement ISO 14001 as an organizational guide to implement a system of environmental management that promotes sustainability (Pramono et al., 2017). Based on data that has been published or released by the Ministry of Technology and Higher Education Research (Kemenristekdikti) through the higher education database page, in 2018 the number of universities in Indonesia is 4,586. (DIKTI, n.d.) Meanwhile, with the heavy use of resources, high water use, high energy use, substantial waste, extensive transport and extensive construction of buildings and infrastructure, universities will have a considerable effect on the environment (Amrina and Suryani, 2019).

For instance, the university in Indonesia is regarded as an effective way of implementing and promoting the principle of sustainable development for civitas academia and the surrounding community through the environmental management system (EMS) (Nurcahyo et al., 2019; Pramono et al., 2017; Santoso et al., 2017). Global issues have arisen as a result of various agreements and promises concerning the need for sustainability in the university education and the role of higher learning and promoting sustainability. As a result, even more, university programs and initiatives are being implemented to incorporate sustainability into its processes. This literature review has the objective of analyzing various aspects of EMS application in the university including the role of sustainability measurement tools, the environmental problem in university, environmental planning and enforcement, implementation assessment, as well as the implementation in Indonesia's higher education and others country higher education. The last is to give a recommendation. The methods for identifying important parameters or criteria through observing several case studies.

2. MATERIALS AND METHODS

This paper is a literature review that analyzed various sources in a systematical way according to a fixed plan, thoroughly and efficiently to get result and discussion about sustainability measurement tools, the environmental problem in university, environmental planning and enforcement in university, environmental management system implementation and its assessment for university area. Besides, the implementation of environmental management systems in universities in Indonesia and other countries must also be analyzed. Then, the recommendations were explained inadequate way thorough case study analysis. Keywords

used in search engines are the university, environmental management system, green campus, sustainability campus.

3. RESULTS AND DISCUSSION

3.1. SUSTAINABILITY MEASUREMENT TOOLS

An important aspect is developing tools to measure, monitor, and evaluate the sustainability of an institution. Currently, there are several tools available such as the College Sustainability Report Card, STARS, GREENSHIP and UI Green Metric. First, the College Sustainability Report Card is a tool for evaluating the sustainability of university and colleges as an institution. This tool is intended to recognize the colleges and universities that lead sustainability by example.

There are nine categories of assessments, namely administration, climate change & energy, food & recycling, green building, student involvement, transportation, endowment transparency, investment priorities, shareholder engagement (*The College Sustainability Report Card*, n.d.). The Second tool, STARS stands for "Sustainability Tracking, Assessment & Rating System". This tool is an assessment program under The Association for the Advancement of Sustainability in Higher Education (AASHE). From the assessment, institutions will be given points that decide their ratings. The rating system in STARS includes bronze, silver, gold, platinum or reporter ratings. The categories assessed are operations, academics, planning & administration, engagement, and innovation & leadership (*About STARS - The Sustainability Tracking, Assessment & Rating System*, n.d.).

Next, GREENSHIP is an assessment method for determining building scores on the accomplishment of the eco-sustainable construction framework. GREENSHIP is prepared and collected by the Indonesian Green Building Board, taking into account the circumstances, natural character, laws, and requirements applicable in Indonesia. The six categories of Greenship assessments are Land Use, Energy Efficiency and Energy Conservation, Water Source & Cycle Materials, Air Quality & Indoor Air Comfort, Building Environmental Management (*GREEN BUILDING COUNCIL INDONESIA - GREENSHIP*, n.d.). UI-Green Metric has the function of "helping the higher education measure sustainability efforts within the university environment." (Marrone et al., 2018) This tool provides guidelines and frameworks for helping higher education institutions to implement sustainable behaviors. In

UI-Green Metric, there are six categories, setting and infrastructure, energy and climate change, waste, water, transportation, and education. (Nurcahyo et al., 2019)

In addition to the assessment tools mentioned above, Implementation of EMS is another option that could provide the institution with the tools to control and monitor operational aspects and sustainable practices. (Torregrosa-López et al., 2016) EMS is assumed to be able to increase participation and sustainable practices by providing a platform and means for staff and students to implement sustainable practices. (Omrcen et al., 2018) Although there is continuing discussion about the utility of the ISO 14001 standard and model for higher education programs in the university environmental management framework. Some scholars have concluded that the EMS model such as ISO 14001 is suitable for any organization, including institutions of higher education. Some found that universities need a unique EMS framework. (Clarke & Kouri, 2009)

3.2. ENVIRONMENTAL PROBLEM OF UNIVERSITY

As a center for education, universities have several environmental issues that need to be given attention. The university area has a huge population that induces the use of large quantities of drinking water, the large use of electricity, the production of large quantities of garbage, the use of high transport and the rise in the building of facilities. According to reports by ASEAN-USAID, the standard consumption of education institutions are 240 kWh/m²/year (Adhiaksa et al., 2019). This causes negative impacts that include raising the temperature in the university area due to increased emissions caused by motorized vehicles when the use of motorized vehicles is not limited, drought and lack of clean water supplies if the use of clean water is not controlled, and environmental degradation due to the absence of waste management created by university activities (Amrina and Suryani, 2019). A study that survey student's perception toward environmental issues in university found that a majority of students answered that scattered litter is the most frequent environmental issue (Maffia et al., 2011). As mentioned before universities consume a huge amount of electricity to support the learning activities.

A study in one of the universities in Indonesia found that the highest energy user in university buildings is the air conditioning system with 50-70%, then 10-25% of which comes from artificial lighting (Nur et al., 2019). Energy use in university buildings is influenced primarily by different factors such as the size of the structure, construction age, usage, working hours, amount of equipment installed, and climate (Amber et al., 2017). Besides, from academic

activities, one of the reasons for the importance of environmental management at the university is where some of the university's laboratories produce hazardous and toxic waste (Sari & Kamalia, 2019). Such as the case of the calculation of hazardous and toxic waste from one of the laboratories of a reputable university in Indonesia, shows that the acid waste produced is 34.85 kg/week, bases 43.91 kg/week, solvents 83.91 kg/week, infectious waste 0.152 kg/week, heavy metals 27.47 kg/week, and chemical mixture 267.23 kg/week. Seeing the amount and types of hazardous and toxic waste produced are different, the management effort must also be different for every type of waste (Sidik and Damanhuri, 2016)

3.3. ENVIRONMENTAL PLANNING AND ENFORCEMENT

Universities need to formulate environmental policies as a fundamental component driving all the other environmental management systems requirements, which include planning, application, and enforcement. Most universities in Indonesia refer to UI green metrics as an indicator, and ISO 14001 as a reference in setting the standard and application of the policies. ISO 14001: establishes requirements for environmental management systems that organizations can use to improve their environmental performance. This international standard helps the organization achieve the desired results from its environmental management system, which provides value to the environment, the organization itself, and the parties concerned (Sari and Kamalia, 2019). A variety of elements of ISO 14001, amongst other items, are envisaged by the reporting framework and environmental management system requirements such as (Sari and Kamalia, 2019).

1. Master Plan of Waste Management Program
2. Plan of the WWTP.
3. Planning of water catchment building and laying.

This standard is based on the **Plan-Do-Check-Action** (PDCA) model for improving the environmental management system (EMS) requirements. The PDCA loop, which offers greater confidence in its application, underpins the current environmental management systems model (Torregrosa-López et al., 2016). Samples of critical elements of ISO 14001 aligned with the PDCA systems of enhancement are shown in the figure 1.

The use of external university correspondence includes relevant departments and contact with the academic community. The university receives, registers, and responds to relevant complaints or grievances from external parties by introducing these two forms of contact. The

correspondence on the world applies to protocols for internal and external contact. The method consists of Interior coordination between various roles and levels of the organization and Acceptance, documentation, and answers to relevant external communications (ISO 14001) (Sari and Kamalia, 2019). Each institution may have a strategy for implementing environmental planning that varies according to their needs, so it is essential to conduct a thorough evaluation before making a strategy (Choi et al., 2017).



Figure 1. Samples of critical elements of ISO 14001 aligned with the PDCA system of enhancement

Another research from one of the universities in Korea and official organizations are running Green Campus Plans and sponsored by the university in twelve multilateral categories as shown in the table 1 governance, electricity, water, climate change, greenhouses, green purchases, waste disposal and recycling, food and dining, tourism, land usage, education, and student life. Distinctive sustainability strategies or characteristics include the following: District heat and cooling loops; Stormwater strategies; an Environmental environment and development plan; Waste audit reports; public transit on university; Electric Lane, which supplies several electric cars charging stations; a "Park Block" which represents the "Sustainability Campus." (Leal, 2020).

Table 1. Green Campus Plans

Categories	Plans
Administration	-Official organizations for sustainability campus. -Funding -Research for long term plans
Energy	-Green revolving fund -Energy conservation guideline -District heating and cooling loop -Efficient class scheduling for saving energy -Interactive energy dashboards for student's understanding about building energy generation and consumption -Solar photovoltaic (PV) arrays on campus
Water	-Stormwater plan -Sustainable drinking water -Landscaping practices to help reduce pollutants in stormwater
Climate action	-Climate action plan -Climate action progress -Climate champions guidance document -Climate champions checklist
Green Building	-Achieving leadership in Energy and Environmental Design (LEED) Certifications is necessary for newly constructed or renovated facilities since 2003. -Technical design standards for green building
Waste reduction and recycling	-Waste audit reports -Course catalogs, schedules, and directories are no longer printed, and free PDFs are available online. -Recycle -Outdoor compost bin
Food and Dining Services	-Reusable to-go container program -All cooking oil recycled into bio-diesel -Excess pre-consumer food donated to charity -Increasing local and organic food purchases -Bike hub offers bicycle services, classes, and merchandise.
Transportation	-Bicycle transportation plans -Making cycle track -Zipcar for free lower rates
Land Use	-Green pedestrian corridor -Clean air corridor -Making and maintaining a community garden and park block
Actions	Online guide for information about commuting to campus, eating on or around campus, working in an office traveling for university purpose, living on campus, learning or teaching in a classroom, researching in a lab, and purchasing university supplies
Education and Student Activity	-Sustainability Volunteer Program -Student Sustainability Leadership Council -Green Student Groups -Graduation Sustainability Pledge -Campus gardens -Sustainability-related and focused courses -Graduate Certificate in Sustainability -Sustainability scholar group

3.4. EMS IMPLEMENTATION ASSESSMENT

ISO 14001 EMS are designed to achieve sustainable development for the organization's environmental aspects, namely higher education. Assessment tools can compliment the EMS by providing a performance indicator that can improve the EMS implementation.

The use of the UI green metric as an indicator of performance results provides input for policymakers at Andalas University to continue to improve sustainable university performance in detail, so that it can be an evaluation to improve the implementation of EMS on the university (Amrina and Suryani, 2019)

Another research found that there is two green university implementation assessment currently used by universities worldwide, namely AASHE, which creates the Sustainability and Ranking System (STARS) and the University of Indonesia, which issues GreenMetric UI. GreenMetric UI provides a more general appreciation and is easy to use. STARS assessment will be easy to view in the official website, but the GreenMetric UI does not clarify how to assess in full (Santoso et al., 2017).

GreenMetric's STARS and UI have separate evaluation types and methods. STARS consists of 65 sub-indicators and 19 indicators in 5 academic, engagement, operational, planning, management and innovation categories (STARS, 2017) while GreenMetric UI has 38 signs in 6 criteria: infrastructure and environment, energy and climate change, waste, water, education and transport (Santoso et al., 2017).

Analytical Hierarchy Process (AHP) and Importance Performance Analysis (IPA)

The analytical hierarchy process and importance-performance analysis are used to determine the factors that have importance in the implementation of ISO 14001 in universities. The analytical hierarchy method (AHP) is an important decision-making technique for multi-criteria applications in various fields, including economics, politics, and engineering (Nugroho et al., 2014). The AHP will give scores to criteria according to its importance. The AHP then produces weights for each evaluation parameter based on a set of standards comparisons between the decision-makers. The higher the weight, the more the corresponding criteria, is al relevant (Pramono et al., 2017). AHP flowchart is shown in Figure 2.

According to Philip Kotler, the purpose of the importance-performance review is to rate various elements of a service set and classify the activities that are required (Lo-Iacono-Ferreira et al., 2018). In an IPA diagram there are four quadrants, Quadrant 1: Concentrate These, Quadrant

2: Keep up the good work, Quadrant 3: Low priority and Quadrant 4: Possible Overkill (Figure 3).

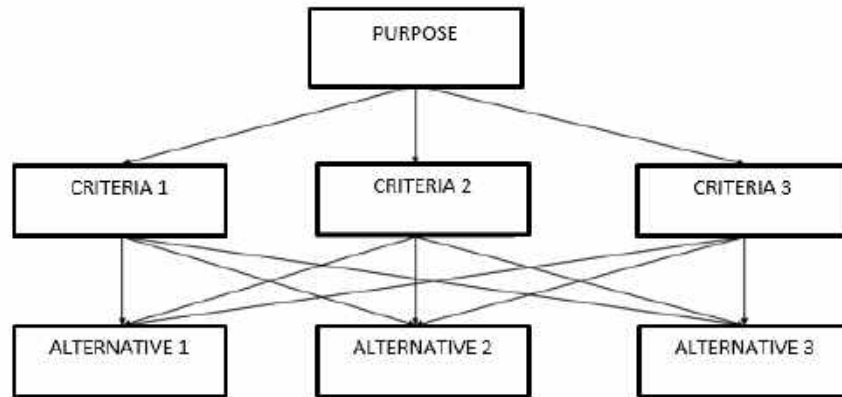


Figure 2. AHP Flow chart

Usually, the big challenge in implementing ISO 14001 in institutions is cost. In addition, the things that are crucial in its application are the awareness of all stakeholders (Gunawan et al., 2020). In terms of ISO 14001 implementation in university, AHP and IPA analysis are used to determine which factors are relevant to the implementation of ISO and needs to be improved. Conducting this analysis will help in the successful implementation process of ISO 14001 in university.

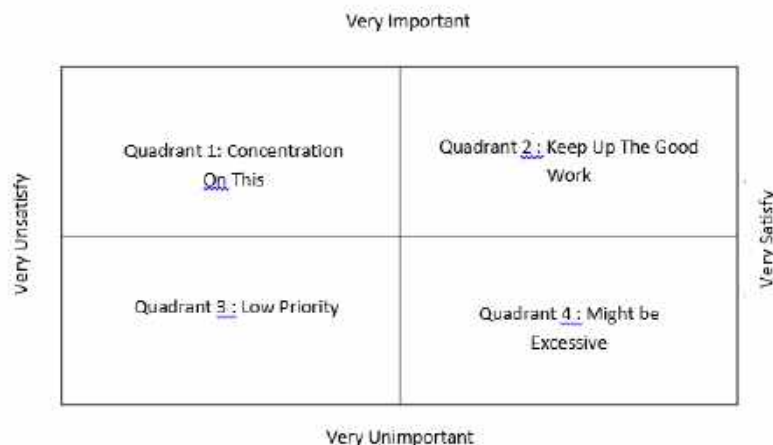


Figure 3. Importance Performance Analysis Diagram

3.5. EMS FOR UNIVERSITY IMPLEMENTATION IN INDONESIA

The first case study is a research (Pramono et al., 2017) that was done analyzing the university sustainability of Diponegoro University by using AHP and IPA (Pramono et al., 2017). The study was analyzed 5 main criteria, which are: (1) Commitment and policy, (2) Planning, (3)

Implementation and Operation, (4) Management Review, and (5) Checking and Corrective action. Generally, the university has an overall good result in terms of compliance. From the AHP analysis, it is found that the most important criteria are the implementation and operation. This criterion relates to the allocation of resources and ensuring that operating procedures are were developed, recorded and widely communicated. The most important sub-criteria in for implementation and operation is that "Procedures periodically tested and reviewed." From the IPA diagram, it was found that quadrant 1 contain checking and corrective action criterion, the second quadrant contain implementation and operation as well as management review. In the fourth quadrant, it contains commitment and policies and planning. Criterion located in the first quadrant means that the institution needs to concentrate and improve on this criterion.

The second case study is a research that was conducted at Brawijaya University. For the AHP assessment, the researches spread questionnaires to five expert respondents. The scores to identify the importance of each criterion ranges from 1-9. The AHP assessment found that the most important criterion is the institution's environmental policy. From the AHP and IPA analysis, it was found that both the control of documents and institution environmental policy is the top priority in running ISO 14001.

From the case study, it can be observed that the studies have a slightly different method in running the AHP and IPA analysis. The first case study uses an IPA diagram, while the second case study multiplies the AHP values with the IPA values to find the highest value. It can also be observed that each university or higher education institution will have different criteria, depending on the environment and culture of the university itself. Although both methods might work, it might be beneficial to develop a standardized method of analysis that can be used and aid in the improvement of EMS implementation in higher education institutions in Indonesia.

Universities that are considering implementing EMS (or already implemented it) should look into AHP and IPA assessment as a possible tool to assess the success and find weak points in the implementation of ISO 14001 or other EMS options in Universities. It is observed that the institution that has implemented environmental management systems has a defined environmental agenda that assists in identifying goals, the institution's program parameters are simple to identify because it specifically defines the mechanism and the activities and the environmental factors that have already been established as being of significance.

3.6. EMS FOR HIGHER EDUCATION IMPLEMENTATION IN OTHER COUNTRY

Research in a European university (Lo-Iacono-Ferreira et al., 2018) tried to create a procedure for defining key performance indicators for EMS implementation in higher education institutions. The procedure includes defining the reporting organization, identifying environmental factors that are significant, defining goals, and key performance indicators. From the procedure, the researchers identified seven key performance indicators for the Universitat Politècnica de València (UPV). These include the Ratio of the consumption of clean energy to the gross electricity consumption, Ratio of recycled waste to the total generated waste, GHG emissions from machines and facilities equipped by combustion engines, boilers, and own vehicle use, Ratio of sustainable purchases over the total of purchases, Ratio of sustainable tenders over total tenders, the amount of GHG pollution from FTE students commuting and the amount of GHG pollution from FTE staff commuting. By identifying these key performance indicators, the organization can plan the necessary actions to improve the sustainability of the university.

In India, there are several case studies of environmental management practices such as in Shiva Ji University in Maharashtra. The university carried out a green audit to track the usage of various environmental aspects on its university, such as water use, energy use and waste management. Then the university applied environmental efforts such as using composting in the university canteen, use of street light in an effective manner, no vehicle day, and many more initiatives (Bhandari & Raj, 2019).

From the case studies in other countries, it is found that developing key performance indicators or a method of green auditing for higher education institutions in Indonesia can help the institutions to develop plans and initiatives that are critical for each institution's needs.

4. CONCLUSION

The implementation of the environmental management system in higher education institutions has to be done starting from an environmental policy made by university adjusting to the ISO 14001, the environmental management planning, implementation, and assessment for evaluation. As an institution that creates future leaders, universities should start implementing environmental management practices that promote sustainable development and protection of the environment. These initiatives can focus on various environmental aspects, depending on the needs and culture of the university. Although, some case studies have shown that solid waste management is a common aspect that many institutions focus on several universities

which have been implementing an environmental management system but still need improvement. Identifying the important criteria and the key performance indicators of the university is an important step to ensure a successful implementation of environmental management systems, either ISO 14001 or other assessments. This can be done in several ways, such as AHP and IPA analysis or other unique assessment procedures. Further studies can be done on the application of criteria importance analysis integration with ISO 14001 in other types of institutions.

REFERENCES

- Adhiaksa, G., Basyarach, N. A., Tasmono, H. (2019). Analisis Pemakaian dan Upaya Untuk Pencapaian Efisiensi Energi Listrik di Universitas Muhammadiyah Sidoarjo. *Jurnal Elsains*, 1 (2).
- Aleixo, A. M., Leal, S., and Azeiteiro, U. M. (2018). Conceptualization of sustainable higher education institutions, roles, barriers, and challenges for sustainability: An exploratory study in Portugal. *Journal of Cleaner Production*, 172 : 1664–1673.
- Alshuwaikhat, H. (2008). Higher education for sustainable development An integrated approach to achieving campus sustainability: Assessment of the current campus environmental management practices. *Proceedings of the 4th International Barcelona Conference on Higher Education*, 7(7).
- Amber, K. P., Aslam, M. W., Mahmood, A., Kousar, A., Younis, M. Y., Akbar, B., Chaudhary, G. Q., and Hussain, S. K. (2017). Energy consumption forecasting for university sector buildings. *Energies*, 10(10) : 1–18.
- Amrina, E dan Suryani, F. (2019). Evaluasi Penerapan Kampus Berkelanjutan dengan UI GreenMetric di Universitas Andalas. *Jurnal Dampak*, 16(2), 95–104.
- Bhandari, M., and Raj, S. (2019). Environmental Management Systems in Higher Education Institutions in India : A Workplace Management Approach. *International Conference on Ethics and Integrity in Management and Legal Practises*, 9(3), 8–9.
- Choi, Y. J., Oh, M., Kang, J., and Lutzenhiser, L. (2017). Plans and living practices for the green campus of portland state university. *Sustainability (Switzerland)*, 9(2) : 1–16.
- Clarke, A., and Kouri, R. (2009). Choosing an appropriate university or college environmental management system. *Journal of Cleaner Production*, 17(11) : 971–984.
- DIKTI. (n.d.). *Jumlah Perguruan Tinggi Negeri (PTN) dan Perguruan Tinggi Swasta (PTS) di Indonesia Tahun 2018 - BERBAGI ILMU* (online) from

- <https://www.rijal09.com/2018/02/jumlah-perguruan-tinggi-negeri-ptn-dan-perguruan-tinggi-swasta-pts-di-indonesia-tahun-2018.html> , Retrieved April 30, 2020.
- Green Building Council Indonesia - Greenship*. (n.d.). (online) from <http://gbcindonesia.org/greenship> Retrieved July 4, 2020.
- Gunawan, M., Asyahira, R., and M Sidjabat, F. (2020). Environmental Management System Implementation in MSMEs: A Literature Review. *Jurnal Serambi Engineering*, 5(2) : 1070-1078.
- International Sustainable Campus Network. (2018). Sustainable Campus Best Practice from ISCN and Gulf Universities (online) from <https://doi.org/10.1017/CBO9781107415324.004>
- Leal, J. E. (2020). AHP-express: A simplified version of the analytical hierarchy process method. *MethodsX*, 7.
- Lo-Iacono-Ferreira, V. G., Capuz-Rizo, S. F., and Torregrosa-López, J. I. (2018). Key Performance Indicators to optimize the environmental performance of Higher Education Institutions with environmental management system – A case study of Universitat Politècnica de València. *Journal of Cleaner Production*, 178 : 846–865.
- Maffia, A. M. de C., Silva, E., and Jacovine, L. A. G. (2011). Meio ambiente e consciência ambiental: Como concebem e atuam discentes universitários. *Acta Scientiarum - Biological Sciences*, 33(2) : 209–214.
- Marrone, P., Orsini, F., Asdrubali, F., and Guattari, C. (2018). Environmental performance of universities: Proposal for implementing campus urban morphology as an evaluation parameter in Green Metric. *Sustainable Cities and Society*, 42: 226–239.
- Nugraha, R., Harsono, A., dan Adianto, H. (2013). Usulan Peningkatan Kualitas Pelayanan Jasa pada Bengkel “ X ” Berdasarkan Hasil Matrix Importance-Performance Analysis. *Reka Inetgra*, 1(3): 221–231.
- Nurcahyo, R., Handika, F. S., Gabriel, D. S., and Habiburrahman, M. (2019). Integration of UI Greenmetric performance measurement on ISO 14001 implementation in higher education. *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering*, 697(1).
- Omrçen, E., Lundgren, U., and Dalbro, M. (2018). Universities as role models for sustainability: a case study on implementation of University of Gothenburg climate strategy, results and experiences from 2011 to 2015. *International Journal of Innovation and Sustainable Development*, 12(1–2) : 156–182.
- Pramono, S. N. W., Ulkhaq, M. M., Trianto, R., Setiowati, P. R., Rasyida, D. R., Setyorini, N.

- A., and Jauhari, W. A. (2017). Integrating the analytic hierarchy process and importance-performance analysis into ISO 14001 framework for assessing campus sustainability. *AIP Conference Proceedings*, 1902.
- Salim, H. K., Padfield, R., Hansen, S. B., Mohamad, S. E., Yuzir, A., Syayuti, K., Tham, M. H., and Papargyropoulou, E. (2018). Global trends in environmental management system and ISO14001 research. *Journal of Cleaner Production*, 170(July) : 645–653.
- Santoso, N. D., Akmalah, E., dan Irawati, I. (2017). Implementasi konsep green campus di Kampus Itenas Bandung berdasarkan kategori tata letak dan infrastruktur. *Jurnal Online Institut Teknologi Nasional*, 3(4) : 139–150.
- Sari, K. E., and Kamalia, S. (2019). The application of environmental management system based on ISO 14001 in Brawijaya Malang University. *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*, 340(1) : 1-9.
- Sholekhah, S.N.F and Setyowati, D. L. (2019). Penggunaan Energi Listrik Warga Fis dalam Mewujudkan Pilar Energi Bersih di Kampus Unnes Tahun 2018. *Edu Geography* 7(2) : 151–158.
- Sidik, A. A., and Damanhuri, E. (2016). Study of Management of Hazardous Waste in the Laboratories of Itb. *Jurnal Teknik Lingkungan Volume*, 18(April) : 12–20.
- Simola, S. (2015). Environmental and quality management systems: case: HFT Network Oy (online) from <http://www.theseus.fi/handle/10024/100879>.
- Sonetti, G., Lombardi, P., and Chelleri, L. (2016). True green and sustainable university campuses? Toward a clusters approach. *Sustainability (Switzerland)*, 8(1) : 1–23.
- STARS. About STARS - The Sustainability Tracking, Assessment & Rating System. (n.d.) (online) from <https://stars.aashe.org/about-stars/> Retrieved July 4, 2020.
- The College Sustainability Report Card*. (n.d.) (online) from <http://www.greenreportcard.org/report-card-2011/executive-summary.html> , Retrieved July 4, 2020
- Torregrosa-López, J. I., Lo-Iacono-Ferreira, V., Martí-Barranco, C., and Bellver-Navarro, C. G. (2016). The strengths of EMAS as an environmental management system for European university campuses. *International Journal of Environment and Sustainable Development*, 15(1): 89–106.

ANALISIS LIMPASAN PERMUKAAN DI SEKITAR KAMPUS UNIVERSITAS MUHAMMADIYAH SORONG KOTA SORONG

Anif Farida¹⁾, Vrita Tri Aryuni²⁾

¹⁾Program Studi Agroteknologi Fakultas Pertanian, Universitas Muhammadiyah Sorong

²⁾Program Studi Pendidikan Geografi Fakultas Keguruan dan Ilmu Pendidikan, Universitas Khairun

E-mail : aniffarida23@gmail.com

Abstrak

Daerah sekitar Kampus Universitas Muhammadiyah Sorong didominasi oleh kawasan terbangun dan menyisakan sedikit untuk vegetasi (pohon). Pembangunan lahan terbangun dan penutupan permukaan tanah dengan material yang diperkeras berpotensi menyebabkan tingginya limpasan permukaan (surface runoff) di daerah tersebut. Tujuan penelitian ini adalah menghitung besarnya nilai koefisien aliran dan debit limpasan permukaan (surface runoff) yang ada di sekitar Kampus Universitas Muhammadiyah Sorong. Teknik analisis yang digunakan dalam penelitian ini adalah analisis kuantitatif. Nilai koefisien aliran ditentukan dengan rata-rata tertimbang dan berdasarkan penutup lahan. Debit limpasan permukaan dihitung dengan persamaan Rasional. Hasil penelitian menunjukkan bahwa koefisien aliran dipengaruhi oleh penutup lahan. Nilai koefisien aliran total sebesar 0,53 yang berarti 53 % dari hujan yang jatuh menjadi limpasan permukaan. Debit limpasan permukaan paling tinggi pada kejadian hujan tanggal 17 Oktober 2019 sebesar 1,2 m³/detik dengan intensitas hujan 33,69 mm/jam, sedangkan paling rendah tanggal 30 September 2019 sebesar 0,202 m³/detik dengan intensitas hujan 5,67 mm/jam.

Kata kunci: Koefisien Aliran, Limpasan Permukaan, Penutup Lahan

Abstract

The areas around the University of Muhammadiyah Sorong are mostly areas that have been developed with little remaining vegetation (trees). The development of the area, by covering the ground surface with hard material, has the potential to increase the surface runoff. The aim of the study is to examine the amount of surface runoff and the size of the runoff coefficient in the area around the University. The quantitative analysis adopted in this research. The runoff coefficient calculated by weighted average based on the land cover. The surface runoff is calculated using the rational formula. The result shows that the runoff coefficient is influenced by the land cover. The total runoff coefficient has a value of 0,53 which means that 53% of the rain becomes surface runoff. The highest surface runoff was 1,2 m³/s with a rain intensity of 33,69 mm/hr on October 17th, 2019, while the lowest was 0,202 m³/s with rain intensity of 5,67 mm/hr on September 30th, 2019..

Keywords: Land Cover, Runoff Coefficient, Surface Runoff

1. PENDAHULUAN

Sungai, danau, waduk merupakan penyedia air bersih utama yang tergantung dari *runoff* yang ada. *Runoff* merupakan keseluruhan air yang ditransportasikan dari DAS (Daerah Aliran Sungai) oleh sungai kecil (Ward and Trimble, 2013). Permasalahan yang ada di Indonesia yang terkait dengan sumberdaya air antara lain adalah semakin kritisnya sumber airtanah

Dikirim/submitted: 16 Mei 2020

Diterima/accepted: 29 Mei 2020

(*groundwater*), sungai (*river*) dan lain-lain. Permasalahan mengenai sumberdaya air menjadi suatu hal penting yang harus mendapat perhatian serius, karena akan berakibat nyata terhadap berbagai aspek kehidupan manusia.

Permasalahan muncul karena terjadinya perubahan penggunaan lahan (*land use*) yang sangat cepat khususnya dari lahan yang bervegetasi menjadi lahan terbangun (permukiman, kawasan industri, kawasan pendidikan, dan lain-lain) yang berakibat pada meningkatnya nilai koefisien *runoff* (Astuti dkk., 2017). Pada saat curah hujan ekstrim dan terjadinya perubahan penggunaan lahan dalam proses urbanisasi dapat mempengaruhi karakteristik tanah, yaitu dengan menyebabkan pengikisan tanah dan tebing sungai; membawa pergi hara seperti nitrogen, fosfor dan potassium serta polutan di tanah pertanian; selain itu mempengaruhi *surface runoff*, manajemen air di DAS, meningkatkan resiko banjir di daerah perkotaan; mengakibatkan kerusakan parah seperti kerusakan jembatan, sarana prasarana umum, dan banjir serta endapan lumpur (Hu et al., 2020; Ward and Trimble, 2013; Mazur, 2018). Hal ini akan menyebabkan munculnya potensi banjir.

Lahan yang diperkeras dapat menyebabkan peningkatan jumlah *surface runoff*, debit puncak dan rasio *runoff*, mengurangi waktu respon *runoff*, perubahan *recharge* airtanah dan keseimbangan air. Asesmen kuantitatif efek urbanisasi pada *surface runoff* sangat penting dalam perencanaan kota, manajemen sumberdaya air dan peringatan dini terjadinya banjir di perkotaan (Hu et al., 2020; Sugandi and Pascawijaya, 2019).

Pentingnya air dalam kehidupan menjadikan sumberdaya air perlu dikonsevasi, salah satunya adalah melalui manajemen DAS. Hal ini disebabkan karena perilaku hidrologis DAS memiliki peran penting dalam perencanaan dan manajemen sumberdaya air (Ningaraju et al., 2016). Perluasan lahan terbangun seperti lahan permukiman dan bangunan komersil dapat membentuk suatu lapisan kedap air sehingga diperlukan konservasi air untuk menjamin ketersediaannya, salah satu caranya dapat dilakukan dengan penyerapan dan penyimpanan hujan pada tiap lahan terbangun (Sugandi and Pascaswijaya, 2019).

Kampus Universitas Muhammadiyah Sorong merupakan salah satu kampus yang terletak di tengah-tengah bangunan permukiman warga. Perkembangan kampus dari waktu ke waktu menyebabkan pembangunan menjadi salah satu solusi akan kebutuhan ruang untuk kampus. Akan tetapi pembangunan lahan menjadi lahan diperkeras menyebabkan resiko semakin

berkurangnya resapan air dan memperbesar aliran permukaan yang berakibat genangan dan banjir di daerah tersebut.

Berdasarkan observasi pada kawasan sekitar kampus Universitas Muhammadiyah Sorong banyak ditemukan genangan-genangan air, terutama pada daerah yang dibangun atau yang permukaan tanahnya diperkeras. Bahkan di beberapa tempat sering terjadi luapan air dari saluran drainase yang menjadi genangan atau banjir yang mengganggu aktivitas masyarakat jika hujan turun dengan intensitas yang cukup tinggi seperti pada Jalan Pendidikan maupun Jalan Frans Kaisepo, Kelurahan Malaingkeci (Fauzan dan Pristianto, 2017). Untuk dapat mengetahui sebaran limpasan permukaan yang dapat memicu genangan ataupun banjir pada suatu daerah maka diperlukan analisis koefisien aliran dan debit limpasan permukaan (*surface runoff*) (Astuti dkk., 2017). Koefisien aliran adalah nisbah antara aliran dengan curah hujan pada selang waktu dan kondisi fisik DAS tertentu. Koefisien ini dapat dihitung dengan pendekatan fisik maupun dengan perhitungan aliran atau debit (Indriatmoko dan Wibowo, 2007). Tujuan dari penelitian ini adalah menghitung besarnya nilai koefisien aliran dan debit limpasan permukaan (*surface runoff*) yang ada di sekitar Kampus Universitas Muhammadiyah Sorong.

2. METODE PENELITIAN

2.1 LOKASI PENELITIAN

Lokasi penelitian berada di sekitar Kampus Universitas Muhammadiyah Sorong yang secara administrasi masuk dalam wilayah Kelurahan Klabulu Distrik Malaimsimsa. Secara geografis daerah penelitian terletak antara $131,294581^{\circ}$ BT- $131,299837^{\circ}$ BT dan $0,881319^{\circ}$ LS- $0,886196^{\circ}$ LS. Batas administrasinya yaitu sebelah utara berbatasan dengan Kelurahan Klageke, sebelah timur berbatasan dengan Kelurahan Malanu dan Kelurahan Sawagumu, sebelah selatan berbatasan dengan Kelurahan Klasabi dan Kelurahan Remu Selatan sedangkan sebelah barat berbatasan dengan Kelurahan Malaingkeci.

Menurut Peta Geologi Kota Sorong Skala 1 : 100.000, daerah penelitian termasuk dalam formasi Qa (Endapan Alluvium dan Litoral). Adapun jenis tanah berdasarkan Peta Tanah Skala 1 : 50.000 yaitu Typic Dystrudepts. Hasil analisis data klimatologi dari BMKG, daerah penelitian masuk dalam klasifikasi iklim Schmidt-Ferguson mempunyai tipe A (sangat basah) dengan curah hujan rata-rata 232 mm/bulan.

2.2 PENGUMPULAN DATA

Dalam penelitian ini data yang dikumpulkan terdiri atas data primer dan data sekunder. Data primer berupa data penutup lahan tahun 2019 diperoleh dengan cara melakukan cek lapangan hasil interpretasi penutup lahan dari Citra Satelit tahun 2019. Data sekunder berupa data curah hujan harian diperoleh dari Badan Meteorologi Klimatologi dan Geofisika, Peta RBI Digital Kota Sorong Skala 1 : 50.000 diperoleh dari Badan Informasi Geospasial, Peta Geologi Kota Sorong Skala 1 : 100.000 diperoleh dari USGS dan Peta Tanah Skala 1 : 50.000 diperoleh dari Balai Besar Litbang Sumber Daya Lahan Pertanian.

2.3 PENGOLAHAN DATA

2.3.1 Intensitas Hujan

Intensitas hujan merupakan ukuran kuantitas hujan yang jatuh pada satu satuan waktu, dinyatakan dalam mm/jam. Intensitas hujan setiap waktu berdasarkan data curah hujan harian memakai rumus Mononobe (Sujono, 1997). Hal ini dikarenakan data hujan yang tersedia di Badan Meteorologi Klimatologi dan Geofisika Kota Sorong berupa curah hujan harian.

$$I = \frac{R_{24}}{24} \left(\frac{24}{t} \right)^{3/4} \quad (1.1)$$

Keterangan :

I : intensitas curah hujan (mm/ jam)

R₂₄ : curah hujan harian (mm)

t : lama hujan (jam), dengan asumsi hujan terdistribusi selama 24 jam

2.3.2 Koefisien Aliran

Perhitungan koefisien aliran dalam penelitian ini menggunakan pendekatan dari penggunaan lahan/penutup lahan. Masing-masing penutup lahan mempunyai nilai koefisien aliran yang berbeda seperti yang dikemukakan oleh Asdak (2007) dan Soewarno (2000). Tabel 1 menyajikan nilai koefisien aliran. Setelah ditentukan koefisien aliran setiap penutup lahan selanjutnya dihitung koefisien aliran total menggunakan rata-rata tertimbang (Farida, 2006) sebagai berikut :

$$C = \frac{C_1A_1 + C_2A_2 + C_3A_3 + \dots + C_nA_n}{A_1 + A_2 + A_3 + \dots + A_n} \quad (1.2)$$

Keterangan :

C_{1,2,3..n} : harga koefisien pengaliran pada masing-masing bagian daerah yang sesuai dengan penutup lahannya

A_{1,2,3..n} : luas masing-masing bagian daerah

Tabel 1. Nilai Koefisien Air Larian C Untuk Persamaan Rasional

Tataguna lahan	C
Atap rumah	0,70
Bangunan padat	0,70
Aspal dan beton	0,70
Tanah kosong	0,30
Lapis keras kerikil, batu pecah	0,70
Lapis keras beton	0,70
Hutan/ vegetasi	0,25
Taman, halaman	0,30

Sumber : Asdak (2007) dan Soewarno (2000)

2.3.3 Debit Limpasan Permukaan

Untuk memperkirakan besarnya air aliran puncak (*peak runoff*, Q_p), metode rasional (U.S. Soil Conservation Service, 1973) adalah salah satu teknik yang dianggap baik. Metode ini relatif mudah digunakan dan lebih diperuntukkan pemakaiannya pada daerah yang berukuran kecil kurang dari 300 ha (Asdak, 2007). Persamaan matematis metode rasional untuk memperkirakan besarnya limpasan permukaan sebagai berikut :

$$Q_p = 0,278 \cdot C \cdot I \cdot A \quad (1.3)$$

Keterangan :

Q_p = debit limpasan ($m^3/detik$)

C = koefisien aliran

I = rata-rata intensitas hujan (mm/jam)

A = luas wilayah (km^2)

2.4 ANALISIS DATA

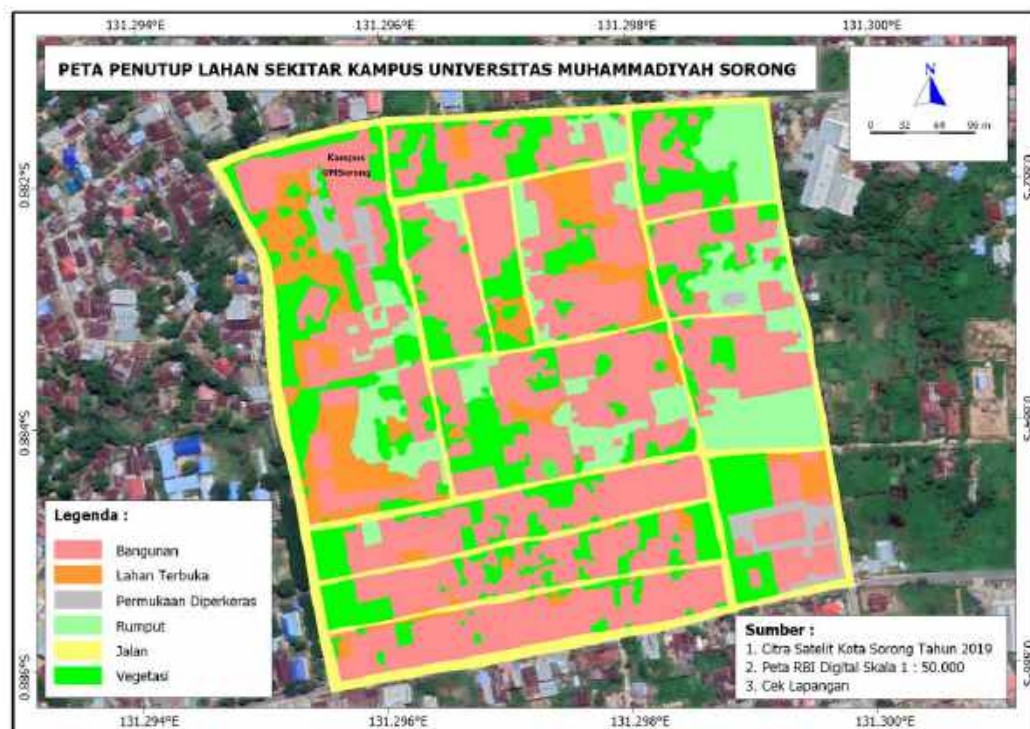
Analisis data yang digunakan dalam penelitian ini yaitu analisis kuantitatif. Analisis ini dilakukan dengan cara menghitung besarnya koefisien aliran total dan debit limpasan permukaan. Dalam analisis ini koefisien aliran ditentukan dengan menggunakan pendekatan penutup lahan kemudian untuk koefisien aliran total daerah penelitian dihitung menggunakan rata-rata tertimbang. Setelah didapatkan data intensitas hujan dan koefisien aliran maka dilakukan analisis debit limpasan permukaan dengan menggunakan persamaan rasional.

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

3.1. PENUTUP LAHAN (*LAND COVER*)

Penutup lahan berhubungan erat dengan segala jenis kenampakan yang ada di permukaan bumi yang bersifat umum misalnya bangunan, vegetasi, lahan terbuka. Berbeda dengan penggunaan

lahan yang berkaitan dengan aktivitas manusia pada suatu lahan dan lebih bersifat spesifik (khusus) (Lillesand dan Kiefer, 1990). Daerah sekitar Kampus Universitas Muhammadiyah Sorong memiliki variasi penutup lahan yang beraneka ragam yang secara garis besar terdiri dari bangunan, lahan terbuka, permukaan diperkeras, rumput, jalan dan vegetasi seperti yang disajikan pada Gambar 1.



Gambar 1. Peta Penutup Lahan Sekitar Kampus Universitas Muhammadiyah Sorong

Pada daerah ini banyak lahannya yang terbangun dan permukaannya diperkeras sehingga air menggenang saat terjadi hujan karena air tidak dapat masuk seluruhnya ke dalam tanah. Hal ini menyebabkan beberapa titik lokasi, terutama yang memiliki ketinggian lebih rendah atau berbentuk cekungan dan permukaannya diperkeras menjadi rentan tergenang. Penggenangan ini selain mengganggu juga mengindikasikan buruknya drainase pada daerah tersebut. Pembangunan gedung dan perumahan, pengkerasan dengan konblok maupun semen mengakibatkan air hujan tidak dapat mengalir masuk ke dalam tanah dengan baik dan salah satu solusi yang banyak dilakukan adalah dengan membuat saluran air. Akan tetapi hal ini bukanlah pemecahan yang terbaik mengingat akan pentingnya lahan sebagai daerah penyerap air hujan sehingga airtanah dapat tercukupi. Di samping itu efek dari penyaluran air hujan pada saluran-saluran atau sungai secara langsung akan meningkatkan resiko banjir pada daerah hilir.

Tabel 2 menunjukkan luas dan persentase masing-masing penutup lahan. Bangunan menempati 45,87% dari total wilayah penelitian sedangkan vegetasi mencapai 20,22 % dari total wilayahnya. Permukaan diperkeras hanya menempati 2,01 % dari luas wilayah. Berdasarkan persentase tersebut terlihat bahwa bangunan mendominasi seluruh area akan tetapi masih ada cukup lahan yang dapat dijadikan tempat penyerapan air hujan (vegetasi). Akan tetapi dengan semakin banyaknya lahan terbangun dan juga adanya genangan-genangan air pada beberapa tempat menjadi bahan pertimbangan diperlukannya daerah resapan yang dapat menampung air hujan tersebut ke dalam tanah sehingga dapat mengurangi jumlah *runoff*.

Tabel 2. Luas Penutup Lahan

Penutup Lahan	Luas (m²)	Persentase
Bangunan	110.533,33	45,87
Jalan	30.260,20	12,56
Lahan Terbuka	19.057,40	7,91
Permukaan Diperkeras	4.850,18	2,01
Rumput	27.562,47	11,44
Vegetasi	48.716,10	20,22
Total	240.979,68	100,00

Sumber : Hasil Analisis, 2019

Pengaruh penutup lahan terhadap respon hidrologi dapat dilihat dari *discharge* harian, total dan puncak *runoff* tahunan, meningkatkan *overlandflow* dan penurunan *baseflow* serta ketersediaan air (Nejadhashem *et al.*, 2011). Semakin besar persentase tutupan vegetasi hutan maka semakin besar aliran dasarnya, semakin rendah koefisien aliran (*runoff coefficient*) dan semakin rendah discharge alirannya, hujan akan berinfiltrasi ke tanah karena adanya seresah hutan yang tebal dan kandungan bahan organiknya yang membantu penyerapan tanah menyerap air (Budiyanto *et al.*, 2015; Guzha *et al.*, 2018).

3.2 INTENSITAS HUJAN

Intensitas hujan menyatakan jumlah curah hujan yang jatuh pada periode waktu tertentu biasanya dalam satuan mm/jam. Perhitungan intensitas hujan penting karena merupakan input dalam persamaan Rasional. Mengingat data hujan otomatis tidak tersedia di Stasiun Klimatologi Seigun maka intensitas hujan ditentukan dengan rumus Mononobe yang bersumber dari data hujan harian dengan asumsi curah hujan terdistribusi selama 24 jam. Hujan harian yang dianalisis adalah 16 kejadian hujan yang terjadi pada bulan Juni-Oktober 2019 dan dipilih yang mempunyai tebal hujan > 20 mm per hari (kategori sedang sampai sangat lebat)

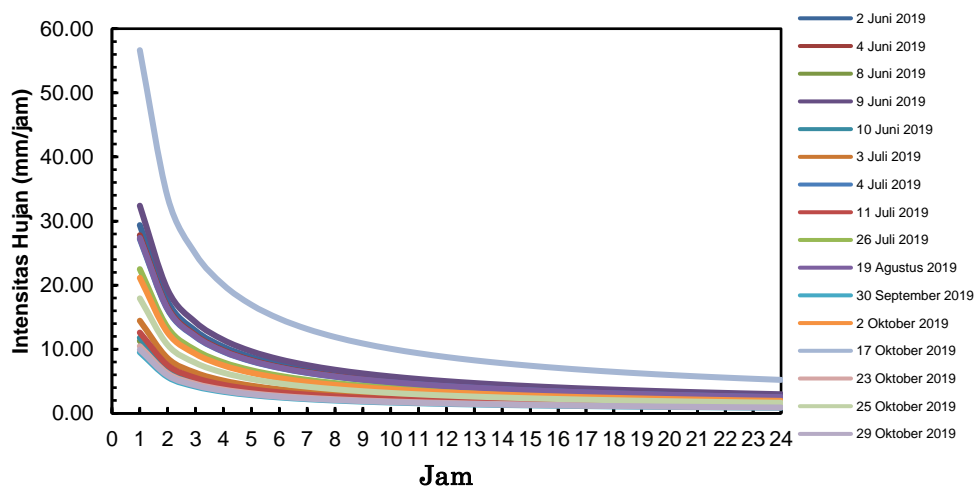
dengan pertimbangan kejadian hujan tersebut yang berpotensi menyebabkan terjadinya banjir. Klasifikasi curah hujan harian menurut Kurnia (2010) disajikan pada Tabel 3.

Tabel 3. Klasifikasi Curah Hujan

Kriteria Hujan	Intensitas Hujan (24 jam)
Sangat ringan	< 5 mm
Ringan	5-20 mm
Sedang-normal	20-50 mm
Lebat	50-100 mm
Sangat lebat	>100 mm

Sumber : Kurnia (2017)

Penentuan distribusi, durasi dan intensitas curah hujan didasarkan pada Kurva Durasi-Intensitas (*Intensity Duration Frequency*) seperti yang disajikan pada Gambar 2. Dari gambar tersebut dapat diketahui bila durasi hujan bertambah lama maka intensitas hujan (mm/jam) semakin kecil. Selain itu dapat diduga bahwa semakin besar tebal hujan maka akan semakin besar pula intensitas hujannya meskipun durasi hujannya sama. Hal ini akan menyebabkan semakin bertambah besarnya debit limpasan permukaan yang nantinya dihitung dengan persamaan Rasional.



Gambar 2. Kurva Durasi-Intensitas (IDF)

Perhitungan intensitas hujan menggunakan rumus Mononobe menggunakan asumsi yaitu curah hujan yang jatuh di suatu wilayah dianggap merata selama satu hari (24 jam). Rata-rata hujan di Kota Sorong diasumsikan berlangsung selama 2 jam sehingga untuk analisis debit limpasan permukaan maka data intensitas hujan yang dipergunakan adalah pada durasi 2 jam seperti yang tertera pada Tabel 4.

Asdak (2007) menyatakan bahwa intensitas hujan berpengaruh terhadap laju dan volume air permukaan. Hujan dengan intensitas yang tinggi akan memiliki kapasitas infiltrasi terlampaui yang lebih besar dibandingkan hujan dengan intensitas rendah. Total aliran permukaan yang dihasilkan juga akan lebih besar pada hujan intensitas tinggi meskipun curah hujannya sama untuk kedua hujan tersebut. Meskipun demikian hujan dengan intensitas tinggi dapat menurunkan infiltrasi yang diakibatkan oleh kerusakan struktur tanah di permukaan yang disebabkan oleh pukulan tenaga kinetik air hujan.

Tabel 4. Intensitas Hujan

Tanggal	Tebal hujan (mm)	Intensitas Hujan (mm/jam)
2 Juni 2019	65,0	17,46
4 Juni 2019	61,5	16,52
8 Juni 2019	25,0	6,72
9 Juni 2019	71,7	19,26
10 Juni 2019	26,1	7,01
3 Juli 2019	32,0	8,60
4 Juli 2019	60,2	16,17
11 Juli 2019	27,9	7,50
26 Juli 2019	49,8	13,38
19 Agustus 2019	60,6	16,28
30 September 2019	21,1	5,67
2 Oktober 2019	46,8	12,57
17 Oktober 2019	125,4	33,69
23 Oktober 2019	23,2	6,23
25 Oktober 2019	39,7	10,67
29 Oktober 2019	22,0	5,91

Sumber : Hasil Pengolahan Data Primer, 2019

Berdasarkan hasil perhitungan, intensitas hujan yang paling tinggi pada kejadian hujan tanggal 17 Oktober 2009 sebesar 33,69 mm/jam. Hal ini dikarenakan tebal hujan yang jatuh masuk dalam kategori sangat lebat sebesar 125,4 mm. Bahkan beberapa kejadian hujan juga termasuk lebat dengan ketebalan hujan berkisar diantara 50-100 mm. Hujan dalam kategori lebat sampai dengan sangat lebat mempunyai potensi aliran yang cukup tinggi sehingga volume *runoff* yang dihasilkan besar.

3.3 KOEFISIEN ALIRAN

Koefisien aliran merupakan perbandingan antara curah hujan yang menjadi aliran dengan curah hujan yang jatuh. Nilai koefisien aliran ini berkisar dari 0-1 di mana semakin besar nilainya

(mendekati 1) maka kemungkinan untuk terjadinya banjir dengan debit yang tinggi juga semakin besar. Nilai C yang besar menunjukkan lebih banyak hujan yang menjadi aliran dibandingkan yang meresap ke dalam tanah.

Perhitungan koefisien aliran di sekitar Kampus Universitas Muhammadiyah Sorong ditentukan dengan menggunakan pendekatan dari penutup lahan yang ada di lapangan. Hal ini disesuaikan dengan acuan dari U.S. Forest Service. Nilai koefisien aliran pada tiap penutup lahan dapat dilihat pada Tabel 5. Dari tabel tersebut terlihat bahwa koefisien aliran yang paling tinggi adalah bangunan sebesar 0,70 dan paling kecil 0,25 pada penutup lahan yang berupa vegetasi (pohon). Tingginya koefisien aliran pada bangunan menunjukkan 70 % dari total hujan yang jatuh akan menjadi aliran. Hal ini juga mengindikasikan bahwa daya resap tanah terhadap hujan sangat kecil sehingga yang menjadi airtanah juga kecil atau bahkan tidak ada sama sekali. Sedangkan untuk koefisien aliran total daerah penelitian sebesar 0,53 yang berarti sebagian dari hujan yang jatuh 53 % akan menjadi aliran permukaan.

Tabel 5. Koefisien Aliran Di Sekitar Kampus Universitas Muhammadiyah Sorong

Penutup Lahan	Luas (A) m^2	Koefisien Aliran (C)	C x A
Bangunan	110.533,33	0,70	77.373,33
Jalan	30.260,20	0,70	21.182,14
Lahan Terbuka	19.057,40	0,30	5.717,22
Permukaan Diperkeras	4.850,18	0,70	3.395,13
Rumput	27.562,47	0,30	8.268,74
Vegetasi	48.716,10	0,25	12.179,03
Total	240.979,68		128.115,58

Sumber : Hasil Pengolahan Data dan Analisis Lapangan, 2019

Penutup lahan yang berupa rumput, vegetasi (pohon) dan lahan terbuka mempunyai koefisien aliran yang kecil terkait dengan keberadaan tajuk pohon yang mengintersepsi air hujan sehingga tidak seluruhnya jatuh ke permukaan tanah. Di samping itu banyaknya vegetasi akan memproduksi serasah-serasah yang merupakan salah satu media yang baik karena kemampuan untuk meresapkan air yang tinggi sehingga aliran permukaan kecil. Kondisi ini mengakibatkan sebanyak kurang lebih 70 % dari total hujan akan diresapkan dalam tanah dan menjadi cadangan airtanah.

Sriwongsitanon dan Taesombat (2011) mengemukakan bahwa pada kejadian banjir yang kecil, tutupan hutan (vegetasi) yang lebat mempunyai koefisien aliran yang rendah. Hal ini dikarenakan tingkat kehilangan curah hujan pada tutupan hutan lebih tinggi dibanding non

hutan yang berkaitan erat dengan evapotranspirasi dan kapasitas kelembaban tanah. Bahkan hutan terbukti berpotensi untuk memberikan manfaat dalam mitigasi bencana banjir. Lebih lanjut Rahman (2013) menyatakan bahwa nilai koefisien aliran pada daerah bervegetasi lebih rendah. Berbeda dengan lahan yang kedap air dan tanah terbuka mempunyai koefisien aliran yang tinggi. Dengan demikian terdapat keterkaitan antara tutupan lahan yang berupa vegetasi dengan koefisien aliran.

3.4 DEBIT LIMPASAN PERMUKAAN

Limpasan permukaan adalah air larian yang disebabkan oleh tingginya curah hujan yang jatuh di suatu wilayah, rendahnya kapasitas saluran drainase dan kurangnya daya resap air (Ichsan dan Hulalata, 2018). Faktor yang berpengaruh terhadap limpasan permukaan adalah faktor meterologi dan faktor fisik wilayah. Faktor meterologi erat kaitannya dengan faktor hujan meliputi durasi, intensitas serta distribusi hujan di wilayah dikaji. Faktor fisik meliputi luas dan bentuk daerah aliran sungai, relief serta penggunaan lahan (Pontoh dan Sudrajat, 2005).

Berdasarkan data intensitas hujan dan koefisien aliran dapat diketahui besarnya debit limpasan permukaan di daerah penelitian dengan menggunakan persamaan Rasional. Debit limpasan pada masing-masing kejadian hujan dapat dilihat pada Tabel 6. Hasil perhitungan menunjukkan bahwa debit limpasan permukaan terbesar terjadi pada kejadian hujan tanggal 17 Oktober 2019 yaitu 1,2 m³/detik dan debit limpasan terkecil terjadi pada kejadian hujan tanggal 30 September 2019 sebesar 0,202 m³/detik.

Debit limpasan permukaan mempunyai hubungan yang linier dengan tebal hujan maupun intensitas hujan seperti yang disajikan pada Tabel 7. Semakin tebal hujan yang jatuh, maka akan semakin besar debit limpasan permukaan yang terjadi. Meskipun demikian ukuran tebal hujan ini tidak dapat dijadikan tolok ukur besar kecilnya debit limpasan permukaan yang mungkin terjadi. Faktor lain seperti intensitas hujan, luas daerah aliran, maupun waktu konsentrasi juga perlu diperhatikan. Hasil penelitian menunjukkan debit limpasan permukaan akan semakin tinggi dengan semakin besarnya tebal hujan dan intensitas hujan yang jatuh. Pada kejadian hujan tanggal 17 Oktober 2019 mempunyai debit limpasan tertinggi dikarenakan tebal hujan dan intensitas hujannya tinggi. FAO (2008) dalam Guzha *et al.*, (2018) menyebutkan tingginya angka *surface direct runoff* dipengaruhi oleh intensitas hujan. Hujan badai dengan frekuensi dan intensitas tinggi pada tanah yang jenuh akan menghasilkan *surface runoff* dan meningkatkan *discharge*.

Tabel 6. Debit Limpasan Permukaan Menurut Kejadian Hujan

Kejadian hujan	C	I (mm/jam)	A (km ²)	Qp (m ³ /det)
2 Juni 2019	0,5316	17,46	0,241	0,622
4 Juni 2019	0,5316	16,52	0,241	0,588
8 Juni 2019	0,5316	6,72	0,241	0,239
9 Juni 2019	0,5316	19,26	0,241	0,686
10 Juni 2019	0,5316	7,01	0,241	0,250
3 Juli 2019	0,5316	8,60	0,241	0,306
4 Juli 2019	0,5316	16,17	0,241	0,576
11 Juli 2019	0,5316	7,50	0,241	0,267
26 Juli 2019	0,5316	13,38	0,241	0,477
19 Agustus 2019	0,5316	16,28	0,241	0,580
30 September 2019	0,5316	5,67	0,241	0,202
2 Oktober 2019	0,5316	12,57	0,241	0,448
17 Oktober 2019	0,5316	33,69	0,241	1,200
23 Oktober 2019	0,5316	6,23	0,241	0,222
25 Oktober 2019	0,5316	10,67	0,241	0,380
29 Oktober 2019	0,5316	5,91	0,241	0,210

Sumber : Hasil Pengolahan Data Primer, 2019

Tabel 7. Hubungan Antara Faktor Hujan dengan Debit Limpasan Permukaan

Kejadian hujan	Tebal hujan (mm)	Intensitas Hujan (mm/jam)	Debit Limpasan (m ³ /det)
2 Juni 2019	65	17,46	0,622
4 Juni 2019	61,5	16,52	0,588
8 Juni 2019	25	6,72	0,239
9 Juni 2019	71,7	19,26	0,686
10 Juni 2019	26,1	7,01	0,250
3 Juli 2019	32	8,60	0,306
4 Juli 2019	60,2	16,17	0,576
11 Juli 2019	27,9	7,50	0,267
26 Juli 2019	49,8	13,38	0,477
19 Agustus 2019	60,6	16,28	0,580
30 September 2019	21,1	5,67	0,202
2 Oktober 2019	46,8	12,57	0,448
17 Oktober 2019	125,4	33,69	1,200
23 Oktober 2019	23,2	6,23	0,222
25 Oktober 2019	39,7	10,67	0,380
29 Oktober 2019	22	5,91	0,210

Sumber : Hasil Pengolahan Data Primer, 2019

Debit limpasan permukaan yang tinggi mengindikasikan terjadinya banjir dan genangan-genangan di permukaan tanah seperti yang disajikan Gambar 4. Pengaruh faktor penutup lahan terhadap debit limpasan dapat dilihat dari perhitungan besarnya debit limpasan pada satu kejadian hujan yang cukup tinggi intensitas hujannya yaitu tanggal 17 Oktober 2019. Penutupan lahan yang memiliki debit limpasan paling tinggi adalah bangunan karena jika dilihat dari luasnya mendominasi daerah penelitian. Selain itu, koefisien aliran pada bangunan juga tinggi yaitu sebesar 70 %. Demikian juga jalan dan vegetasi mempunyai debit limpasan yang cukup tinggi. Hasil perhitungan debit limpasan permukaan masing-masing penutup lahan dapat dilihat pada Tabel 8.



Gambar 4. Banjir Di Dekat Kampus Universitas Muhammadiyah Sorong

Tabel 8. Debit Limpasan Permukaan Tiap Penutup Lahan (Kejadian Hujan 17 Oktober 2019)

Penutup Lahan	C	I (mm/jam)	A (km ²)	Qp (m ³ /det)
Bangunan	0,70	33,69	0,111	0,725
Jalan	0,70	33,69	0,030	0,198
Lahan Terbuka	0,30	33,69	0,019	0,054
Permukaan Diperkeras	0,70	33,69	0,005	0,032
Rumput	0,30	33,69	0,028	0,077
Vegetasi	0,25	33,69	0,049	0,114

Sumber : Hasil Pengolahan Data, 2019

Penutup lahan yang berupa bangunan seringkali tidak mengindahkan koefisien guna bangunan di mana dari seluruh lahan yang ada harusnya sebanyak 60 % untuk vegetasi sedangkan 40 % untuk lahan terbangun. Akan tetapi di daerah penelitian justru sebaliknya di mana hampir 50 % dari luas wilayah digunakan untuk bangunan. Hal ini mengakibatkan daya resap terhadap air sangat rendah sehingga debit limpasan permukaan sangat tinggi.

Faktor lain yang berpengaruh adalah jenis tanah terutama tekstur tanah di mana tanah dengan tekstur pasir cenderung menginfiltrasi air dalam jumlah yang besar dibandingkan tanah dengan tekstur lempung dan debu. Lebih lanjut (Guzha *et al.*, 2018) menyatakan bahwa kedalaman tanah juga memiliki peranan penting dalam respon *discharge*. Di samping itu faktor hujan sebelumnya juga mempengaruhi besarnya debit. Hujan yang terjadi pada hari sebelumnya akan disimpan oleh tanah sebagai kelembaban tanah sehingga bila terjadi hujan pada hari setelahnya akan terakumulasi sebagai debit limpasan permukaan.

4. KESIMPULAN

Koefisien aliran total di sekitar Kampus Universitas Muhammadiyah Sorong cukup tinggi yaitu 0,53 yang berarti sebanyak 53 % dari hujan yang jatuh akan menjadi limpasan permukaan. Faktor yang berpengaruh terhadap koefisien aliran tersebut adalah jenis penutup lahan dan luasnya. Nilai debit limpasan permukaan paling tinggi berdasarkan kejadian hujan sebesar 1,2 m³/detik pada tanggal 17 Oktober 2019 dengan intensitas hujan 33,69 mm/jam sedangkan terendah 0,202 m³/detik pada tanggal 30 September 2019 dengan intensitas hujan 5,67 mm/jam.

5. UCAPAN TERIMA KASIH

Penulis mengucapkan terima kasih kepada mahasiswa Fakultas Pertanian Universitas Muhammadiyah Sorong yang telah membantu dalam pengecekan data penutup lahan di lapangan.

DAFTAR PUSTAKA

- Asdak, C. (2007) . *Hidrologi dan Pengelolaan Daerah Aliran Sungai*. Yogyakarta : Gadjah Mada University Press.
- Astuti, A.J.D., Yuniastuti, W., Nurwihastuti, D.W., dan Triastuti, R.(2017). Analisis Koefisien Aliran Permukaan dengan Menggunakan Bransby-Williams di Sub Daerah Aliran Sungai Babura Provinsi Sumatera Utara. *Jurnal Geografi*, 9(2): 158-165
- Budiyanto, S., Tarigan, S.D., Sinukaban, N., Murtalaksono, K. (2015). The Impact Of Land Use On Hydrological Characteristics Kaligarang Watershed. *International Journal of Science and Engineering (IJSE)*. 8(2); 125-130.
- Food and Agricultural Organization (FAO). (2005). *Forests and Water: A Thematic Study Prepared in the Framework of the Global Forestry Resources Assessment 2005*. FAO Forestry Paper, 155

- Farida, A. (2006). Pengaruh Perubahan Penggunaan Lahan Terhadap Respon DAS Menggunakan Model Rasional Modifikasi (Studi Kasus Sub Daerah Aliran Sungai Tambakbayan, Kabupaten Sleman, Daerah Istimewa Yogyakarta). *Skripsi*. Yogyakarta : Fakultas Geografi. Universitas GadjahMada.
- Fauzan, A. dan Pristianto, H. (2017). Studi Kelayakan Kapasitas Tampung Drainase Jalan Frans Kaisepo Kelurahan Malaingkeci Kota Sorong. *Jurnal Rancang Bangun*. 3(1): 28-34.
- Guzha, A.C., Rufino, M.C., Okoth, S., Jacobs, S., Nóbrega, R.Rl.B. (2018). Impacts Of Land Use And Land Cover On Surface Runoff Discharge And Low Flow: Evidence From East Africa. *Journal Of Hydrology: Regional Studies*. 15 : 49-67.
- Hu, S., Fan, Y., and Zhang, T. (2020). Assesising the Effect of Land Use Change on Surface Runoff in a Rapidly Urbanized City: A Case Study of The Central Area of Beijing. *Water*. MDPI online journal, 9, 17
- Ichsan, I. dan Hulalata, Z.S. (2018). Analisa Penerapan Resapan Biopori Pada Kawasan Rawan Banjir Di Kecamatan Telaga Biru. *Gorontalo Journal of Infrastructure & Science Engineering*, 1 (1): 33-46
- Indriatmoko, R.H. Wibowo, V.E.(2007). Aplikasi Sistem Informasi Geografi untuk Perhitungan Koefisien Aliran Daerah Aliran Sungai (DAS) Ciliwung. *Jurnal Air Indonesia*, 3(2):182-190
- Kurnia, W.G. (2017). *Analisa Variabilitas Curah Hujan Di Palu Berdasarkan Data Pengamatan Tahun 1981-2010*. Palu : Badan Meteorologi Kkimatologi dan Geofisika.
- Lillesand, T.M. and Kiefer, R.W. (1990). *Penginderaan Jauh dan Inpterpretasi Citra Trans. Dulbahri, dkk*. Yogyakarta : Gadjah Mada University Press.
- Mazur, A. (2018). Quantity and Quality of Surface and Subsurface Runoff from an Eroded Loess Slope Used for Agricultural Purposes. *Water*. MDPIonline journal, 10, 1132
- Nejadhashemi, A.P., B.J. Wardynski and J. D. Munoz. (2011). Evaluating the Impacts of Land Use Changes on Hydrologic Responses in the Agricultural Regions of Michigan and Wisconsin. *Hydrol. Earth Syst. Sci. Discuss*, 8 : 3421–3468
- Ningaraju, H.J, Kumar S.B, G., Surendra H.J.(2016). Estimation of Runoff Using SCS-CN and GIS Method in Ungauged Watershed: A Case Study of Kharadya Mill Watershed, India. *International Journal of Advance Engineering Research and Science (IJAERS)*, 3(5):36

- Pontoh, N. K. dan Sudrajat, D. J. (2005). Hubungan Perubahan Penggunaan Lahan Dengan Limpasan Air Permukaan: Studi Kasus Kota Bogor. *Jurnal Perencanaan Wilayah dan Kota*, 16(3), 44-56
- Rahman, A. Model Sistem Informasi Geografis Untuk Estimasi Koefisien Aliran dan Hubungannya Dengan Tutupan Lahan Di DAS Riam Kanan Provinsi Kalimantan Selatan. *Jurnal Bumi Lestari*, 13(1):1-8.
- Soewarno. (2000). *Hidrologi Operasional Jilid Kesatu*. Bandung : PT Citra Aditya.
- Sriwongsitanon, N. and Taesombat, W. (2011). Effects of Land Cover on Runoff Coefficient. *Journal of Hydrology*. 410:226-238.
- Sugandi, D. and Pascawijaya, R. (2019). Decreasing The Surface Run-off Through The Rainfall Absorption in Bandung Basin. *International Journal of Hydrology*, 3(6): 500
- Sujono. (1997). *Diktat Kuliah Hidrologi Terapan* (Tidak Dipublikasikan). Yogyakarta : Jurusan Teknik Sipil, Fakultas Teknik, Universitas Gadjah Mada.
- Ward, A.D and Trimble, S.W. (2013). *Environmental Hydrology*. Second Edition. Florida : Lewis Publishers.