



# 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. 1

Hal.  
01 - 83

Yogyakarta  
Januari 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
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.



Published by Department of Environmental Engineering

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

## TABLE OF CONTENT

<b>PENGARUH TUMBUHAN KABOMBA (<i>Cabomba aquatica</i> Aubl.) TERHADAP KADAR LOGAM BESI (Fe) DAN TEMBAGA (Cu) LIMBAH CAIR LABORATORIUM KIMIA FMIPA UNTAN</b> Hanafi Afriza, Mukarlina Mukarlina, Diah Wulandari Rousdy	1-11
<b>PENENTUAN STATUS MUTU AIR WADUK SERMO DENGAN METODE STORET DAN INDEKS PENCEMARAN</b> Lussy Setya Dewi, Intan Supraba(, Budi Kamulyan	12-24
<b>PERENCANAAN INSTALASI PENGOLAHAN AIR LIMBAH (IPAL) PADA INDUSTRI ELEKTROPLATING (STUDI KASUS KEGIATAN ELEKTROPLATING X) DI YOGYAKARTA</b> Anisah Hasna Jauharoh, Awaluddin Nurmiyanto, Andik Yulianto	25-44
<b>PENGOLAHAN LIMBAH MAKANAN DENGAN METODE CONDUCTIVE DRYING</b> Yebi Yuriandala, Hijrah Purnama Putra, Nurul Lathifah	45-58
<b>CONSTRUCTED WETLANDS DENGAN TUMBUHAN ECENG GONDOK (<i>Eichhornia crassipes</i>) SEBAGAI ALTERNATIF PENGOLAHAN AIR LIMBAH INDUSTRI TAPIOKA</b> Wahyudi Zahar, Yulia Morsa Said, Yudi Achnopa, Yudha Gusti Wibowo	59-67
<b>SEBARAN DAERAH SULIT AIRTANAH BERDASARKAN KONDISI GEOLOGI DAERAH PERBUKITAN KECAMATAN PRAMBANAN, SLEMAN, YOGYAKARTA</b> Wisnu Aji Dwi Kristanto, Farida Afriani Astuti, Nandra Eko Nugroho, Salam Via Febriyanti	68-83

## **PENGARUH TUMBUHAN KABOMBA (*Cabomba aquatica* Aubl.) TERHADAP KADAR LOGAM BESI (Fe) DAN TEMBAGA (Cu) LIMBAH CAIR LABORATORIUM KIMIA FMIPA UNTAN**

**Hanafi Afriza<sup>1</sup>, Mukarlina<sup>2</sup>, Diah Wulandari Rousdy<sup>3</sup>**

<sup>1)2)3)</sup>Program Studi Biologi, Fakultas MIPA, Universitas Tanjungpura

Email : john.hanafi@gmail.com

### **Abstrak**

*Limbah laboratorium merupakan salah satu limbah yang mengandung beberapa bahan berbahaya seperti logam berat yang dihasilkan dari aktivitas laboratorium. Salah satu upaya untuk mengolah limbah laboratorium yaitu dengan fitoremediasi menggunakan tanaman Kabomba (*Cabomba aquatica* Aubl.) sebelum dibuang ke badan air. Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui kemampuan Kabomba (*Cabomba aquatica* Aubl.) dalam menurunkan kandungan logam berat Fe dan Cu dari limbah cair Laboratorium Kimia FMIPA Untan. Penelitian dilakukan pada bulan Juni sampai Agustus 2018 di Laboratorium Biologi, Jurusan Biologi Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam Universitas Tanjungpura Pontianak. Penelitian ini menggunakan Rancangan Acak Lengkap yang terdiri dari lima perlakuan konsentrasi limbah yaitu kontrol, 25%, 50%, 75%, 100%. Berdasarkan hasil penelitian, tumbuhan Kabomba (*Cabomba aquatica* Aubl.) mampu menyerap logam besi (Fe) lebih banyak dibandingkan dengan logam tembaga (Cu) dengan serapan tertinggi pada perlakuan konsentrasi 75%. Tumbuhan Kabomba dapat mengurangi kadar Fe dalam air limbah sebesar 56,61% dengan nilai penyerapan sebesar 144,87 mg/l.*

**Kata kunci:** *Kabomba (*Cabomba aquatica* Aubl.), limbah cair laboratorium, logam besi (Fe), logam tembaga (Cu)*

### **Abstract**

*Laboratory liquid waste contains several hazardous materials such as heavy metals generated from laboratory activities. One of treatment method used to treat laboratory liquid waste is fitoremediation using Kabomba plants (*Cabomba aquatica* Aubl.). This research aims to determine the ability of Kabomba (*Cabomba aquatica*, Aubl.) to reduce the heavy metal content of liquid waste (Fe and Cu) from the Chemistry Laboratory of FMIPA Untan. This research used a Completely Randomized Design consisting of five treatments of waste concentration: control, 25%, 50%, 75%, 100%. Based on the results of the research, the Kabomba (*Cabomba aquatica*, Aubl.) plants was able to absorb more iron (Fe) than copper (Cu) metal with the highest concentration at the implementation of 75% concentration. Kabomba plants can reduce Fe contain in wastewater by 56.61% with an absorption value of 144.87 mg/l.*

**Key Words :** *Kabomba (*Cabomba aquatica* Aubl), Laboratory Liquid Waste, Iron (Fe), Copper (Cu).*

## 1. PENDAHULUAN

Laboratorium merupakan salah satu fasilitas yang digunakan untuk melakukan proses percobaan atau analisis kimia yang menghasilkan limbah. Limbah cair merupakan salah satu hasil produk sampingan yang dihasilkan oleh laboratorium dengan kandungan bahan-bahan berbahaya yang cukup tinggi, sehingga perlu melalui proses pengolahan sebelum dibuang ke badan air agar tidak mencemari lingkungan. Volume limbah cair yang dihasilkan oleh suatu laboratorium umumnya memang relatif sedikit, namun tercemar berat oleh berbagai jenis bahan kimia toksik. Unsur-unsur berbahaya yang sebagian besar terdapat dalam limbah cair laboratorium adalah logam berat, seperti besi (Fe), mangan (Mn), krom (Cr), dan merkuri (Hg) (Hartini dan Yuantari, 2011). Berdasarkan sifat dan karakteristiknya limbah cair laboratorium termasuk dalam kategori limbah bahan berbahaya dan beracun (B3) (Suprihatin dan Siswi, 2010).

Jurusan Kimia FMIPA Untan mempunyai lima laboratorium dan belum memiliki Instalasi Pengolahan Air Limbah (IPAL). Selama tahun 2002-2017 air limbah laboratorium Jurusan Kimia FMIPA Untan hanya disimpan di dalam wadah berupa drum besar berdasarkan sifatnya (asam, basa, organik dan logam) tanpa pengolahan lebih lanjut. Berdasarkan data hasil survei bulan Maret 2018, logam berat yang paling banyak dan sering digunakan adalah logam Fe dan Cu. Penelitian Audiana dkk., (2017) menyebutkan Laboratorium Teknik Lingkungan, Fakultas Teknik Universitas Tanjungpura, Pontianak rata-rata menghasilkan limbah cair dengan kandungan COD sebesar 611,4 mg/l, ion logam  $Fe^+$  sebesar 19,4 mg/l dan ion  $Pb^{2+}$  sebesar 22,9 mg/l melebihi baku mutu standar.

Fitoremediasi merupakan salah satu upaya yang dapat dilakukan untuk mengurangi dan menghilangkan kontaminan dengan menggunakan mikroorganisme atau tumbuhan (Melethia, 1996). Djo dkk.,(2017) dalam penelitiannya menggunakan tanaman eceng gondok (*Eichhornia crassipes*) mampu menurunkan kandungan logam berat Cu dan Cr pada limbah cair UPT Laboratorium Analitik Universitas Udayana masing-masing sebesar 68,73% dan 42,40%. Kabomba (*C. aquatica*) merupakan salah satu tumbuhan air dari famili Cabombaceae yang bersifat *submerged* dengan batang dan daun terendam. Tumbuhan ini diduga memiliki potensial digunakan sebagai objek fitoremediasi dalam menstabilkan limbah logam. Hasil penelitian dari Othman dkk. (2015), menggunakan spesies kabomba (*C. furcata*) dengan paparan logam berat (Fe, Mn, Zn, Cu, Ni, Pb) menunjukkan bahwa *C. furcata* merupakan bioindikator untuk logam besi (Fe) dan tembaga (Cu). Penelitian ini bertujuan untuk melihat

pengaruh tumbuhan kabomba (*Cabomba aquatica* Aubl.) terhadap kadar logam besi (Fe) dan tembaga (Cu) pada limbah cair laboratorium Kimia FMIPA UNTAN.

## 2. METODE PENELITIAN

### 2.1 Metode Penelitian

Penelitian ini menggunakan Rancangan Acak Lengkap (RAL) dengan empat perlakuan konsentrasi limbah cair laboratorium, yaitu 0% (P1), 25% (P2), 50% (P3), 75% (P4) dan 100% (P5). Masing-masing perlakuan akan diulang sebanyak empat kali pengulangan sehingga diperoleh 20 unit percobaan.

### 2.2 Prosedur Kerja

#### *Persiapan Tanaman Uji dan Media Uji*

Tanaman uji Kabomba (*C. aquatica*) diambil dari lingkungan alaminya yaitu perairan Desa Rasau Jaya. Tanaman uji yang diperoleh diaklimasi selama 7 hari kemudian ditambahkan nutrisi dengan larutan pupuk hidroponik. Setelah masa aklimasi, tanaman dipilih pada bagian batang yang tiap ruasnya telah tumbuh akar, segar, tidak terdapat daun yang rusak atau menguning memiliki berat segar yang sama  $\pm 100$  gram untuk diaplikasikan pada perlakuan (Juswardi dkk., 2010). Media uji air limbah laboratorium ditempatkan dalam wadah plastik berisi 5 liter air limbah dan proses fitoremediasi dilakukan selama 10 hari.

### 2.3 Paramater Penelitian

Parameter yang akan diukur pada penelitian ini adalah faktor lingkungan meliputi pH media uji, berat basah (BB) dan berat kering (BK) tanaman uji. Pengukuran kadar besi (Fe) dan kadar tembaga (Cu) pada tanaman uji dan air limbah.

#### **a. Derajat keasaman (pH)**

*Derajat keasaman* (pH) media uji diukur menggunakan pH meter dengan cara ujung pH meter dimasukkan ke dalam media uji dan tombol ditekan. Setelah angka konstan, angka dicatat.

#### **b. Pengukuran Berat Basah dan Berat Kering Tanaman uji (*C. aquatica*)**

Penimbangan berat basah tanaman uji dilakukan sebelum dan sesudah penelitian, dengan menimbang berat segar yang telah dibersihkan dan ditiriskan terlebih dahulu. Penimbangan berat kering tanaman uji dilakukan pada akhir pengamatan setelah dikeringkan dalam oven dengan suhu  $60^{\circ}\text{C}$  hingga mencapai berat yang konstan.

#### **c. Pengukuran Kandungan Cu dan Fe pada Tanaman uji dan Air limbah**

Pengukuran Kandungan besi (Fe) dan tembaga (Cu) pada Tanaman

Pengukuran kandungan tembaga (Cu) dan besi (Fe) tanaman uji (*C. aquatica*) yang dilakukan

di awal dan akhir penelitian untuk tiap perlakuan menggunakan metode Spektrofotometri Serapan Atom (AAS). Sampel tanaman uji ditimbang sebanyak 1 gram dan dimasukkan ke dalam tabung digesti. Kemudian ditambahkan 50 ml larutan asam nitrat pekat ( $\text{HNO}_3$ ) dan 5 ml asam peklorat pekat ( $\text{HClO}_4$ ), dibiarkan hingga 24 jam. Ekstrak sampel dipanaskan di dalam blok digesti dengan suhu  $100\text{ }^\circ\text{C}$  selama 1 jam kemudian suhu ditingkatkan menjadi  $150\text{ }^\circ\text{C}$ . Setelah uap kuning yang terdapat di blok digesti habis, suhu ditingkatkan lagi menjadi  $200\text{ }^\circ\text{C}$ . Destruksi selesai setelah ekstrak yang dipanaskan mengeluarkan asap berwarna putih. Setelah itu tabung diangkat dan dibiarkan dingin (Sulaeman dkk., 2005). Ekstrak yang telah dingin diencerkan dengan air bebas ion hingga volume tepat 50 ml dan dihomogenkan. Kandungan besi dan tembaga pada ekstrak diukur menggunakan Spektrofotometri Serapan Atom (AAS). Hasil yang terbaca oleh AAS kemudian dilakukan perhitungan konsentrasi besi dan tembaga yang terkandung (Balai Penelitian Tanah, 2005).

#### **d. Pengukuran Kandungan Cu dan Fe pada air limbah**

Pengukuran kandungan Cu dan Fe pada air limbah dilakukan pada hari pertama dan terakhir penelitian menggunakan metode spektrofotometri. Sampel air dipipet sebanyak 50 ml ke dalam Erlenmeyer, kemudian ditambahkan 5 ml  $\text{HNO}_3$  pekat. Campuran dipanaskan, sampai volumenya menjadi 15 ml – 20 ml. Kemudian diencerkan dengan akuades hingga volume tertentu, digojok hingga homogen dan diukur absorbansinya pada panjang gelombang pada panjang gelombang 248,3 nm (SNI 6989.4-2009).

Analisa konsentrasi Cu menggunakan metode Spektrofotometri. Sampel air dipipet sebanyak 50 ml ke dalam Erlenmeyer, kemudian ditambahkan 5 ml  $\text{HNO}_3$  pekat. Campuran dipanaskan, sampai volumenya menjadi 15 ml – 20 ml. Kemudian diencerkan dengan akuades hingga volume tertentu, dihomogenkan dan diukur absorbansinya pada panjang gelombang pada panjang gelombang 324,7 nm (SNI 6989.4-2009)

### **3. HASIL DAN PEMBAHASAN**

Derajat keasaman (pH) limbah cair laboratorium pada hari pertama perlakuan (0 hari) berada pada kisaran 2,5 -5,8, dan mengalami penurunan pada hari ke-10 dengan kisaran 1,1 -5,5 (Tabel 1). Hasil analisis data menunjukkan bahwa logam besi ( Fe ) dan tembaga ( Cu ) pada tingkat konsentrasi yang berbeda berpengaruh nyata terhadap pertumbuhan kabomba (*C. aquatica*) pada parameter berat basah ( $F_{4,14}=3.558$ ,  $p= 0,047$ ; Anova) dan berat kering ( $F_{4,14}= 3.444$ ,  $p = 0,051$ ) (Tabel 2).



**Tabel 1.** Rerata Derajat Keasaman (pH) limbah cair laboratorium setelah 10 hari perlakuan

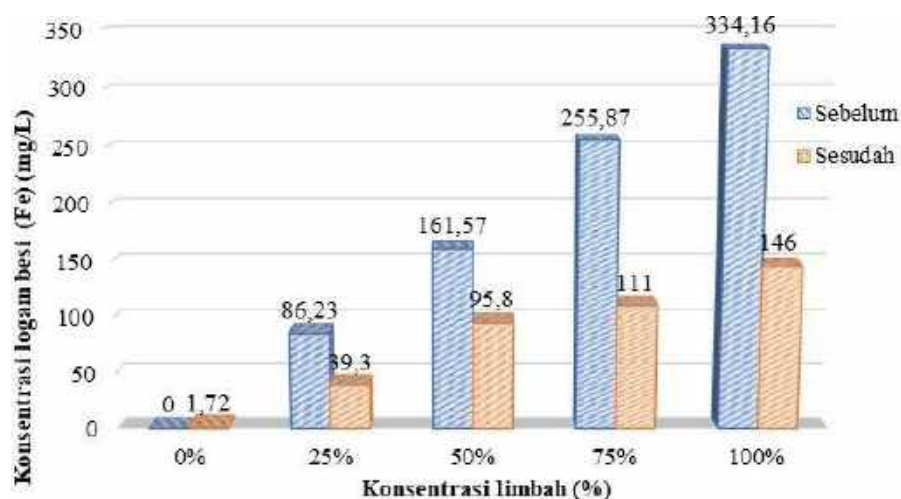
Konsentrasi Perlakuan (%)	pH awal	pH akhir
0	5,8	5,5
25	3,1	1,9
50	2,95	1,6
75	2,7	1,6
100	2,5	1,4

Berat basah kabomba pada limbah 25%, 50%, 75% tidak berbeda nyata dengan kontrol. Konsentrasi 100% menunjukkan hasil berat basah yang berbeda nyata dengan kontrol (Tabel 2). Rerata berat kering konsentrasi 25% dan 50% tidak berbeda nyata dengan kontrol. Konsentrasi 75% dan 100% berbeda nyata dengan kontrol.

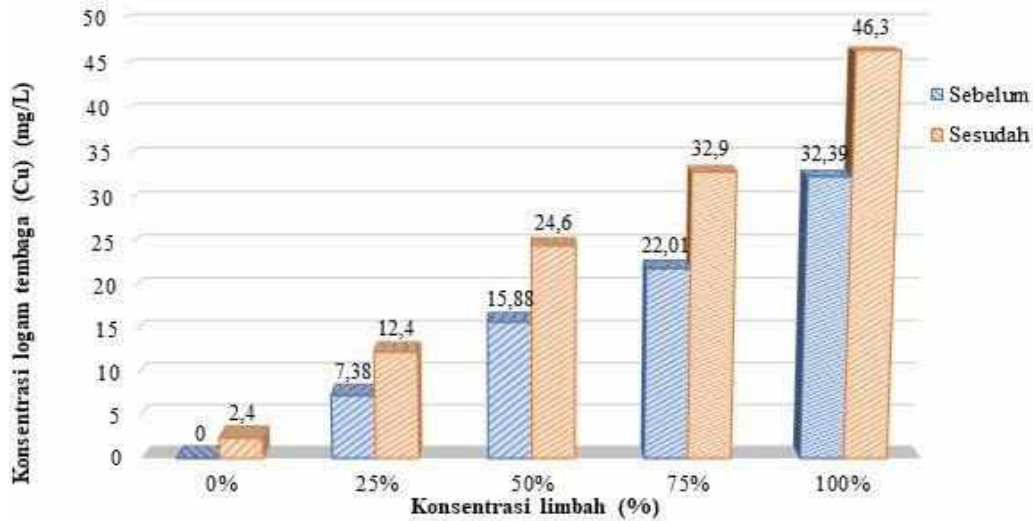
**Tabel 2.** Rerata Berat Basah dan Berat Kering *C. aquatica* pada Setiap Konsentrasi Limbah Cair Laboratorium.

Konsentrasi (%)	Berat Basah (g)	Berat Kering (g)
0	90,56±4,73 <sup>b</sup>	30,25±4,44 <sup>b</sup>
25	78,53±10,40 <sup>b</sup>	27,16±1,58 <sup>ab</sup>
50	73,32±9,5 <sup>ab</sup>	25,45±1,71 <sup>ab</sup>
75	73,44±19,63 <sup>ab</sup>	24,85±2,04 <sup>a</sup>
100	53,87±11,49 <sup>a</sup>	22,72±2,27 <sup>a</sup>

Konsentrasi kandungan logam besi (Fe) pada semua konsentrasi limbah cair laboratorium mengalami penurunan setelah diberi perlakuan dengan kabomba (*C. aquatica*), konsentrasi 75% mengalami penurunan tertinggi sebesar 56,61% (Gambar 1).

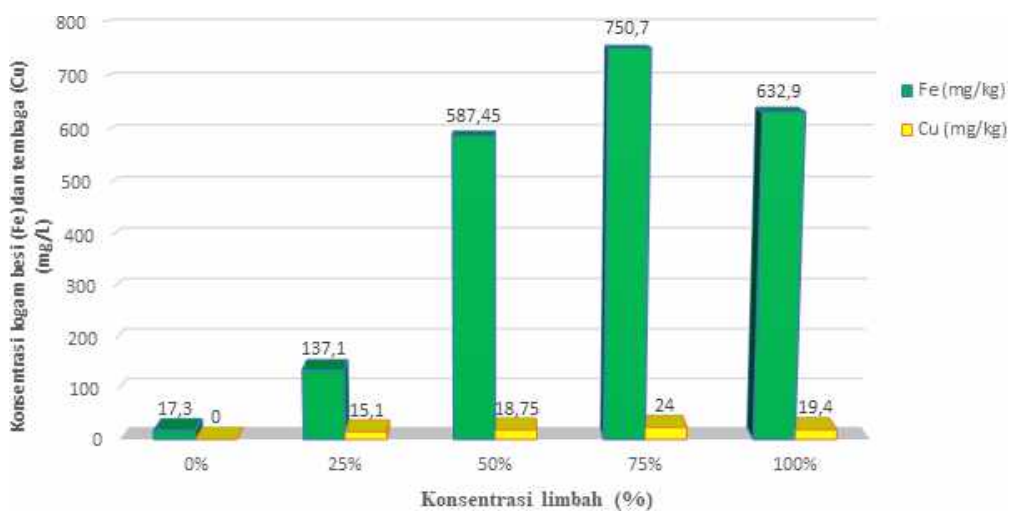
**Gambar 1.** Grafik Konsentrasi Logam Besi (Fe) pada limbah cair laboratorium sebelum dan sesudah perlakuan dengan kabomba (*C. aquatica*).

Kandungan logam tembaga (Cu) pada limbah cair laboratorium mengalami kenaikan setelah perlakuan dengan tumbuhan kabomba (*C. aquatica*). Konsentrasi 75% mengalami kenaikan tekecil sebesar 49,52%. (Gambar 2)



**Gambar 2.** Grafik Konsentrasi Logam Tembaga (Cu) pada limbah cair laboratorium sebelum dan sesudah perlakuan dengan kabomba (*C. aquatica*).

Kandungan logam besi dan tembaga tertinggi yang mampu diserap oleh kabomba (*C. aquatica*) diperoleh pada konsentrasi perlakuan 75% dengan masing-masing nilai serapan sebesar 750,7 mg/kg dan 24 mg/kg. (Gambar 3)



**Gambar 3.** Grafik Konsentrasi kandungan logam besi dan tembaga pada kabomba (*C. aquatica*) sesudah perlakuan 10 hari.

Hasil analisis data menunjukkan bahwa logam besi ( Fe ) dan tembaga ( Cu ) pada tingkat konsentrasi yang berbeda berpengaruh nyata terhadap pertumbuhan kabomba (*C. aquatica*) pada parameter berat basah ( $F_{4,14}=3.558, p= 0,047$ ; Anova) dan berat kering ( $F_{4,14}= 3.444, p = 0, 051$ ). pengukuran awal logam besi dan tembaga yang terkandung pada limbah cair laboratorium sangat tinggi dengan nilai 334,16 dan 32,39 mg/L (Gambar 1). Nilai logam besi dan tembaga tersebut menunjukkan belum memenuhi standar baku mutu berdasarkan Peraturan Menteri Lingkungan Hidup No. 5 tahun 2014 yaitu 10 mg/L dan 3 mg/L. Setelah perlakuan selama 10 hari menggunakan tumbuhan kabomba (*C. aquatica*) logam besi mengalami penurunan namun konsentrasi logam tembaga mengalami kenaikan (Gambar 1 dan Gambar 2). Hasil tersebut mengindikasikan bahwa tumbuhan kabomba (*C. aquatica*) dapat menurunkan konsentrasi logam besi (Fe) lebih baik dibandingkan dengan logam tembaga (Cu). Konsentrasi logam besi pada semua perlakuan menurun dengan persentase penurunan tertinggi pada konsentrasi 75% sebesar 56,61% dengan nilai 255,87-334,16 mg/L (Gambar 1).

Hasil pengukuran awal logam besi dan tembaga yang terkandung pada limbah cair laboratorium sangat tinggi dengan nilai 334,16 dan 32,39 mg/L (Gambar 1). Nilai logam besi dan tembaga tersebut menunjukkan belum memenuhi standar baku mutu berdasarkan Peraturan Menteri Lingkungan Hidup No. 5 tahun 2014 yaitu 10 mg/L dan 3 mg/L. Setelah perlakuan selama 10 hari menggunakan tumbuhan kabomba (*C. aquatica*) logam besi mengalami penurunan namun konsentrasi logam tembaga mengalami kenaikan (Gambar 1 dan Gambar 2). Hasil tersebut mengindikasikan bahwa tumbuhan kabomba (*C. aquatica*) dapat menurunkan konsentrasi logam besi (Fe) lebih baik dibandingkan dengan logam tembaga (Cu). Konsentrasi logam besi pada semua perlakuan menurun dengan persentase penurunan tertinggi pada konsentrasi 75% sebesar 56,61% dengan nilai 255,87-334,16 mg/L (Gambar 1). Penurunan kandungan logam besi pada limbah diduga berkaitan dengan nilai pH limbah yang rendah. Tingkat pH yang rendah pada limbah dapat mendorong kelarutan logam berat dan mengakibatkan logam Fe sehingga tersedia cukup banyak untuk kemudian diserap oleh tumbuhan kabomba (*C. aquatica*). Air dengan pH rendah umumnya mengandung karbondioksida yang relatif tinggi dan kadar oksigen terlarut yang rendah sehingga terbentuk suasana anaerob. Kondisi tersebut menyebabkan ferri karbonat akan larut sehingga terjadi peningkatan konsentrasi besi ferro (Fe) di perairan. Besi ferro yang terlarut dalam air limbah sesuai dengan kebutuhan hara tanaman uji dapat dimanfaatkan untuk pertumbuhan, tetapi apabila reduksi berlebih maka besi tersebut dapat larut melebihi dari kebutuhan tanaman,

sehingga mengakibatkan keracunan tanaman (Syafuruddin, 2011).

Hasil berbeda didapatkan oleh Djo dkk., (2017) dalam penelitiannya menggunakan tumbuhan air mengambang eceng gondok (*Eichhornia crassipes*) yang mampu menurunkan kadar Cu dalam limbah laboratorium sebesar 68,73%. Kemampuan eceng gondok dalam menyerap pencemar disebabkan oleh akarnya yang bercabang-cabang halus, yang digunakan oleh mikroorganisme sebagai tempat pertumbuhan. Seperti yang telah diketahui bahwa tumbuhan menyerap logam-logam yang larut air melalui akar, dalam akar tanaman melakukan mekanisme perubahan pH dan membentuk suatu zat khelat yang disebut fitosiderator. Fitosiderator akan mengikat logam seperti Cu dan membawanya ke dalam sel akar, selanjutnya diangkut melalui jaringan xylem dan floem ke bagian lain yaitu tangkai dan daun. Berbeda dengan tumbuhan air mengambang seperti eceng gondok yang memiliki akar yang panjang, pada *C. aquatica* akarnya telah mengalami reduksi sehingga ukurannya menjadi lebih kecil dan sedikit. Basiouny dkk., (1977) menyatakan bahwa tumbuhan air submerged mengalami degenerasi yang terjadinya reduksi pada bagian akar, sehingga kemampuannya dalam menyerap logam menjadi terbatas.

Hopkins (2008) menyebutkan bahwa mekanisme penyerapan ion besi oleh tanaman terjadi melalui membran plasma dari sel epidermis akar akan menginduksi enzim pereduksi. ATP ase dalam sel- sel kortikal akar akan memompa proton yang membuat rhizosfer menjadi asam untuk membantu melarutkan  $Fe^{3+}$ . Pengasaman rhizosfer mendorong pelepasan khelat berupa asam kafeat yang bergerak ke bagian permukaan akar dimana besi  $Fe^{3+}$  akan direduksi menjadi besi  $Fe^{2+}$ . Perubahan besi  $Fe^{3+}$  menjadi besi  $Fe^{2+}$  menyebabkan suatu ligan spesifik akan melepas zat besi  $Fe^{2+}$  melalui membran plasma. Menurut Yeo dkk (1987)  $Fe^{2+}$  dapat masuk ke xilem baik secara simplas maupun apoplas atau melalui bagian akar yang rusak. Ion  $Fe^{2+}$  diangkut melalui xylem mengikuti aliran transpirasi menuju ruang- ruang antar sel. Besi fero ( $Fe^{2+}$ ) dalam sel daun, bertindak sebagai katalisator pembentukan beberapa jenis oksigen aktif yang akan bersifat racun bagi sel (Marschner, 1995).

Penelitian Xue dkk. (2010) menyatakan bahwa Cu dapat langsung diserap oleh akar dan tunas tumbuhan akuatik Angiosperm. Akumulasi pada tunas lebih tinggi dari akar, karena 80% total biomassa dari tanaman air merupakan tunas. Cu akan diserap oleh akar dan tunas untuk ditranslokasikan dengan cepat ke jaringan lain. Tidak adanya kutin dan kutikula yang tipis pada permukaan abaksial daun juga sangat berperan dalam menyerap Cu. Hasil penelitian

menunjukkan penurunan berat basah dan berat kering (Tabel 2) terjadi seiring dengan meningkatnya konsentrasi besi dan tembaga pada air limbah. Berdasarkan hasil pengukuran berat basah pada *C. aquatica* peningkatan konsentrasi perlakuan sampai 75% yang tidak berbeda nyata dengan kontrol (Tabel 2), mengindikasikan bahwa tumbuhan uji masih mampu mentolerir kondisi yang pada limbah. Namun pemberian konsentarsi perlakuan 100% menunjukkan hasil yang berbeda nyata dengan kontrol yang mengindikasi bahwa tumbuhan *C.aquatica* tidak lagi mampu mentolerir keadaan limbah. Selain itu hasil uji kandungan logam besi dan tembaga yang terkandung pada *C. aquatica* menunjukkan bahwa serapan tertinggi kedua unsur logam berada pada konsentrasi perlakuan 75% (Gambar 3). Hasil tersebut menunjukkan bahwa konsentarsi perlakuan 75% merupakan konsentrasi perlakuan terbaik yang dapat diaplikasi guna menyerap kedua unsur logam.

Hal berbeda di tunjukan pada hasil pengukuran bobot kering *C. aquatica* peningkatan konsentrasi perlakuan sampai 75% yang berbeda nyata dengan kontrol mengindikasi bahwa telah terjadinya terganggunya penyerapan unsur hara akibat dari masuknya logam besi dan tembaga kedalam *C. aquatica*. Penambahan konsentras akibat toksisitas besi pada beberapa penelitian berhubungan erat dengan tingginya akumulasi  $Fe^{2+}$  pada tanaman yang dapat menurunkan pertumbuhan tanaman (Mehraban *dkk.*, 2008). Peningkatan konsentrasi  $Fe^{2+}$  jaringan tanaman akan membatasi aktivitas fotosintesis tanaman (Mehraban *dkk.*, 2008). Hasil penelitian Audebert (2006) menunjukkan bahwa kandungan Fe yang tinggi dalam daun berpengaruh negatif terhadap laju fotosintesis. Kelebihan besi dalam daun menyebabkan terjadinya reaksi oksidasi senyawa fenol membentuk polifenol dan akan terakumulasi di daerah kloroplas pada daun. Radikal bebas pada akhirnya akan mengoksidasi klorofil sehingga aktifitas fotosintesis terhambat (Monteiro & Winterbourn 1988 dalam Amnal, 2009). Keller (2005), tanaman dapat mengakumulasi logam dalam jumlah yang besar tetapi berakibat pada pertumbuhannya sangat lambat atau biomasnya rendah karena efek fitotoksitas.

#### **4. KESIMPULAN**

Fitoremediasi merupakan salah satu metode pengolahan limbah cair dengan menggunakan tumbuhan. Pada penelitian ini dilakukan proses fitoremediasi untuk mengolah limbah laboratorium menggunakan tumbuhan kabomba (*C.aquatica*). Berdasarkan hasil penelitian dapat disimpulkan bahwa tumbuhan kabomba (*C. aquatica*) mampu menurunkan kandungan Fe pada air limbah sebesar 56,61% pada konsentrasi 75% dengan nilai serapan 144,87 mg/L namun belum mampu menurunkan kandungan Cu pada air limbah.

**DAFTAR PUSTAKA**

- Amnal. (2009). Respon Fisiologi Beberapa Varietas Padi terhadap Cekaman Besi. [Tesis]. Sekolah Pascasarjana. Institut Pertanian Bogor.
- Audebert, A. (2006). Iron Toxicity in Rice Environmental Conditions and Symptoms. In: Iron Toxicity in Rice-based Systems in West Africa. *Cotonou: Africa Rice Center (WARDA)*, 18-32
- Audina, M., Apriani, I dan Kadaria, U. (2017). Pengolahan Limbah Cair Laboratorium Teknik Lingkungan dengan Koagulasi dan Adsorpsi untuk Menurunkan COD, Fe dan Pb. *Jurnal Teknologi Lingkungan Lahan Basah*, 5(1) : 1-10
- Balai Penelitian Tanah. (2005). Analisis Kimia Tanah, Tanaman, Air, Dan Pupuk. Bogor: Pusat Penelitian dan Tanah Agroklimat. Departemen Pertanian
- Basiouny, F.M., Haller, W.T., Garrard, L.A., 1977. Evidence for root Fe nutrition in *Hydrilla verticillata* Royle. *Plant Soil*, 48, 621–627.
- Djo, YHW., Adhi, SD., Suprihatin, IE dan Dwijani, SW. (2017). Fitoremediasi Limbah Cair UPT Laboratorium Analitik Universitas Udayana Menggunakan Tanaman Eceng Gondok (*Eichhornia crassipes*) Ditinjau dari Penurunan Nilai COD dan Kandungan Logam Berat Cu dan Cr. *J. Media Sains*, 1(2) : 63-70.
- Hartini E dan Yuantari MGC. (2011). Pengolahan Air Limbah Laboratorium dengan Menggunakan Koagulam Aum Sulfat dan Poly Alum Chloride di Laboratorium Kesehatan Universitas Dian Nuswantoro Semarang. *Jurnal Dian*, 11(2):150-159.
- Hopkins, WG dan Hüner NPA. (2008). Introduction to Plant Physiology, 4<sup>th</sup> edition, New York, John Wiley & Sons Inc.
- Juswardi, E., Efendi, S dan Lilian, F. (2010). Pertumbuhan *Neptunia oleracea* Lour. pada limbah cair amoniak dari industri pupuk urea sebagai upaya pengembangan fitoremediasi. *Jurnal Penelitian Sains* , 13(1):17-20.
- Keller, C. (2005). Alternatives for Phytoextraction: Biomass plant versus hyperaccumulators. *Geophysic. Res. Abstract*, 7, 03285.
- Marschner, H. (1995). Mineral Nutrition of Higher Plants. 2<sup>nd</sup> Ed. London (UK): Academic Press. Harcourt Brace dan Company.
- Mehraban, P., Zadeh AA, dan Sadeghipour, HR. (2008). Iron Toxicity in Rice (*Oriza sativa* L) Under Different Pottasium Nutrition. *Asean Journal of Plant Science*, 1-9
- Melithia, C. L.A. Jhonson, dan W. Amber. (1996). Ground Water Polution: In situ Biodegradation. [online] available at [http://www.cee.vt.edu/program\\_areas/enviromental\\_teach/gwprimer/group1/ind/ex/html](http://www.cee.vt.edu/program_areas/enviromental_teach/gwprimer/group1/ind/ex/html)

- Othman MS, Lim EC & Mushrifah I. (2007). Water Quality Changes in Chini Lake. *Environ. Monit Assess*, 131: 279-292.
- SNI 6989.4:2009. Air dan Air Limbah - bagian 4: Cara Uji Besi (Fe) secara Spektrofotometri Serapan Atom (SSA)-nyala.
- Sulaeman, S dan Eviati. (2005). Analisis kimia tanah, tanaman, air dan pupuk. Bogor: Balai penelitian tanah dan pengembangan penelitian, Departemen Pertanian.
- Suprihatin dan Siswi, IN.(2010). Penyisihan Logam Berat dari Limbah Cair Laboratorium dengan Metode Presipitasi dan Adsorpsi. *Makara Sains*,14, (1) : 44-50
- Syafruddin. (2011). Keracunan Besi Pada Tanaman Padi dan UpayanPengelolaannya ada Lahan Sawah. Balai Pengkajian Teknologi Pertanian Sulawesi Tengah. *Jurnal Agribisnis dan Pengembangan Wilayah*,3(1).
- Trisnawati, N, Manuaba, P dan Iryanti, ES. (2016). Fitodegradasi dengan Tanaman Pacing (*Speciosus cheilocostus*) untuk Menurunkan Kandungan Pb,Cd,dan Hg//Limbah Cair Laboratorium, *Jurnal Cakra Kimia*, 4 (1).
- Yeo, AE., Yeo, ME dan Flowers, TJ. (1987). The Contribution of an Apoplastic Pathway to Sodium Uptake by Rice Roots in Saline Conditions. *Journal of Experimental Botany*, 38 (7) : 1141–1153
- Xue ,P., Li ,G., Liu, W dan Yan, C. (2010). Copper Uptake and Translocation in a Submerged Aquatic Plant *Hydrilla Verticillata* (L.f.) Royle. *Chemosphere*, 81(9) : 1098–1103

## PENENTUAN STATUS MUTU AIR WADUK SERMO DENGAN METODE STORET DAN INDEKS PENCEMARAN

Lussyia Setya Dewi<sup>1</sup>, Intan Supraba<sup>2</sup>, Budi Kamulyan<sup>3</sup>

<sup>1)2)3)</sup> Departemen Teknik Sipil dan Lingkungan, Universitas Gadjah Mada, Yogyakarta

Email : [lussyia.setyadewi@gmail.com](mailto:lussyia.setyadewi@gmail.com)

### Abstrak

Waduk Sermo dimanfaatkan sebagai air baku air minum oleh PDAM Tirta Binangun. Untuk memenuhi syarat sebagai air baku air minum, kualitas air Waduk Sermo harus memenuhi persyaratan yang tertulis dalam Peraturan Gubernur DIY nomor 20 tahun 2008 tentang Baku Mutu Air di Provinsi Daerah Istimewa Yogyakarta. Penelitian yang pernah dilakukan menyatakan bahwa budidaya ikan dengan keramba jaring apung menyebabkan pencemaran ringan di Waduk Sermo. Penelitian lain yang pernah dilakukan menyatakan bahwa status mutu air Waduk Sermo pada tahun 2010, 2011, dan 2012 yang dihitung dengan metode Indeks Pencemaran (IP) adalah tercemar ringan. Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui status mutu air Waduk Sermo setelah keramba jaring apung dilarang beroperasi di Waduk Sermo berdasarkan beberapa parameter kualitas air Waduk Sermo yang dibandingkan dengan Peraturan Gubernur DIY nomor 20 tahun 2008. Penentuan status mutu air menggunakan metode STORET dan Indeks Pencemaran (IP). Kedua metode ini menggunakan prinsip perbandingan antara data kualitas air di lapangan dengan baku mutu air sesuai peruntukannya. Data kualitas air sebagai input kedua metode tersebut diperoleh dengan cara sampling dan uji laboratorium. Parameter kualitas air yang digunakan adalah TDS, pH, temperatur, fosfat, kekeruhan, nitrit, nitrat, NH<sub>3</sub>-N, dan DO. Dari hasil perhitungan dengan metode STORET diketahui bahwa Waduk Sermo memiliki status mutu air tercemar sedang sedangkan hasil perhitungan dengan metode Indeks Pencemaran (IP) diketahui bahwa Waduk Sermo masih memiliki status mutu air tercemar ringan. Hal ini menandakan bahwa masih terdapat sumber pencemaran lain selain keramba jaring apung.

**Kata kunci:** indeks pencemaran, status mutu air, STORET

### Abstract

Sermo reservoir is used by PDAM Tirta Binangun as raw water for drinking water. To be qualified as raw water for drinking, the quality of water in Waduk Sermo must be on par with the requirements written in the Regulation of Daerah Istimewa Yogyakarta Governor number 20 year of 2008. In previous research, it is stated that fish farming with floating net cages causes mild pollution in Sermo Reservoir. Another research stated that the status of water quality in Sermo Reservoir in the year of 2010, 2011 and 2012 calculated with Pollution Index (PI) method serve the result as mild polluted. This research aims to determine the status of water quality in Sermo Reservoir after floating net cages prohibited from operation in Sermo Reservoir based on several parameters of Sermo Reservoir's water quality compared with the Regulation of DIY Governor number 20 year of 2018. STORET method and Pollution Index (PI) used to determine status of water quality. Both of the methods uses the principle of comparison between water quality data from the fields and the water quality standards according to its purposes. Water quality data as an input for both of the methods obtained by sampling and laboratory testing. Parameter of water quality such as TDS, pH, temperature, phosphate, turbidity, nitrite, nitrate, NH<sub>3</sub>-N, and DO. Calculation result with STORET method stated that Sermo Reservoir has a moderate pollution status, while calculation result with the Pollution Index (PI) method stated that Sermo Reservoir still has a mild pollution status. All of this indicates that there are another sources of pollution besides the floating net cages.

**Keywords:** pollution index, water quality status, STORET

## 1. PENDAHULUAN

Kawasan objek wisata Waduk Sermo adalah salah satu objek wisata yang memiliki kekhasan tersendiri. Waduk Sermo dibangun untuk mewujudkan suplesi sistem irigasi daerah Kalibawang. Sistem irigasi tersebut merupakan interkoneksi dari beberapa daerah irigasi,

Dikirim/submitted: 6 Desember 2019

Diterima/accepted: 13 Desember 2019



diantaranya Clereng, Pengasih, dan Pekik Jamal. Pembangunan waduk ini selain sebagai suplesi sistem irigasi juga digunakan sebagai kawasan objek wisata. Pembangunan di waduk ini membawa perubahan pada mata pencaharian dan peningkatan pendapatan masyarakat Sremo, muncul lapangan kerja baru, meningkatnya kesejahteraan, akses jalan mudah, dan pola pikir masyarakat yang lebih maju (Rahmayanti dan Pinasti, 2018).

Perusahaan Daerah Air Minum (PDAM) Tirta Binangun juga memanfaatkan Waduk Sermo sebagai sumber air baku air minum. Untuk memenuhi syarat sebagai air baku air minum, kualitas air Waduk Sermo harus memenuhi persyaratan yang tertulis dalam Peraturan Gubernur DIY nomor 20 tahun 2008 tentang Baku Mutu Air di Provinsi Daerah Istimewa Yogyakarta. Air yang peruntukannya sebagai air baku air minum masuk ke dalam kategori air kelas satu sehingga air Waduk Sermo harus memenuhi baku mutu kualitas air kelas satu di dalam peraturan tersebut.

Menurut Rustadi (2009), limbah organik dalam air dan sedimen waduk Sermo mengalami dekomposisi dan meningkatkan konsentrasi unsur nitrogen dan fosfor yang dapat mendorong pertumbuhan fitoplankton. Pada konsentrasi optimum, unsur hara tersebut menguntungkan bagi produksi ikan di waduk karena fitoplankton merupakan sumber makanan ikan. Penelitian yang dilakukan oleh Yulianto (2002), Wulandari (2014) menyatakan bahwa budidaya ikan dengan keramba jaring apung di waduk sermo justru menyebabkan pencemaran ringan di Waduk Sermo. Hal ini diduga karena tingginya unsur nitrogen dan fosfor akibat aktivitas budidaya ikan. Bahari (2015) menyatakan bahwa status mutu air Waduk Sermo pada tahun 2010, 2011, dan 2012 yang dihitung dengan metode Indeks Pencemaran (IP) adalah tercemar ringan.

Pada tahun 2018 tidak ditemukan adanya budidaya ikan dengan keramba jaring apung dan restoran apung di perairan Waduk Sermo. Hal ini sebagai tindak lanjut dari larangan yang dikeluarkan oleh Bupati Kulon Progo pada tahun 2014 mengingat bahwa keramba jaring apung dan restoran apung menyebabkan pencemaran di Waduk Sermo. Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui status mutu air Waduk Sermo setelah keramba jaring apung dan restoran apung dilarang beroperasi di Waduk Sermo berdasarkan beberapa parameter kualitas air Waduk Sermo yang dibandingkan dengan Peraturan Gubernur DIY nomor 20 tahun 2008. Penentuan status mutu air menggunakan metode STORET dan Indeks Pencemaran (IP).

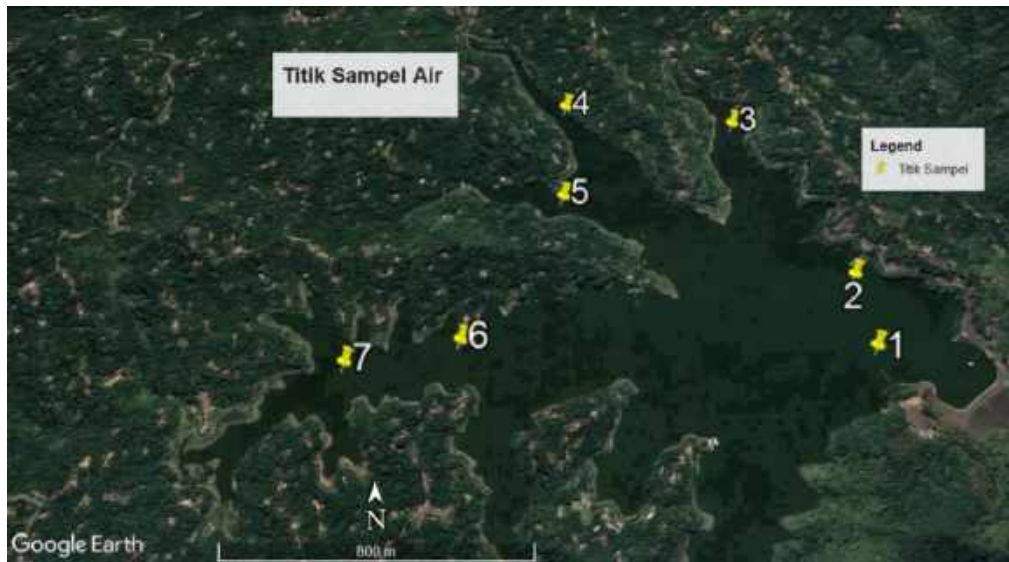
Suatu sumber air harus memenuhi baku mutu. Wilayah Daerah Istimewa Yogyakarta menggunakan Peraturan Gubernur DIY nomor 20 tahun 2008 sebagai baku mutu air. Apabila peruntukannya adalah sebagai air baku air minum maka harus memenuhi baku mutu air kelas satu (I). Penentuan status mutu air menggunakan metode STORET dan Indeks Pencemaran sesuai dengan Keputusan Menteri Negara Lingkungan Hidup nomor 115 tahun 2003 tentang Pedoman Penentuan Status Mutu Air. Menurut Huboyo dkk. (2009), penggunaan dua metode ini seringkali menghasilkan output yang berbeda, karena adanya pembobotan tiap-tiap parameter yang berbeda. Oleh karena itu perlu kajian mengenai perbandingan dua metode tersebut agar pemakaian masing-masing metode dapat digunakan sesuai dengan kondisi yang sesuai.

## 2. METODE PENELITIAN

Studi literatur dilakukan pada awal penelitian ini untuk mengetahui kondisi Waduk Sermo pada saat keramba jaring apung masih beroperasi. Studi literatur juga dilakukan untuk mengetahui metode yang digunakan untuk penentuan status mutu air di Indonesia beserta langkah-langkah perhitungannya. Selain itu studi literatur juga dilakukan untuk mengetahui aturan yang dijadikan baku mutu air wilayah Daerah Istimewa Yogyakarta. Di dalam aturan ini juga dijelaskan baku mutu untuk setiap kelas dan parameter kualitas air.

Penentuan titik sampel dan pengambilan sampel air kemudian dilakukan dengan *purposive sampling*. Titik sampel air yang diambil berada di daerah bekas keramba jaring apung dan restoran apung beserta titik-titik masuknya aliran air yang menuju Waduk Sermo. Selain itu titik sampel juga ada yang terdapat di dekat intake PDAM Tirta Binangun. Dalam penelitian ini jumlah titik sampel ada 7 titik dan ditunjukkan di dalam Gambar 2 di bawah ini. Pengambilan sampel dilakukan selama 6 bulan yaitu pada bulan Agustus 2018 sampai dengan Januari 2019. Pengambilan sampel dilakukan pada pukul 08.00 sampai dengan 10.00 WIB. Gambar 1 menunjukkan detail titik pengambilan sampel.

Setelah dilakukan pengambilan sampel air, tahap penelitian dilanjutkan pada pengujian sampel di laboratorium. Pada penelitian ini, laboratorium yang digunakan adalah Laboratorium Teknik Penyehatan Lingkungan Departemen Teknik Sipil dan Lingkungan UGM. Parameter kualitas air yang diuji adalah TDS, pH, temperatur, fosfat, kekeruhan, nitrit, nitrat,  $\text{NH}_3\text{-N}$ , dan DO.



**Gambar 1.** Titik pengambilan sampel air

Pengolahan data hasil uji laboratorium menggunakan metode yang ada di dalam Keputusan Menteri Negara Lingkungan Hidup nomor 115 tahun 2003 tentang Pedoman Penentuan Status Mutu Air yaitu metode STORET dan Indeks Pencemaran. Di dalam Tabel 1 dijelaskan baku mutu air kelas satu untuk beberapa parameter kualitas air yang digunakan dalam penelitian ini yang mengacu pada Peraturan Gubernur DIY nomor 20 tahun 2008.

**Tabel 1.** Baku mutu air kelas satu

Parameter	Satuan	Nilai	Jenis parameter
TDS ( <i>Total Dissolved Solid</i> )	mg/L	1000	Fisika
pH	-	6 - 8,5	Kimia
Temperatur	°C	± 3 terhadap suhu udara	Fisika
Fosfat	mg/L	0,2	Kimia
Kekeruhan	NTU	5	Fisika
Nitrit	mg/L	0,06	Kimia
Nitrat	mg/L	10	Kimia
NH <sub>3</sub> -N	mg/L	0,5	Kimia
DO ( <i>Dissolved Oxygen</i> )	mg/L	6	Kimia

Penentuan status mutu air menggunakan metode STORET dan Indeks Pencemaran sesuai dengan Keputusan Menteri Negara Lingkungan Hidup nomor 115 tahun 2003 tentang Pedoman Penentuan Status Mutu Air. Di dalam metode STORET, klasifikasi mutu air terbagi di dalam empat kelas seperti yang dijelaskan pada Tabel 2.

**Tabel 2.** Klasifikasi mutu air menurut metode STORET

Kelas	Total skor	Keterangan
A	0	Memenuhi baku mutu
B	-1 s/d -10	Tercemar ringan
C	-11 s/d -30	Tercemar sedang
D	$\geq -31$	Tercemar berat

Untuk parameter yang memenuhi baku mutu diberi skor 0. Untuk parameter yang tidak memenuhi baku mutu diberi skor seperti yang tertulis dalam Tabel 3. Jumlah dari skor negatif berdasarkan Tabel 3 menjadi dasar untuk menentukan status mutu air.

**Tabel 3.** Penentuan sistem skor untuk menentukan status mutu air

Jumlah parameter	Nilai	Jenis parameter		
		Fisika	Kimia	Biologi
< 10	Maksimum	-1	-2	-3
	Minimum	-1	-2	-3
	Rata-rata	-3	-6	-9
$\geq 10$	Maksimum	-2	-4	-6
	Minimum	-2	-4	-6
	Rata-rata	-6	-12	-18

Metode Indeks Pencemaran merupakan metode yang diusulkan oleh Sumitomo dan Nemerow (1970) yang tertulis dalam Keputusan Menteri Negara Lingkungan Hidup nomor 115 tahun 2003. Di dalam metode Indeks Pencemaran (IP), klasifikasi mutu air terbagi di dalam empat kelas seperti yang dijelaskan pada Tabel 4.

**Tabel 4.** Klasifikasi mutu air menurut metode Indeks Pencemaran

Nilai $PI_j$	Keterangan
$0 \leq PI_j \leq 1,0$	Memenuhi baku mutu (kondisi baik)
$1,0 < PI_j \leq 5,0$	Tercemar ringan
$5,0 < PI_j \leq 10$	Tercemar sedang
$PI_j > 10$	Tercemar berat

Penentuan nilai  $PI_j$  membutuhkan beberapa tahap yang diacu dari Keputusan Menteri Negara Lingkungan Hidup nomor 115 tahun 2003. Parameter yang digunakan dalam menentukan nilai  $PI_j$  adalah  $C_i$  dan  $L_{ij}$ . Nilai  $C_i$  merupakan konsentrasi parameter kualitas air yang diperoleh dari hasil analisis cuplikan air pada suatu lokasi pengambilan sampel sedangkan nilai  $L_{ij}$  merupakan konsentrasi parameter kualitas air yang dicantumkan dalam baku mutu sesuai peruntukan air sehingga  $PI_j$  merupakan Indeks Pencemaran bagi peruntukan yang merupakan fungsi dari  $C_i/L_{ij}$ . Urutan tahapan penentuan nilai  $PI_j$  adalah sebagai berikut ini.

1. Parameter - parameter yang jika harga parameter rendah maka kualitas air semakin baik dipilih terlebih dahulu
2. Konsentrasi parameter baku mutu yang tidak memiliki rentang juga dipilih terlebih dahulu
3. Harga  $C_i/L_{ij}$  pengukuran untuk setiap parameter pada setiap lokasi *sampling* dihitung
4. Jika  $C_i/L_{ij}$  pengukuran  $<1,0$  maka nilai  $C_i/L_{ij}$  baru menggunakan nilai  $C_i/L_{ij}$  pengukuran
5. Jika  $C_i/L_{ij}$  pengukuran  $>1,0$  maka nilai  $C_i/L_{ij}$  baru menggunakan nilai dari persamaan:

$$(C_i/L_{ij})_{\text{baru}} = 1 + P \log(C_i/L_{ij} \text{ pengukuran}) \quad (1)$$

Nilai P biasanya menggunakan 5

6. Jika ditemukan konsentrasi parameter yang menurun menyatakan tingkat pencemaran meningkat (misal DO), maka terlebih dahulu menentukan nilai maksimum  $C_{im}$ . Untuk DO nilai maksimum  $C_{im}$  merupakan nilai DO jenuh. Nilai DO jenuh tergantung dari temperatur air. Dalam kasus ini nilai  $C_i/L_{ij}$  pengukuran diganti dengan nilai  $C_i/L_{ij}$  baru yaitu:

$$(C_i/L_{ij})_{\text{baru}} = \frac{C_{im} - C_i(\text{pengukuran})}{C_{im} - L_{ij}}$$

(2)

Nilai DO jenuh menurut temperatur air West Virginia Department of Environmental Protection (2019) dan ditampilkan dalam Tabel 5 berikut ini.

**Tabel 5.** Nilai DO jenuh menurut temperatur air

Temperatur (°C)	DO jenuh (mg/L)
27	8,1
28	7,9
29	7,8
30	7,7

7. Jika nilai baku mutu  $L_{ij}$  mempunyai rentang maka:

- Untuk  $C_i \leq L_{ij}$  rata-rata

$$(C_i/L_{ij})_{\text{baru}} = \frac{C_i - L_{ij} \text{ rata-rata}}{L_{ij} \text{ min} - L_{ij} \text{ rata-rata}} \quad (3)$$

- Untuk  $C_i \geq L_{ij}$  rata-rata

$$(C_i/L_{ij})_{\text{baru}} = \frac{C_i - L_{ij} \text{ rata-rata}}{L_{ij} \text{ max} - L_{ij} \text{ rata-rata}} \quad (4)$$

8. Menentukan nilai rata-rata dan nilai maksimum dari keseluruhan  $(C_i/L_{ij})_{\text{baru}}$  yaitu  $(C_i/L_{ij})_R$  dan  $(C_i/L_{ij})_M$
9. Menentukan harga  $PI_j$  dengan persamaan:

$$PI_j = \sqrt{\frac{(C_i/L_{ij})_M^2 + (C_i/L_{ij})_R^2}{2}} \quad (5)$$

### 3. HASIL DAN PEMBAHASAN

Pada penelitian ini, terdapat sembilan parameter air yang diuji laboratorium yaitu *total dissolved solid* (TDS), pH, temperatur, fosfat, kekeruhan, nitrit, nitrat, NH<sub>3</sub>-N, dan *dissolved oxygen* (DO). Pengambilan sampel air dilakukan pada tujuh titik selama periode enam bulan. Hasil uji laboratorium untuk sampel air yang diambil pada titik sampel 1 dan titik sampel 2 dijelaskan dalam tabel 6. Hasil uji laboratorium pada titik sampel 3,4 dan 5 dapat dilihat pada tabel 7. Hasil uji laboratorium pada titik sampel 6 dan 7 dapat dilihat pada Tabel 8. Sementara itu, hasil perhitungan dengan metode STORET untuk sampel 1 disajikan di dalam Tabel 9.

**Tabel 6.** Hasil uji laboratorium titik sampel 1 dan 2

Titik sampel 1						
Parameter	Agustus	September	Oktober	November	Desember	Januari
TDS	108,4	113,9	105,7	154,2	110,15	66,1
pH	7,55	7	7	6,5	7	6
Temperatur	24	26	28	30	29	28
Fosfat	1,6	1	1,6	1,4	2,6	1,5
Kekeruhan	4,61	7,82	5,65	1,68	2,09	2,5
Nitrit	0,005	0	0,002	0,002	0	0,002
Nitrat	24,2	19,2	3,03	2,57	3,31	9,14
NH <sub>3</sub> -N	0	0	0	0	0	0
DO	4,2	6,8	5,6	5	1,2	4

Titik sampel 2						
Parameter	Agustus	September	Oktober	November	Desember	Januari
TDS	110	115,6	106,7	155,4	110,75	66,1
pH	7,63	6,5	7	7	7	6,5
Temperatur	24	27	28	30	29	28
Fosfat	2,8	1	2,2	1,2	1,6	1,7
Kekeruhan	27,6	4,42	26,2	1,42	1,635	1,85
Nitrit	0,013	0,001	0	0,003	0	0,002
Nitrat	19,1	21,8	2,75	3,53	3,73	8,21
NH <sub>3</sub> -N	0,0767	0,0127	0,163	0	0	0
DO	4,2	7,8	7	1,8	1,6	2,2

**Tabel 7.** Hasil uji laboratorium titik sampel 3 sampai dengan 5

<b>Titik sampel 3</b>						
<b>Parameter</b>	<b>Agustus</b>	<b>September</b>	<b>Oktober</b>	<b>November</b>	<b>Desember</b>	<b>Januari</b>
TDS	204	229	-	325	203,2	81,4
pH	7,12	7	-	7,5	7	6
Temperatur	24	24	-	29	29	26
Fosfat	1,9	3,4	-	0,8	0,6	1,2
Kekeruhan	1,82	8,53	-	0,33	1,245	2,16
Nitrit	0,009	0,045	-	0,036	0,003	0,003
Nitrat	33,3	29,9	-	4,42	5,94	11,5
NH3-N	0,149	1,32	-	0,021	0	0
DO	2,8	2,6	-	2,4	4,2	2,8
<b>Titik sampel 4</b>						
<b>Parameter</b>	<b>Agustus</b>	<b>September</b>	<b>Oktober</b>	<b>November</b>	<b>Desember</b>	<b>Januari</b>
TDS	178,9	189,4	183,3	262	168,05	74,1
pH	7,87	7	7	7	7	6
Temperatur	24	24	26	29	29	26
Fosfat	1	0,3	0,7	0,7	0,6	1,1
Kekeruhan	0,9	1,27	2,12	0,31	1,085	1,86
Nitrit	0,005	0,002	0,001	0,005	0,003	0,003
Nitrat	31,1	23,5	4,51	4,6	4,62	9,76
NH3-N	0	0,0196	0	0	0	0
DO	7,4	6,6	5,4	2	2	3
<b>Titik sampel 5</b>						
<b>Parameter</b>	<b>Agustus</b>	<b>September</b>	<b>Oktober</b>	<b>November</b>	<b>Desember</b>	<b>Januari</b>
TDS	194,6	252	-	234	168,05	102,1
pH	7,59	7,5	-	7,5	7	7
Temperatur	24	26	-	28	28	26
Fosfat	1,9	2,3	-	1,8	0,5	1
Kekeruhan	3,89	9,78	-	1,06	1,275	1,49
Nitrit	0,004	0	-	0,052	0,006	0,002
Nitrat	34,8	39	-	4,1	9,66	13,2
NH3-N	0	0,176	-	0,0734	0,0297	0,0126
DO	6,2	5,4	-	2	5,8	2,6

**Tabel 8.** Hasil uji laboratorium titik sampel 6 dan 7

Titik sampel 6						
Parameter	Agustus	September	Oktober	November	Desember	Januari
TDS	134,4	131,8	107,3	171,1	118,8	66,5
pH	7,2	6	7	6,5	7	7
Temperatur	24	26	28	29	29	27
Fosfat	3,6	2	2,2	1,5	1,4	1,5
Kekeruhan	32,5	11,8	18,1	1,9	1,75	1,6
Nitrit	0,016	0	0	0,001	0,001	0,002
Nitrat	23,8	20,6	2,78	3,13	3,72	8,85
NH3-N	0	0,0183	0,00871	0	0	0
DO	8,8	8,6	6,8	1,6	2,8	3,4

Titik sampel 7						
Parameter	Agustus	September	Oktober	November	Desember	Januari
TDS	216	433	466	392	246,6	101,2
pH	7,88	6,5	7	6	7	7
Temperatur	24	28	28	28	29	28
Fosfat	1,8	0,7	2	4,1	0,7	1,2
Kekeruhan	2,18	0,5	5,04	4,76	3,185	1,61
Nitrit	0,007	0,005	0,001	0,002	0,002	0,003
Nitrat	38,5	51,8	12,3	4,86	8,78	14,2
NH3-N	0,0187	0,658	0,503	0	0	0
DO	10	6	9,4	1,6	2,4	4

**Tabel 9.** Hasil hitungan dengan metode STORET untuk titik sampel 1

Titik sampel 1								
Parameter	Min	Maks	Rerata	Skor min	Skor maks	Skor rerata	Jml	Status
TDS	66,10	154,20	109,742	0	0	0	0	Tercemar sedang
pH	6,0	7,55	6,842	0	0	0	0	
Suhu	24	30	27,433	0	0	0	0	
Fosfat	1,0	2,6	1,617	-2	-2	-6	-10	
Kekeruhan	1,68	7,82	4,058	0	-1	0	-1	
Nitrit	0	0,005	0,002	0	0	0	0	
Nitrat	2,57	24,2	10,242	0	-2	-6	-8	
NH3-N	0	0	0	0	0	0	0	
DO	1,2	6,8	4,467	-2	0	-6	-8	
Jumlah							-27	



Dengan cara yang sama dapat ditentukan pula status mutu air untuk titik yang lain. Berdasarkan hasil perhitungan sesuai dengan langkah-langkah yang sudah disebutkan, semua titik memiliki status mutu air tercemar sedang dengan jumlah skor untuk seluruh parameter di setiap titik ditunjukkan pada Tabel 10.

**Tabel 10.** Hasil hitungan dengan metode STORET untuk semua titik sampel

Titik sampel	Jumlah skor seluruh parameter	Keterangan
1	-27	Tercemar sedang
2	-31	Tercemar sedang
3	-26	Tercemar sedang
4	-15	Tercemar sedang
5	-30	Tercemar sedang
6	-30	Tercemar sedang
7	-24	Tercemar sedang

Metode yang kedua yang digunakan di dalam penelitian ini adalah Indeks Pencemaran. Sebagai contoh, hasil dari perhitungan sampel satu bulan Agustus ditunjukkan dalam Tabel 11. Setelah itu dicari nilai maksimum dan rata-rata dari  $C_i/L_{ij}$  baru untuk menghitung nilai  $PI_j$  dengan persamaan (5).

**Tabel 11.** Indeks pencemaran air untuk titik sampel 1 bulan Agustus

Parameter kualitas air	$C_i$	$L_{ij}$	$C_i/L_{ij}$	$C_{im}$	$L_{ij \text{ min}}$	$L_{ij \text{ maks}}$	$L_{ij \text{ rata-rata}}$	$C_i/L_{ij \text{ baru}}$
TDS (mg/L)	108,4	1000	0,108	-	-	-	-	0,108
pH	7,55	6-8,5	-	-	6	8,5	7,25	0,240
Suhu (C)	23,6	dev 3	-	-	21	27	24	0,133
Fosfat (PO <sub>4</sub> <sup>3-</sup> ) (mg/L)	1,6	0,2	8	-	-	-	-	5,515
Kekeruhan (NTU)	4,61	5	0,922	-	-	-	-	0,922
Nitrit (mg/L)	0,005	0,06	0,083	-	-	-	-	0,083
Nitrat (mg/L)	24,2	10	2,420	-	-	-	-	2,919
NH <sub>3</sub> -N (mg/L)	0	0,5	0	-	-	-	-	0
DO (mg/L)	4,2	6	-	8,6	-	-	-	1,692
							$C_i/L_{ij \text{ baru M}}$	5,515
							$C_i/L_{ij \text{ baru R}}$	1,290
							$PI_j$	4,005

Hasil dari perhitungan nilai  $PI_j$  untuk semua titik sampel di semua bulan ditunjukkan dalam Tabel 12 di bawah ini.

**Tabel 12.** Nilai  $PI_j$  untuk semua titik sampel

Titik sampel	$PI_j$					
	Agustus	September	Oktober	November	Desember	Januari
1	4,005	3,277	3,963	3,751	4,730	3,880
2	4,935	3,258	4,498	3,534	3,978	4,070
3	4,288	5,303	-	2,923	2,451	3,562
4	3,266	2,097	2,692	2,711	2,469	3,420
5	4,270	4,612	-	4,184	2,169	3,268
6	5,292	4,363	4,481	3,892	3,763	3,872
7	4,173	3,377	4,320	5,465	2,718	3,534

Berdasarkan nilai  $PI_j$  dari Tabel 12 dapat ditentukan status mutu air pada masing-masing titik sampel dan waktu pengambilan sampel seperti pada Tabel 13.

**Tabel 13.** Status mutu air untuk semua titik sampel

Sampel	Status mutu air					
	Agustus	September	Oktober	November	Desember	Januari
1	cemar ringan	cemar ringan	cemar ringan	cemar ringan	cemar ringan	cemar ringan
2	cemar ringan	cemar ringan	cemar ringan	cemar ringan	cemar ringan	cemar ringan
3	cemar ringan	cemar sedang	cemar ringan	cemar ringan	cemar ringan	cemar ringan
4	cemar ringan	cemar ringan	cemar ringan	cemar ringan	cemar ringan	cemar ringan
5	cemar ringan	cemar ringan	cemar ringan	cemar ringan	cemar ringan	cemar ringan
6	cemar sedang	cemar ringan	cemar ringan	cemar ringan	cemar ringan	cemar ringan
7	cemar ringan	cemar ringan	cemar ringan	cemar sedang	cemar ringan	cemar ringan

Berdasarkan hasil hitungan penentuan status mutu air menggunakan metode STORET dan Indeks Pencemaran, terdapat perbedaan status mutu air yang dihasilkan. Perbedaan yang dihasilkan kemungkinan berasal dari sistem pemberian skor yang berbeda terlebih lagi terdapat sebuah konstanta P di dalam metode Indeks Pencemaran yang hanya dijelaskan “biasanya dipakai nilai 5” di dalam Keputusan Menteri Negara Lingkungan Hidup nomor 115 tahun 2003 tentang Pedoman Penentuan Status Mutu Air.

Pada metode Indeks Pencemaran, tidak ada skema skor subindeks atau skor definitif (subyektif) per parameter. Indeks STORET didasarkan atas subyektivitas bobot dan skor parameter yang dianggap signifikan di USA, daerah/negara asal perkembangan indeks tersebut. Asumsi ini belum tentu berlaku di negara lain, khususnya negara tropis yang memiliki kondisi iklim dan lingkungan berbeda. Indeks PI dihitung dengan mempertimbangkan ratio konsentrasi suatu parameter dengan baku mutunya ( $C_i/L_{ij}$ ) (Saraswati dkk, 2014).

Hasil perhitungan dengan metode Indeks Pencemaran dapat menyatakan bahwa Waduk Sermo memiliki status tercemar ringan. Apabila dibandingkan dengan penelitian oleh Bahari (2015) yang menyatakan bahwa pada saat terdapat keramba jaring apung, Waduk Sermo memiliki status tercemar ringan dengan hitungan metode Indeks Pencemaran, maka hal ini menjadi tanda bahwa Waduk Sermo memiliki sumber pencemaran lain selain keramba jaring apung sehingga menyebabkan status mutu air tidak berubah. Menurut Sudarmadji dan Widyastuti (2014), sumber pencemaran lain di waduk Sermo yang juga memberi sumbangan terhadap penurunan kualitas air selain perikanan adalah kegiatan pariwisata, domestik, dan pertanian,

#### **4. KESIMPULAN**

Berdasarkan hitungan dengan metode STORET, status mutu air di Waduk Sermo di semua titik sampel adalah tercemar sedang. Sedangkan pada hasil hitungan metode Indeks Pencemaran sebagian besar adalah tercemar ringan dan hanya 3 titik di bulan tertentu ditemukan tercemar sedang. Hal ini menjadi tanda bahwa Waduk Sermo memiliki sumber pencemaran lain selain keramba jaring apung sehingga menyebabkan status mutu air tidak berubah.

#### **DAFTAR PUSTAKA**

Bahari, Y. (2015). Study Hubungan Kuantitas dan Kualitas Air Waduk Sermo Serta Penelusuran Konservasi Lahan Green Belt Waduk Sermo. *Master Thesis*. Yogyakarta: Universitas Gadjah Mada Perpustakaan Universitas Gadjah Mada.

- Huboyo, H.S., Nugraha, W.D. dan Indah, R.(2009). Analisis Penentuan Mutu Air Beberapa Sungai di Jawa Tengah dengan Metode Storet dan Indeks Pencemaran. *Jurnal Presipitasi*, 6(2) : 1-6.
- Keputusan Menteri Negara Lingkungan Hidup nomor 115 tahun 2003 tentang Pedoman Penentuan Status Mutu Air
- Peraturan Gubernur DIY nomor 20 tahun 2008 tentang Baku Mutu Air di Provinsi Daerah Istimewa Yogyakarta
- Rahmayanti, Y.D. & Vinasti, P.I.S. (2018). Dampak Keberadaan Objek Wisata Waduk Sermo Terhadap Perubahan Sosial Ekonomi Masyarakat Di Sremo, Kulon Progo, Daerah Istimewa Yogyakarta, *E-Societas*, 7(2) : 1-15.
- Rustadi. (2009). Eutrofikasi Nitrogen dan Fosfor Serta Pengendaliannya Dengan Perikanan di Waduk Sermo. *Jurnal Manusia dan Lingkungan*, 16(3) : 176-186.
- Saraswati, S.P., Sunyoto, Kironoto, B.A. dan Hadisusanto, S. (2014). Kajian Bentuk dan Sensitivitas Rumus Indeks PI, STORET, CCME untuk Penentuan Status Mutu Perairan Sungai Tropis di Indonesia. *Jurnal Manusia dan Lingkungan*, 21(2) : 129-142.
- Sudarmadji dan Widiastuti. (2014). Dampak dan Kendala Wisata Waduk Sermo Dari Aspek Lingkungan Hidup dan Risiko Bencana. *Jurnal TeknoSains*, 3(2) : 142-157.
- West Virginia Department of Environmental Protection. (2019). DEP. [Online] Available at: <http://dep.wv.gov/WWE/getinvolved/sos/Documents/SOSKit/DOSaturation.pdf> [Accessed 21 Juli 2019].
- Wulandari. (2014). Kajian Kualitas Air Waduk Sermo, Desa Hargowilis, Kecamatan Kokap, Kabupaten Kulon Progo. *Bachelor Thesis*. Yogyakarta: Universitas Gadjah Mada Perpustakaan Universitas Gadjah Mada.
- Yulianto, B. (2002). Studi Dampak Limbah Cair dari Budidaya Ikan dalam Keramba Jaring Apung terhadap Status Trofik Perairan Waduk Sermo. *Master Thesis*. Yogyakarta: Universitas Gadjah Mada Perpustakaan Universitas Gadjah Mada.

## PERENCANAAN INSTALASI PENGOLAHAN AIR LIMBAH (IPAL) PADA KEGIATAN PELAPISAN LOGAM (ELEKTROPLATING) SKALA KECIL DAN MENENGAH (IKM X) DI DAERAH ISTIMEWA YOGYAKARTA

Anisah Hasna Jauharoh<sup>1</sup>, Awaluddin Nurmiyanto<sup>1</sup>, Andik Yulianto<sup>1</sup>

<sup>1)</sup> Program Studi Teknik Lingkungan, Universitas Islam Indonesia, Yogyakarta

Email: awaluddin@uii.ac.id

### Abstrak

*IKM X merupakan salah satu dari sekian banyak kegiatan pelapisan logam (elektroplating) di wilayah Kotagede, Daerah Istimewa Yogyakarta yang belum melakukan pengolahan terhadap air limbah yang dihasilkan. IKM X memiliki kapasitas produksi sebesar 6.8 kg logam/hari dan menghasilkan air limbah sebesar 532 L/hari dengan kandungan bahan pencemar yang melebihi baku mutu yang telah ditetapkan oleh pemerintah. Perencanaan Instalasi Pengolahan Air Limbah (IPAL) di IKM X dapat membantu pelaku usaha dalam mengelola limbah dan menghindari terjadinya pencemaran lingkungan. Berdasarkan kajian terhadap berbagai pilihan alternatif teknologi pengolahan limbah diperoleh hasil bahwa proses elektrokoagulasi akan diterapkan pada sistem IPAL di IKM X. Guna mencapai target air olahan sebagai air daur ulang untuk peruntukan pertanian dan perikanan (kelas 2 Pergub DIY 20/2008) maka sistem IPAL di IKM X terdiri dari rangkaian unit elektrokoagulasi, sedimentasi, dan filtrasi. Pembangunan IPAL di IKM X membutuhkan biaya sebesar Rp. 15,753,950, sedangkan operasional IPAL membutuhkan sebesar Rp. 1,475,628 setiap bulan.*

**Kata kunci:** *Elektrokoagulasi, Industri Kecil Menengah, Limbah Elektroplating, Perencanaan IPAL, Pengolahan Limbah Industri*

### Abstract

*IKM X is one of the electroplating activities in Kotagede, Special Region of Yogyakarta, without a wastewater treatment plant. IKM X produces 6.8 kg of coated metals/day with daily wastewater production of 532 L. The wastewater quality in IKM X implied passing the quality standards. Therefore, designing the Wastewater Treatment Plants (WWTP) at IKM X can help the communities manage their waste and avoid environmental pollution. The electrocoagulation process considered as the viable technology for treating the electroplating wastewater. The proposed WWTP system at IKM X consists of electrocoagulation process, sedimentation, and filtration. It is expected to reuse the treated effluent for agriculture. The WWTP construction cost is Rp. 15,753,950, while the operational cost is 1,475,628 every month.*

**Keywords:** *Electrocoagulation, Electroplating Wastewater, Industrial Waste Management, Small and Medium Scale Industry, Wastewater Treatment Design.*

Dikirim/submitted: 16 Desember 2019

Diterima/accepted: 23 Desember 2019

## 1. PENDAHULUAN

Kotagede merupakan salah satu kecamatan yang berada di wilayah Daerah Istimewa Yogyakarta yang dikenal sebagai sentra kerajinan perak dengan berbagai produk unggulan seperti: perhiasan, souvenir, pajangan, hingga minatur khas Yogyakarta. Kerajinan perak telah menjadi tumpuan perekonomian bagi masyarakat Kotagede sejak zaman pendudukan Belanda. (Daliman, 2000; Armiyati, 2014). Keberadaan Kota Yogyakarta sebagai destinasi wisata budaya membuat kerajinan perak di Kotagede masih dapat bertahan. Saat terdapat lebih dari 100 pengrajin perak dan tembaga skala industri kecil dan menengah (IKM) yang masih beroperasi di Kotagede.

Produk kerajinan perak di Kotagede dihasilkan melalui proses pelapisan logam secara elektrokimia atau yang lebih sering dikenal dengan teknik penyepuhan (elektroplating). Proses elektroplating secara umum dilakukan di dalam bejana yang berisi larutan elektrolit dengan komposisi bahan kimia tertentu sesuai dengan jenis logam yang akan dijadikan pelapis. Proses selanjutnya adalah dengan mengalirkan arus searah (DC) melewati kutub positif (anoda) berupa logam pelapis (misalnya perak, krom, dan tembaga) menuju kutub negatif (katoda) berupa logam target yang hendak dilapisi. Dari proses elektrolisa tersebut akan dihasilkan logam yang sudah terlapis oleh logam yang dikehendaki (Basmal dkk., 2013). Pelapisan logam bertujuan sebagai unsur dekoratif agar logam terlihat lebih menarik, selain itu lapisan logam juga berfungsi sebagai pelindung dari korosi dan keausan (Marwati dkk., 2007).

Kegiatan elektroplating menghasilkan limbah cair dengan kandungan berbagai jenis logam berat berbahaya (Monser dan Adhoum, 2002). Kandungan logam tersebut berasal dari logam pelapis yang terlarut, serta campuran senyawa kimia yang terdapat di dalam larutan elektrolit (Triwulandari dkk., 2012). Yudo dan Said (2005) mengungkapkan jika air bekas pencucian logam hasil elektroplating masih memiliki kandungan logam berat seperti: Krom, Nikel dan Seng. Sementara itu Dash dkk (2009) melaporkan jika konsentrasi Kromium Heksavalen ( $\text{Cr}^{6+}$ ) yang terkandung di dalam limbah elektroplating memiliki tingkat toksisitas yang tinggi dan dapat menyebabkan efek yang buruk terhadap kesehatan manusia dan organisme akuatik lainnya.

Berdasarkan survei lapangan diperoleh informasi jika sebagian besar IKM elektroplating perak dan tembaga di Kotagede belum melakukan pengolahan limbah elektroplating dengan baik, Sarawasti dkk (2019) mengkonfirmasi status mutu air tanah di wilayah Kotagede dan sekitarnya tergolong cemar ringan (Saraswati dkk., 2019). Dengan pertimbangan alasan tersebut maka diperlukan solusi yang tepat untuk mencegah pencemaran lingkungan dan menjaga kesehatan manusia yang tinggal di sekitar wilayah Kotagede. Salah satu solusi yang dapat dilakukan yaitu dengan merancang Instalasi

Pengolahan Limbah (IPAL) bagi IKM elektroplating di wilayah tersebut. Di dalam kajian ini, perencanaan IPAL dilakukan dengan mempertimbangkan berbagai faktor yang berpengaruh di wilayah perencanaan (studi kasus IKM X) meliputi: kesesuaian teknologi IPAL, data kualitas dan kuantitas limbah, ketersediaan lahan, biaya, dan kemudahan operasional IPAL. Hasil dari perencanaan IPAL berupa *detail engineering design* (DED) diharapkan dapat langsung diterapkan untuk mengatasi permasalahan limbah pada IKM elektroplating di wilayah Kotagede.

## **2. METODE PENELITIAN**

### **2.1 Survei Lapangan**

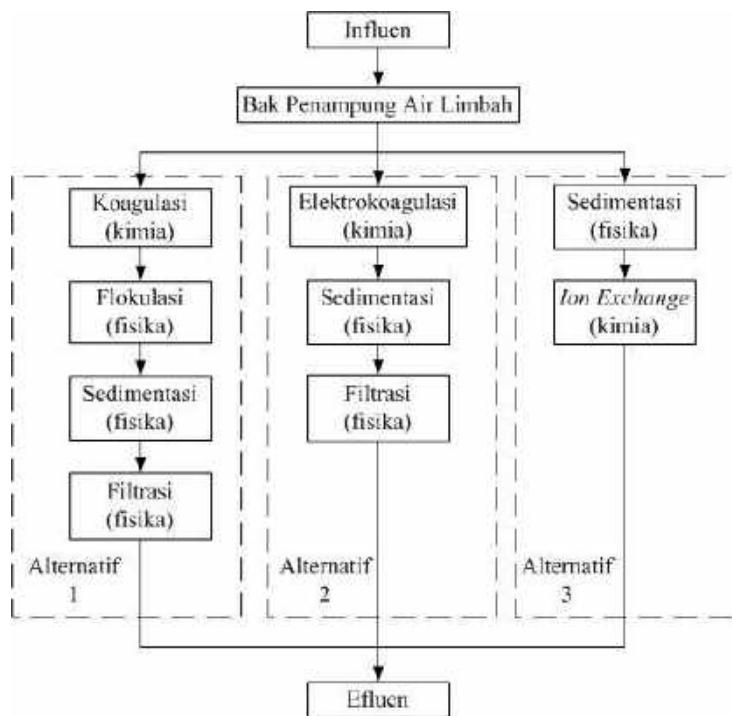
IKM elektroplating yang digunakan sebagai lokasi perencanaan adalah IKM X yang terletak di kawasan industri perak Kecamatan Kotagede, Daerah Istimewa Yogyakarta. Survei lapangan dilakukan secara langsung untuk mengumpulkan informasi terkait dengan tahapan aktivitas dalam proses elektroplating, luas lahan yang tersedia untuk IPAL, pengelolaan limbah yang sudah dilakukan, serta pemahaman pemilik IKM terhadap pengelolaan limbah.

### **2.2 Data Debit dan Kualitas Limbah**

Data kuantitas air limbah yang digunakan pada perencanaan IPAL mengacu pada data volume limbah yang dihasilkan pada setiap tahapan kegiatan IKM elektroplating di lokasi perencanaan (Prabarani, 2019). Sedangkan kualitas limbah kegiatan elektroplating mengacu kepada data dari penelitian Noviyanti, D (2019) dengan parameter TDS, pH, TSS, Cu, Zn, Ni, dan Pb sesuai dengan Baku Mutu Perda DIY No. 7 Tahun 2016 Tentang Baku Mutu Air Limbah.

### **2.3 Pemilihan Teknologi IPAL**

Teknologi pengolahan limbah elektroplating ditentukan berdasarkan kajian pustaka, dalam hal ini terdapat tiga alternatif pilihan teknologi dengan kemampuan setara yaitu: koagulasi-flokulasi, elektrokoagulasi, dan pertukaran Ion (Jauharoh, 2019), sebagaimana ditampilkan pada Gambar 1. Metode skoring dilakukan dengan membandingkan ketiga alternatif teknologi berdasarkan kriteria seleksi yang diadaptasi dari Von Sperling (1996). Setiap teknologi diberi nilai antara 1 sampai 4 untuk masing-masing kriteria. Nilai 1: sangat buruk, 2: buruk, 3: sedang, dan 4: baik. Pemberian nilai pada setiap kriteria mengacu kepada kajian pustaka yang sesuai. Selanjutnya nilai tersebut dikalikan dengan persen pembobotan setiap kriteria dan dijumlahkan. Teknologi pengolahan yang memiliki skor total tertinggi ditetapkan sebagai teknologi terpilih.



**Gambar 1.** Diagram alir IPAL kegiatan elektroplating dengan berbagai alternatif pilihan teknologi

### 3. HASIL DAN PEMBAHASAN

#### 3.1 Deskripsi Kegiatan Elektroplating (IKM X)

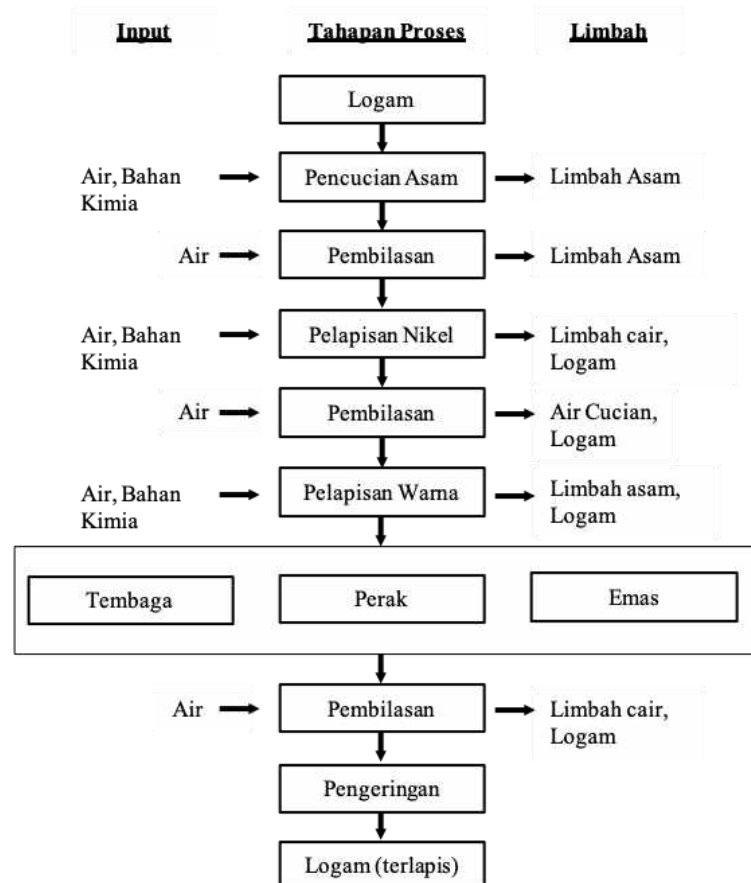
IKM X merupakan industri pelapisan logam (elektroplating) skala rumah tangga yang sudah berdiri sejak tahun 1996, hingga saat ini IKM X memiliki pekerja sebanyak 5 orang dengan kapasitas produksi rata-rata sebesar 6.8 kg logam setiap hari (Prabarani, 2019). IKM X menerima pesanan pelapisan logam untuk aksesoris pernikahan adat (mahkota, siger, konde), perhiasan, dan souvenir. Pelapisan logam yang ditawarkan oleh IKM X terdiri dari tiga jenis warna dengan jenis logam pelapis yang berbeda yaitu lapisan tembaga (*rose gold*), perak (*silver*), dan emas (*gold*) dengan hasil akhir sebagaimana terlihat pada Gambar 2.



**Gambar 2.**(a) Logam sebelum proses electroplating, (b) perhiasan yang sudah dilapisi perak



Secara garis besar, tahapan kegiatan elektroplating pada IKM X dimulai dari proses pencucian dengan asam, pembilasan, pelapisan dengan nikel, pelapisan warna, pembilasan, dan pengeringan. Gambar 3 menunjukkan tahap kegiatan elektroplating pada IKM X, terlihat jika hampir semua tahapan pada proses elektroplating akan menghasilkan limbah cair dengan berbagai karakteristik spesifik seperti kandungan asam dan logam terlarut. Laporan dari Noviyanti (2019) menunjukkan karakteristik air limbah dari kegiatan elektroplating sebagaimana ditunjukkan pada Tabel 1.



**Gambar 3.** Tahapan proses elektroplating IKM X dan jenis limbah yang dihasilkan

Tabel 1 juga menunjukkan jika hampir seluruh parameter kualitas limbah kegiatan elektroplating melebihi standar maksimum yang ditetapkan pemerintah. Namun hingga saat ini IKM X belum melakukan pengolahan terhadap limbah cair yang dihasilkan dengan baik. Limbah cair tersebut dialirkan melalui saluran terbuka menuju tangki septik yang tidak sesuai dengan peruntukannya. Kandungan berbagai logam terlarut dalam limbah cair memiliki sifat toksik yang dapat mengganggu aktivitas bakteri anaerobik didalam sistem septik sebagaimana dilaporkan oleh Zhou dkk (2008). Sementara itu limbah cair dari proses pembilasan langsung dibuang ke lingkungan tanpa dilakukan pengolahan terlebih dahulu.

**Tabel 1.** Perbandingan Karakteristik Air Limbah pada IKM X dengan Baku Mutu

Parameter	Konsentrasi Limbah (mg/L)	Baku Mutu*
TDS	11240	2000
TSS	494	20
pH	1	6-9
Suhu	29°C	±3
Cd	0.02	0.05
Cu	2.22	0.5
Cr	0.17	0.5
Zn	6,60	1
Pb	2.63	0.1
Ni	52.11	1
COD	277.50	N/A

\*Berdasarkan Peraturan Daerah (Perda) Daerah Istimewa Yogyakarta (DIY) Nomor 7 Tahun 2016 Tentang Baku Mutu Air Limbah

### 3.2 Tekologi IPAL Terpilih

Dari hasil penelusuran pustaka terhadap berbagai alternatif teknologi pengolahan limbah elektroplating didapatkan informasi jika ketiga pilihan teknologi mempunyai kemampuan sama dalam hal efisiensi pengolahan. Teknologi ion exchange cukup rumit dalam hal operasi dan pemeliharaan, selain itu teknologi ini cukup rentan terhadap variasi perubahan debit (Gaikward dkk., 2010). Sementara itu, ketersediaan lahan menjadi hal penting dalam perencanaan IPAL, luas lahan yang sempit dapat membatasi keleluasaan dalam merancang sistem IPAL. Teknologi elektrokoagulasi memerlukan luas lahan yang lebih sedikit karena peralatan yang digunakan relatif kecil (Mollah dkk., 2001). Sedangkan teknologi koagulasi-flokulasi dan ion exchange membutuhkan lahan yang lebih besar karena sistem tersebut berukuran besar dan harus dilengkapi bak-bak penampung (Suarez dkk., 2010). Berdasarkan survei lokasi di IKM X terdapat sebidang lahan kosong dengan luasan 53,5 m<sup>2</sup>. Lahan tersebut tergolong sempit untuk penempatan IPAL, sehingga teknologi yang terpilih pada kajian ini adalah elektrokoagulasi dengan total skor 3.38. Adapun hasil skoring secara lengkap sebagaimana dirangkum pada Tabel 2.

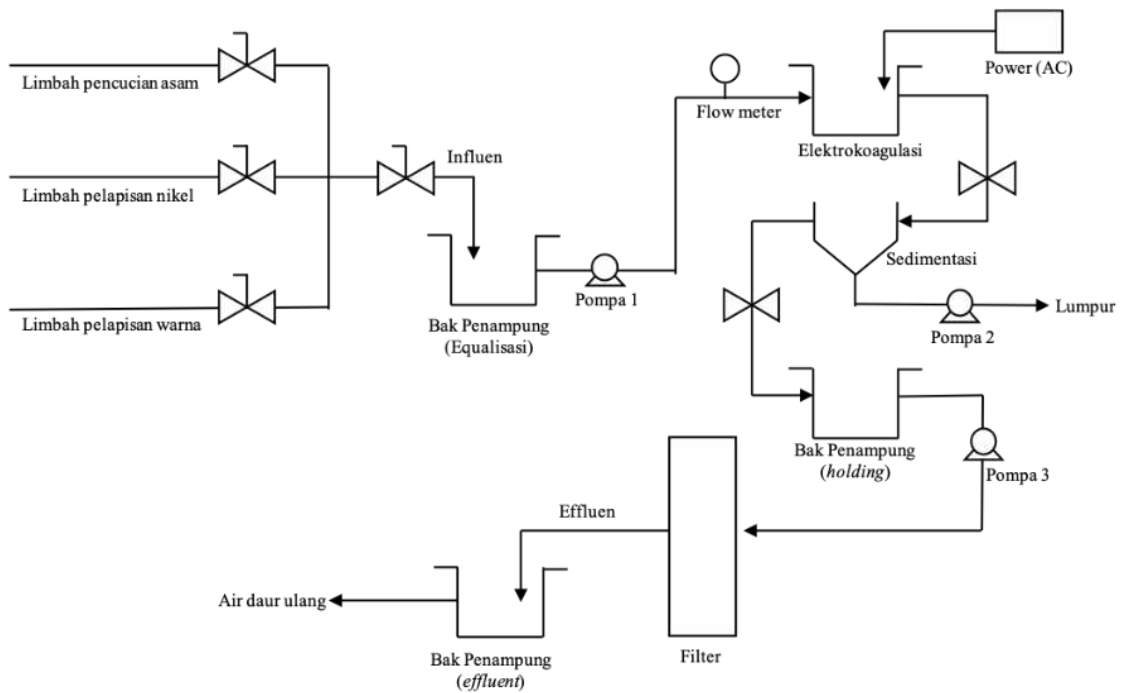
Efluen air limbah yang dihasilkan IPAL diharapkan dapat digunakan kembali sebagai air untuk kebutuhan pertanian dan perikanan atau memenuhi baku mutu air kelas 2 sebagaimana diatur dalam Pergub DIY NO. 20 Tahun 2008 tentang Baku Mutu Air di Provinsi DIY. Untuk mencapai target peruntukan air daur ulang tersebut maka sistem IPAL yang akan direncanakan terdiri dari proses

elektrokoagulasi yang diikuti dengan unit sedimentasi dan filtrasi sebagaimana ditampilkan pada Gambar 4.

**Tabel 2.** Perbandingan Pilihan Teknologi Pengolahan Limbah Elektroplating

	Koagulasi-Flokulasi <sup>1)</sup>	Elektrokoagulasi <sup>2)</sup>	Ion Exchange <sup>3)</sup>	Pembobotan
<b>Efisiensi Removal</b>				
Cr	4	4	4	10%
Cu	4	4	4	10%
Zn	4	4	4	10%
<b>Biaya (Ekonomi)</b>				
Kebutuhan Lahan	1	3	4	10%
Kebutuhan Energi	3	1	2	5%
Konstruksi	1	3	1	8%
O & M	1	3	1	5%
<b>Stabilitas</b>				
Variasi Debit	4	3	1	8%
Kualitas Effluen	3	3	3	8%
<b>Kemudahan</b>				
Operasi	4	3	1	8%
Pemeliharaan	3	4	3	8%
<b>Dampak</b>				
Bau	4	4	4	5%
Kebisingan	3	4	4	5%
<b>Skor Total</b>	<b>3.05</b>	<b>3.38</b>	<b>2.87</b>	<b>100%</b>

Referensi: <sup>1)</sup> Mollah dkk (2001); <sup>2)</sup> Suarez dkk (2009); <sup>3)</sup> Gaikwad dkk (2010)



**Gambar 4.** Diagram alir IPAL kegiatan elektroplating di IKM X

### 3.3 Perhitungan Beban Pengolahan IPAL

Berdasarkan observasi yang dilakukan oleh Prabarani (2019), IKM X menghasilkan limbah cair dengan debit rata-rata sebesar 532 L/hari. Perencanaan ini menggunakan faktor keamanan sebesar 20% sehingga diperoleh debit perencanaan sebesar 638 L/hari. Sehingga beban pengolahan untuk setiap parameter kualitas air limbah dapat dihitung dengan mengalikan konsentrasi setiap parameter air limbah dengan debit perencanaan sebagaimana ditunjukkan pada Tabel 3.

**Tabel 3.** Beban Pengolahan IPAL IKM X

	Inf		E-K	Eff/inf		Sed	Eff/inf		Filter	Eff	BML*
	C (mg/L)	Beban (mg/hari)	Eff (%)	C (mg/L)	Beban (mg/hari)	Eff (%)	C (mg/L)	Beban (mg/hari)	Eff (%)	C (mg/L)	C (mg/L)
<b>TDS</b>	11240	7171120	65%	3934	2509892	0%	3934	2509892	97%	118.02	1000
<b>TSS</b>	494	315172	80%	98.8	63034	76%	23.61	15065	89%	2.66	50
<b>Cd</b>	0.02	13	97%	0	0	23%	0	0	0%	0	0.01
<b>Cu</b>	2.22	1417	100%	0	0	39%	0	0	91%	0	0.02
<b>Cr</b>	0.18	112	100%	0	0	83%	0	0	0%	0	N/A
<b>Zn</b>	6.61	4215	85%	1	632	38%	0.61	392	96%	0.02	N/A
<b>Pb</b>	2.64	1683	90%	0.3	168	42%	0.15	98	87%	0.02	0.03
<b>Ni</b>	52.11	33246	100%	0	0	25%	0	0	0%	0	N/A
<b>COD</b>	277.5	177045	96%	10.3	6551	42%	6.01	3832	88%	0.73	25

\*Berdasarkan Baku Mutu Air Kelas 2, Pergub DIY No. 20 Tahun 2008 tentang Baku Mutu Air di Provinsi DIY

### 3.4. Penetapan Kriteria Desain Unit IPAL

#### 3.4.1. Elektrokoagulasi

Elektrokoagulasi merupakan proses yang terdiri dari pembentukan flok hidroksid logam pada air limbah. Elektrokoagulasi tidak menggunakan bahan kimia melainkan menggunakan anoda dari aluminium atau besi yang dikorbankan selama proses elektrolisis (Dermentzis dkk., 2011). Kehilangan massa elektroda dihitung menurut Hukum Faraday berikut ini:

$$mE = \frac{I \times t \times M}{z \times F \times V} \dots\dots\dots \text{Persamaan (1)}$$

Dimana, mE: kehilangan massa elektroda (gr elektroda/L), I: kuat arus (A), t: waktu (detik), M: berat molekul besi (gr/mol), z: jumlah elektron yang berpindah pada reaksi, F: konstanta Faraday (96500 Cb/mol) dan V: volume air limbah (L) (Akbal dkk., 2011). Kebutuhan energi listrik dihitung menggunakan persamaan berikut:

$$E = \frac{U \times I \times t}{V} \dots\dots\dots \text{Persamaan (2)}$$

Dimana, E: kebutuhan listrik (kWh/L), U: tegangan (volt) (Akbal dkk., 2011). Kriteria desain unit elektrokoagulasi ditunjukkan pada Tabel 4.

**Tabel 4.** Kriteria Desain Elektrokoagulasi

Parameter	Elektroda (anoda-katoda)	Jarak Plat	Rapat Arus / Arus dan Tegangan	Efisiensi Penghilangan	Waktu	Referensi
Ni				100%		
Cu	Fe-Al	10 mm	2 A; 9,18 volt	100%	60 menit	Akbal dkk (2011)
Cr				100%		
Cd	Fe	5 mm	0,2 A/ dm <sup>2</sup>	98,1% 97,3%	45 menit	Vasudevan dkk (2012)
Pb	Al-St	10 mm	32 mA/ cm <sup>2</sup>	95%	35 menit	Pociecha dkk (2010)
	Al	5 mm	2,76 mA/ cm <sup>2</sup>	99%	30 menit	Pociecha dkk (2010)
COD	Fe-Al	2 cm	4,8 mA/ cm <sup>2</sup>	96,3%	49 menit	Chou dkk (2010)
TSS	St-St	3 cm	0,85 A; 9,66 mA/ cm <sup>2</sup>	90%	30 menit	Phalakornkule dkk (2010)
TDS	Fe	5 cm	24,7 mA/ cm <sup>2</sup>	68,5%	30 menit	Saleem dkk (2010)

### 3.4.2. Sedimentasi

Sedimentasi merupakan suatu proses pemisahan padatan dari cairan dengan cara pengendapan gravitasi untuk menyisahkan padatan tersuspensi (Nkwonta dkk., 2010). Laju limpahan dihitung menggunakan persamaan berikut:

$$v_0 = \frac{Q}{A} \dots \dots \dots \text{Persamaan (3)}$$

Dimana,  $v_0$ : laju limpahan (m/detik),  $Q$ : debit air limbah (m<sup>3</sup>/detik),  $A$ : luas permukaan (m<sup>2</sup>). Kecepatan horizontal dihitung menggunakan persamaan berikut:

$$v_h = \frac{Q}{L \times H} \dots \dots \dots \text{Persamaan (4)}$$

Dimana,  $v_h$ : kecepatan horizontal (m/detik),  $L$ : lebar bak (m),  $H$ : kedalaman bak (m). Apabila kecepatan horizontal lebih kecil dibanding laju limpahan ( $v_h < v_0$ ), maka pengendapan dapat terjadi. Sementara itu, panjang bak ( $P$ ) dihitung dengan persamaan berikut:

$$P = \frac{A}{L} \dots \dots \dots \text{Persamaan (5)}$$

Efisiensi penghilangan parameter pencemar yang terkandung di dalam air limbah pada unit sedimentasi ditunjukkan pada Tabel 5.

**Tabel 5.** Efisiensi Removal Untuk Parameter Air Limbah Pada Unit Sedimentasi

Parameter	Efisiensi	Jenis Sedimentasi	Referensi
<b>TSS</b>	76,1%	Sedimentasi <i>plain settling</i>	Soemantojo (2002)
<b>Cd</b>	23%	Sedimentasi primer	Kempton dkk (1987)
<b>Cu</b>	39%	Sedimentasi primer	Kempton dkk (1987)
<b>Cr</b>	83,2%	Sedimentasi <i>plain settling</i>	Soemantojo (2002)
<b>Zn</b>	38%	Sedimentasi primer	Kempton dkk (1987)
<b>Pb</b>	42%	Sedimentasi primer	Kempton dkk (1987)
<b>Ni</b>	25%	Sedimentasi primer	Kempton dkk (1987)
<b>COD</b>	41,5%	Sedimentasi <i>plain settling</i>	Soemantojo (2002)

### 3.4.3. Filtrasi

Filtrasi merupakan proses pemisahan zat padat dari fluida, baik gas atau cair, dengan cara melewatkan fluida melalui media berpori. Tujuan dari filtrasi adalah untuk menghilangkan zat padat tersuspensi serta koloid yang masih terdapat didalam air olahan. Efisiensi removal dan kriteria desain unit filtrasi masing-masing ditunjukkan pada Tabel 6 dan Tabel 7.

**Tabel 6.** Efisiensi Removal Unit Filtrasi

Parameter	Efisiensi	Jenis Filter	Referensi
<b>TDS</b>	97%	<i>Roughing filter</i> : kerikil dan arang	Nkwonta dkk (2010)
<b>TSS</b>	88,75%	Zeolit, karbon aktif, dan pasir silika	Assiddieq dkk (2017)
<b>Cu</b>	91%	Zeolit	Abdel dkk (2011)
<b>Zn</b>	96%	Zeolit	Abdel dkk (2011)
<b>Pb</b>	87%	Zeolit	Dursun (2007)
<b>COD</b>	87,8%	Zeolit, karbon aktif, dan pasir silika	Assiddieq dkk (2017)

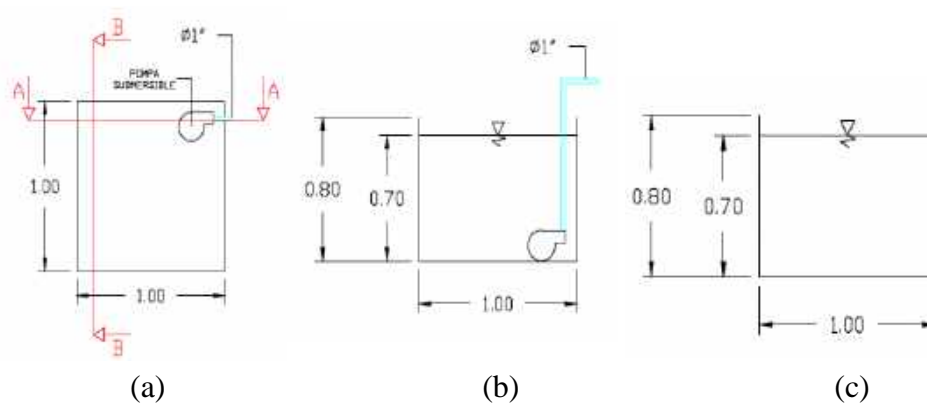
**Tabel 7.** Kriteria Desain Unit Filtrasi

Parameter Perencanaan	Kriteria
Jenis media filter	pasir silika, mangan zeolit, karbon aktif
Rasio media filter	1:1:1
Jumlah media filter	masing-masing 10 kg
Susunan media filter	pasir silka – karbon aktif – mangan zeolit
Ukuran tabung filter	diameter 10 inci; tinggi 120 cm

### 3.5 Perhitungan Dimensi Unit IPAL

#### 3.5.1 Bak Penampung Air Limbah

Air limbah perlu ditampung sebelum memasuki proses pengolahan. Hal ini dilakukan karena pada kegiatan elektroplating X tidak terdapat penampung air limbah. Selain itu, output air yang keluar dari IPAL perlu ditampung sebelum digunakan kembali. Dimensi bak adalah panjang: 1 m, lebar: 1 m dan tinggi: 0,8 m. Dimensi bak penampung air limbah dan efluen ditunjukkan pada Gambar 5. Air limbah perlu dinetralkan dengan penambahan  $\text{Ca}(\text{OH})_2$  (kapus) dengan dosis 5 Kg.

**Gambar 5.** Desain bak Penampung air limbah.

(a) Tampak atas; (b) Potongan A-A; (c) Potongan B-B, ukuran dalam satuan meter

#### 3.5.2 Unit Elektrokoagulasi

Hasil perencanaan unit elektrokoagulasi ditunjukkan pada Tabel 8, sedangkan elektroda yang digunakan adalah anoda Fe dan katoda Al, pemilihan elektroda tersebut berdasarkan pada hasil penelitian dari Akbal dkk (2011) yang menunjukkan jika proses elektrokoagulasi menggunakan elektroda Fe – Al dapat menurunkan kandungan logam terlarut seperti Nikel dan Krom dengan

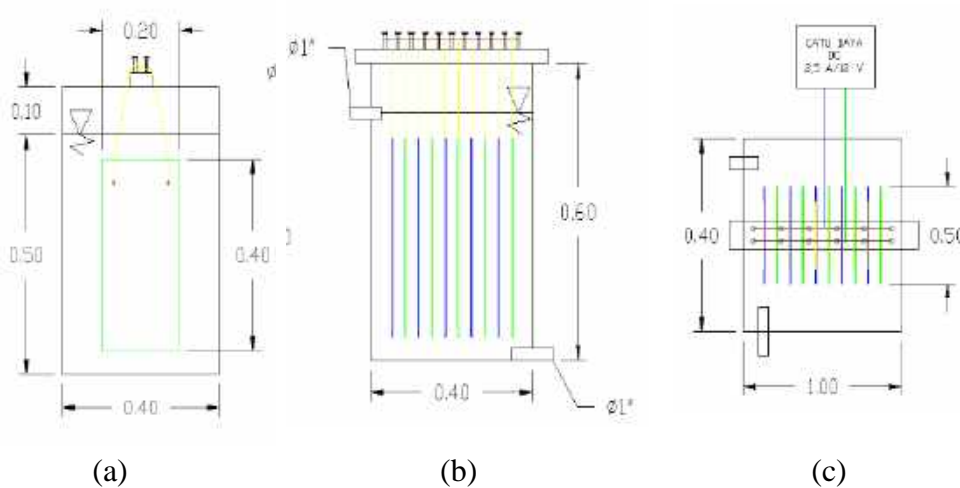
efisiensi mencapai 100%. Pada perencanaan ini akan dibuat serangkaian elektroda yang terdiri dari 5 pasang plat elektroda sebagaimana ditampilkan pada Tabel 9.

**Tabel 8.** Hasil Desain Unit Elektrokoagulasi

Data	Hasil	Satuan
Debit	0,638	m <sup>3</sup> /hari
Volume (V)	0,096	m <sup>3</sup>
Dimensi (PxLxH)	0,4 x 0,4 x 0,6	m
Waktu kontak	2	jam
Kuat Arus (A)	2,5	A
Tegangan (U)	12	V
mFe	0,0082	gr/L
Konsumsi Energi (E)	0,094	kWh/L

**Tabel 9.** Desain Elektroda

Kriteria	Jumlah	Referensi
Bahan	Fe (98,94%) Al (98,86%)	Akbal dkk (2011)
Luas permukaan	736 cm <sup>2</sup>	Smoczyńska dkk (2017)
Ukuran Plat	P = 40 cm L = 20 cm	Disesuaikan dengan ukuran reaktor
Ketebalan	0,3 cm = 0,003m	Smoczyńska dkk (2017)
Jarak antar elektroda	3 cm = 0,03 m	Phalakornkule dkk (2010)



**Gambar 6.** Desain Bak Elektrokoagulasi: (a) tampak depan, (b) tampak samping (c) tampak atas.

Ukuran dalam satuan meter



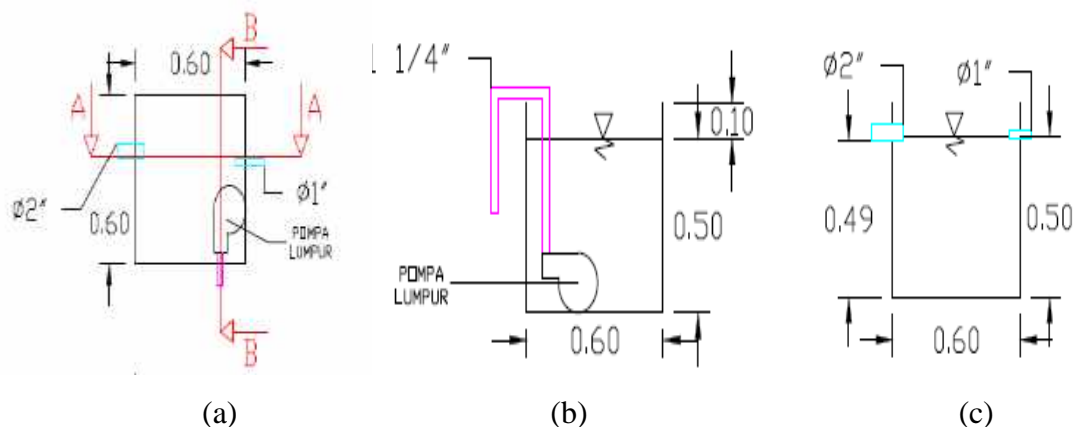
Dengan pertimbangan kemudahan konstruksi maka unit elektrokoagulasi dibuat menggunakan material *Fibreglass Reinforced Plastics* (FRP). Unit ini dilengkapi dengan catu daya (power supply) arus searah (DC) 12 V dengan kuat arus 2.5 ampere yang dirangkai dengan elektroda. Gambaran detil desain unit elektrokoagulasi ditampilkan pada Gambar 6.

### 3.5.3 Unit Sedimentasi

Waktu detensi optimum untuk pengendapan partikel pada bak sedimentasi berada pada rentang 3-20 jam (Song dkk., 2000), dalam perencanaan dipilih waktu detensi sebesar 6 jam. Hasil dari perencanaan unit sedimentasi ditunjukkan pada Tabel 10. Air limbah dari bak sedimentasi akan dialirkan menuju bak penampungan (*holding tank*) sebelum dipompa menuju unit filtrasi. Dimensi bak sedimentasi dan bak penampungan ditunjukkan pada Gambar 7.

**Tabel 10.** Hasil Perencanaan Unit Sedimentasi

Data	Hasil	Satuan
Waktu Detensi (t)	6	Jam
Volume (V)	0,18	m <sup>3</sup>
Dimensi (P x L x H)	0,6 x 0,6 x 0,6	m
Jumlah Solid	0,048	Kg/hari
Laju Limpahan (Vo)	1,99	m <sup>3</sup> /m <sup>2</sup> . hari
Kecepatan Horizontal (Vh)	1,77	m/hari



**Gambar 7.** Desain Bak Sedimentasi dan bak penampung (*holding tank*):

(a) tampak atas, (b) Potongan A-A (c) Potongan B-B. Ukuran dalam satuan meter.

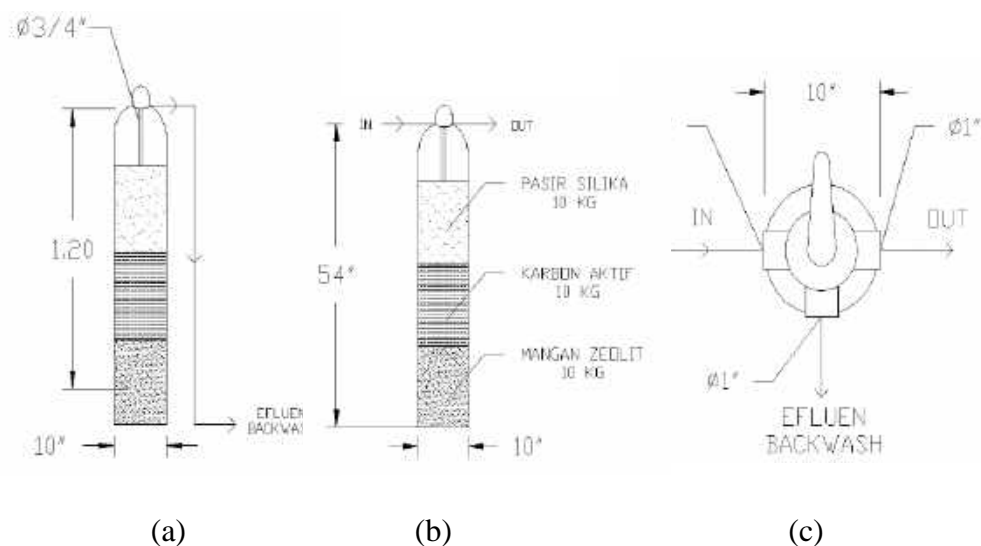
### 3.5.4 Unit Filtrasi

Unit filtrasi yang direncanakan menggunakan acuan dari penelitian oleh Yudo dan Said (2005) dan Assiddieq dkk (2017). Tabung filter yang akan dipakai adalah tabung media filter FRP (*Fiberglass*

Reinforce Plastic) 1054 dengan spesifikasi ditampilkan pada Tabel.11. Sedangkan detil desain unit filtrasi ditunjukkan pada Gambar 8.

**Tabel 11.** Hasil Perencanaan Unit Sedimentasi

Data	Hasil	Satuan
Diameter	10	inci
Tinggi	54	Inci
Bahan	RFP	
Tekanan Max	150	Psi
Kapasitas Filtrasi	40	L/min
Kapasitas Media	140	L
Sistem Backwash	Manual	



**Gambar 8.** Detail Desain Tabung Filtrasi. (a) Tampak depan (b) Tampak samping (c) Tampak atas. Ukuran dalam satuan meter

### 3.5.5 Pompa

Pompa yang akan digunakan pada sistem IPAL berjumlah 3. Pompa 1 dan pompa 2 dengan tipe terendam (*submersible*) digunakan untuk memompa air limbah menuju bak elektrokoagulasi dan menyedot lumpur dari bak sedimentasi. Pompa yang akan digunakan adalah pompa Resun Penguin 3200 dan Aquafos AF-250 ASSW Auto. Spesifikasi pompa *submersible* ditunjukkan pada Tabel 12.

**Tabel 12.** Spesifikasi Pompa 1 dan Pompa 2

Spesifikasi	Pompa 1	Pompa 2
	Resun Penguin 3200	Aquafos AF-250 ASSW Auto
Daya Listrik (W)	80	250
Daya Dorong (m)	3,2	6,5
Debit Air (L/jam)	3200	-
Ukuran Butiran (mm)	-	5
Pipa Outlet	3/4"	1 1/4"

Sementara pompa 3 digunakan untuk memompa air limbah dari bak penampung menuju tabung filter. pemompaan membutuhkan *head* statis sebesar 1,24 m dan *head* sistem sebesar 10,63 m, sehingga didapatkan *head* total pompa filter sebesar 12 m. Dengan demikian, akan digunakan pompa Shimizu PS-135E. Spesifikasi lengkap pompa 3 ditunjukkan pada Tabel 13.

**Tabel 13.** Spesifikasi Pompa 3

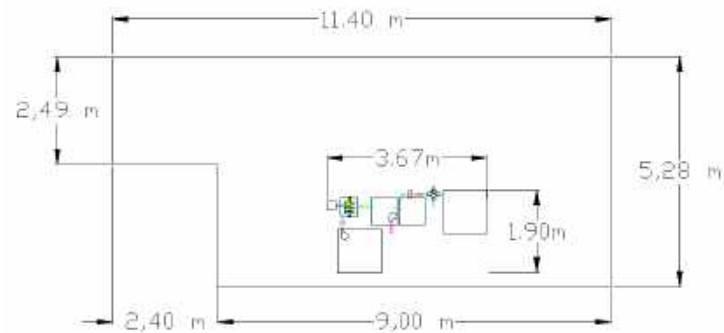
Data	Spesifikasi	Satuan
Tipe	Shimizu PS-135 E	
Tegangan	220	V
Daya Output Motor	125	W
Daya Input Motor	300	W
Panjang Pipa Hisap	9	M
Daya Dorong Maksimal	33	m
Pipa Hisap	1	Inci
Pipa Dorong	1	Inci
Kapasitas Head 5 m	28	L/min
Kapasitas Head 20 m	10	L/min

### 3.5.6 Kesesuaian Lahan

Rekapitulasi dimensi unit IPAL pada perencanaan ini sebagaimana dirangkum pada Tabel 14. Berdasarkan data pada Tabel 13, didapatkan informasi jika minimal lahan yang dibutuhkan adalah sebesar 2,4 m x 2,4 meter. Kebutuhan tersebut masih dapat dipenuhi dengan lahan kosong yang tersedia di IKM X. Sehingga penyusunan unit IPAL menjadi satu kesatuan sistem IPAL dapat dilakukan dengan cukup leluasa. Adapun Layout IPAL dan kesesuaian lahan di IKM X ditunjukkan pada Gambar 9. IPAL IKM X juga akan dilengkapi atap baja ringan (Gambar 10) agar terhindar dari hujan dan sinar matahari secara langsung.

**Tabel 14.** Rekapitulasi Dimensi Unit IPAL

Unit	Dimensi			
	Panjang (m)	Lebar (m)	Tinggi (m)	Diameter
Bak Penampung Air Limbah	1	1	0,8	-
Bak Elektrokoagulasi	0,4	0,4	0,6	-
Bak Sedimentasi	0,5	0,5	0,6	-
Bak Pasca Sedimentasi	0,5	0,5	0,6	-
Tabung Filtrasi	-	-	54 inci	10 inci
Bak Penampung Efluen	1	1	0,8	-
<b>Kebutuhan lahan minimal</b>	<b>2.4</b>	<b>2.4</b>		

**Gambar 9.** Kesesuaian Layout IPAL dengan Lahan yang Tersedia di IKM X**Gambar 10.** Rencana Bangunan IPAL di IKM X.

### 3.5.7 Rancangan Anggaran Biaya

Rencana Anggaran Biaya (RAB) dari perencanaan IPAL ini meliputi biaya pengadaan material bak yang terbuat dari material FRP, elektroda berupa logam, pipa dan asesoris pipa, alat dan media filter, kayu, serta biaya operasional berupa listrik dan kebutuhan kapur. Satuan biaya yang digunakan mengacu kepada survei pasar yang berlaku di Kota Yogyakarta tahun 2019. Adapun rekapitulasi kebutuhan biaya pada pembangunan dan operasional IPAL kegiatan elektrokoagulasi di IKM X ditunjukkan pada Tabel 15.

**Tabel 15.** Rekapitulasi Anggaran Biaya Pembangunan dan Operasional IPAL

<b>Jenis Biaya</b>	<b>Total Harga</b>	
<b>I. Pembangunan IPAL (Investasi Awal)</b>		
Pengadaan Pipa	Rp	278.300
Pengadaan Asesoris Pipa	Rp	752.300
Pengadaan Material Bak	Rp	517,500
Pengadaan Plat Elektroda	Rp	538.450
Pengadaan Kayu	Rp	114.000
Pengadaan Alat, Media dan Listrik	Rp	4.062.600
Biaya Pembuatan Pondasi	Rp	2.410.200
Biaya Pembuatan Atap	Rp	3.730.000
Upah Pekerja	Rp	3.350.600
<b>Sub Total</b>	<b>Rp</b>	<b>15.753.950</b>
<b>II. Operasional IPAL (Setiap Bulan)</b>		
Biaya Listrik	Rp	635.628
Penambahan Kapur	Rp	840.000
<b>Sub Total</b>	<b>Rp</b>	<b>1.475.628</b>

## 4. KESIMPULAN

Sistem pengolahan air limbah yang paling sesuai diterapkan pada IPAL kegiatan elektroplating di IKM X terdiri dari unit elektrokoagulasi, yang diikuti dengan unit sedimentasi dan filtrasi. Unit elektrokoagulasi direncanakan memiliki waktu kontak selama 6 jam dan menggunakan 5 pasang plat Fe-Al yang diberikan arus 2,5 A dan tegangan 12 V. Sementara itu bak sedimentasi direncanakan dengan waktu detensi 6 jam, sedangkan unit filtrasi menggunakan susunan media pasir silika, karbon aktif dan mangan zeolite dengan kapasitas filtrasi sebesar 40 L/menit. Total biaya investasi yang dibutuhkan untuk membangun IPAL di IKM X adalah sebesar Rp 15.753.950. Sedangkan biaya operasional IPAL sebesar Rp 1.475.628 setiap bulan.

**DAFTAR PUSTAKA**

- Abdel, O. E., Reiad, N. A., & Elshafei, M. M. (2011). A study of the removal characteristics of heavy metals from wastewater by low-cost adsorbents. *Journal of Advanced Research*, 2 (4) : 297–303.
- Akbal, F., & Camcı, S. (2011). Treatment of Metal Plating Wastewater by Electrocoagulation, *Environmental Progress & sustainable Energy*, 31 (03): 340-350
- Armiyati, L. (2014). Industri Perak Kotagede Yogyakarta Melawan Badai Krisis, *Sejarah dan Budaya*, 8 (2) : 165-175.
- Assiddieq, M., Darmayani, S., & Kudonowarso, W. (2017). The Use of Silica Sand, Zeolite and Active charcoal to Reduce BOD, COD and TSS of Laundry Waste Water. *Biology Education*, 3 (3) : 202–207.
- Basmal, B., Bayuseno, A., Nugroho, S. (2013). Pengaruh Suhu Dan Waktu Pelapisan Tembaga-Nikel Pada Baja Karbon Rendah Secara Elektroplating Terhadap Nilai Ketebalan dan Kekasaran. *Rotasi*, 14 (2) : 23-28.
- Chou, W., Wang, C., Chang, W., & Chang, S. (2010). Adsorption treatment of oxide chemical mechanical polishing wastewater from a semiconductor manufacturing plant by electrocoagulation. *Journal of Hazardous Materials*, 180 (1–3) : 217–224.
- Daliman, A. (2000). Peranan Industri Seni Kerajinan Perak di Daerah Istimewa Yogyakarta sebagai Pendukung Pariwisata Budaya. *Humaniora*, 12 (2) : 170-180.
- Dash, R.R., Balomajumder, C., Kumar, A. (2009). Removal of cyanide from water and wastewater using granular activated carbon. *Chem. Eng. J.*, 46 : 408-413
- Dermentzis, K., Christoforidis, A., Valsamidou, E., Lazaridou, A., & Kokkinos, N. (2011). Removal of Hexavalent Chromium from Electroplating Wastewater by Electrocoagulation with Iron Electrodes, *Global Nest Journal*, 13 (4) : 412–418.
- Dursun, S., & Pala, A. (2007). Lead pollution removal from water using a natural zeolite. *Environmental Application & Science*, 2 (1 & 2) : 11–19.
- Gaikwad, R. W., Sapkal, V. S., & Sapkal, R. S. (2010). Ion exchange system design for removal of heavy metals from acid mine drainage wastewater, 15 (4) : 298–304.
- Jauharoh, A.H. (2019). Perencanaan Instalasi Pengolahan Air Limbah (IPAL) pada Industri Elektroplating (Studi Kasus Kegiatan Elektroplating X) di Yogyakarta. *Tugas Akhir*. Program Studi Teknik Lingkungan, Fakultas Teknik Sipil dan Perencanaan. Universitas Islam Indonesia. Yogyakarta

- Kempton, S., Sterritt, R. M., & Lester, J. N. (1987). Heavy Metal removal In Primary Sedimentation I. The Influence of Metal Solubility. *The Science of the Total Environment*, 63 : 231–246.
- Marwati, S., Padmaningrum, R. T., Marfuatun. (2007). Karakterisasi Sifat Fisika-Kimia Limbah Cair Industri Elektroplating. *Laporan penelitian*. Jurusan Pendidikan Kimia, FMIPA, Universitas Negeri Yogyakarta.
- Mollah, M. Y. A., Schennach, R., Parga, J. R., & Cocke, D. L. (2001). Electrocoagulation (EC) science and applications. *Hazardous Materials*, 84 : 29–41.
- Monser, L, N dan Adhoum. (2002). Modified activated carbon for the removal of copper, zinc, chromium and cyanide from wastewater. *Sep. Purif. Technol*, 26 : 137-146
- Nkwonta, O. I., & Ochieng, G. M. (2010). Total Dissolved Solids Removal in Wastewater Using Roughing Filters Total Dissolved Solids Removal in Wastewater Using Roughing Filters. *Chemical Sciences*. 2010 : 1-5.
- Noviyanti, D. (2019). Studi Karakteristik Limbah Cair dari Kegiatan Elektroplating Di Banguntapan, Bantul, D.I Yogyakarta (Studi Kasus IKM X dan Y). *Tugas Akhir*. Program Studi Teknik Lingkungan, Fakultas Teknik Sipil dan Perencanaan. Universitas Islam Indonesia. Yogyakarta.
- Peraturan Daerah Daerah Istimewa Yogyakarta Nomor 7 Tahun 2016 Tentang Baku Mutu Air Limbah
- Peraturan Gubernur Daerah Istimewa Yogyakarta No. 20 Tahun 2008 tentang Baku Mutu Air di Provinsi DIY
- Phalakornkule, C., Worachai, W., & Satitayut, T. (2010). Characteristics of Suspended Solids Removal by Electrocoagulation. *Chemical and Molecular Engineering*, 4 (5):293–299.
- Pociecha, M., & Lestan, D. (2010). Using electrocoagulation for metal and chelant separation from washing solution after EDTA leaching of Pb , Zn and Cd contaminated soil. *Hazardous Materials*, 174 : 670–678.
- Prabarani, F. (2019). Kajian Minimisasi Limbah Cair Pada Kegiatan Elektroplating (Studi Kasus Industri Kecil X Dan Y di Yogyakarta). *Tugas Akhir*. Program Studi Teknik Lingkungan, Fakultas Teknik Sipil dan Perencanaan. Universitas Islam Indonesia. Yogyakarta.
- Saleem, M., Bukhari, A. A., & Akram, M. N. (2011). Electrocoagulation for the treatment of Wastewater for reuse in irrigation and plantation. *Basic and Applied Science*, 7(1):11–20.
- Saraswati, D. H. (2019). Kajian Kerusakan Lingkungan Perairan Air tanah Akibat Pembuangan Limbah Industri Elektroplating (Penyepuhan Logam Perak) Kasus Di Kotagede, Daerah Istimewa Yogyakarta. *Tesis*. Program Magister Pengelolaan Lingkungan, Sekolah Pasca Sarjana, Universitas Gadjah Mada. Yogyakarta.

- Smoczyńska, L., Kalinowska, S., Ratnaweera, H., Kosobucka, M., Trifescua, M., & Pieczulis-Smoczyńska, K. (2017). Electrocoagulation of municipal wastewater - a pilot-scale test. *Desalination and Water Treatment*, 72 : 162–168.
- Soemantojo, R. W., & Wulan, P. P. D. K. (2002). Presipitasi Bertahap Logam Berat Limbah Cair Industri Pelapisan Logam Menggunakan Larutan Kaustik Soda. *UI-Press*, 1–7.
- Song, Z., Williams, C. J. M., & Edyvean, R. G. J. (2000). Technical Note Sedimentation of Tannery Wastewater, 34 (7):2171–2176.
- Suarez, S., Lema, J. M., & Omil, F. (2009). Bioresource Technology Pre-treatment of hospital wastewater by coagulation – flocculation and flotation. *Bioresource Technology*, 100 : 2138–2146.
- Triwulandari, R., Pahlevi, M. N., Mirwan, A. (2012). Pengambilan Logam Cr<sup>+6</sup> dan Cr Total dari Limbah Industri Elektroplating secara Elektrokoagulasi. *Konversi*, 1(1) : 45–51.
- Vasudevan, S., & Lakshmi, J. (2012). Effect of alternating and direct current in an electrocoagulation process on the removal of cadmium from water. *Water Science & Technology*, 65 (2) : 353–360.
- Von Sperling, M. (1996). Comparison among the most frequently used systems for wastewater treatment in developing countries. *Water Science and Technology*, 33(3) : 59-72.
- Yudo, S., Said, N. I. (2005). Pengolahan Air Limbah Industri Kecil Pelapisan Logam, *Jurnal Air Indonesia*, 1(1) : 70–84.
- Zhou, S., Wei, C., Liao, C., & Wh, H. (2008). Damage to DNA of effective microorganisms by heavy metals: Impact on wastewater treatment. *Journal of Environmental Sciences*, 20(12) : 1514–1518.



## PENGOLAHAN LIMBAH MAKANAN DENGAN METODE *CONDUCTIVE DRYING*

Yebi Yuriandala<sup>1</sup>, Hijrah Purnama Putra<sup>2</sup> dan Nurul Lahtifah<sup>3</sup>

<sup>1)2)3)</sup> Program Studi Teknik Lingkungan, Universitas Islam Indonesia, Yogyakarta

Email : yebi.y@uii.ac.id

### **Abstrak**

*Sampah saat ini menjadi permasalahan lingkungan. Salah satu sampah yang banyak dihasilkan adalah sampah organik berupa sisa makanan yang berasal dari rumah tangga maupun restoran atau rumah makan. Pengelolaan sampah skala individu atau kelompok sangat diperlukan untuk meminimalisasi volume sampah yang masuk ke Tempat Pemrosesan Akhir (TPA). Pada penelitian ini dilakukan pengolahan sampah makanan dengan alat Food Waste Recycler (FWR) untuk menurunkan massa limbah dengan menggunakan metode conductive drying pada suhu 70°C selama 5 jam (S1) dan 10 jam (S2). Berdasarkan penelitian menunjukkan faktor-faktor yang mempengaruhi hasil dari pengolahan limbah makanan dengan menggunakan alat FWR, yaitu massa limbah, suhu, dan waktu pengolahan. Sampel S1 mengalami penurunan massa 39% dengan massa akhir 305 gram dan S2 mengalami penurunan massa 73,2% dengan massa akhir 134 gram. Karakteristik kimia Hasil Food Waste Recycler dengan metode conductive drying sampel S1 didapatkan pH 6,5, 0,81% nitrogen, 1,19% fosfor, 1,30% kalium, 11,6% karbon organik dan rasio C/N 13,8, sedangkan pada S2 pH 7, 0,54% nitrogen, 1,08% fosfor, 1,31% kalium, 8,36% karbon organik dan rasio C/N 15,5. Kadar kering sampah, perubahan warna, bau, dan rendahnya kadar hara yang dihasilkan dipengaruhi oleh waktu pengoperasian reaktor FWR.*

**Kata kunci:** *conducted drying, food waste recycler, sampah organik*

### **Abstract**

*Waste is currently an environmental problem. One of the waste generated is organic waste in the form of the remains of households or restaurants. Individual or group scale waste management is needed to minimize the volume of waste that enters the Final Processing Site (TPA). In this study, food waste processing was carried out using Food Waste Recycler (FWR) to reduce the mass of waste by using conductive drying methods at 70°C for 5 hours (S1) and 10 hours (S2). Based on research shows the factors that influence the results of processing food waste using FWR tools, namely the mass of waste, temperature, and processing time. Sample S1 decreased by 39% with a final mass of 305 grams and S2 decreased by 73.2% with a final mass of 134 grams. Chemical Characteristics of Food Waste Recycling Results by conductive drying method were S1 obtained a pH of 6.5, 0.81% nitrogen, 1.19% phosphorus, 1.30% potassium, 11.6% organic carbon and a C / N ratio of 13.8, while at S2 pH 7, 0.54 nitrogen%, 1.08% phosphorus, 1.31% potassium, organic carbon 8.36% and a C / N ratio of 15.5. The level of dry matter, color change, odor, and low nutrient level are affected by the FWR reactor operating time.*

**Keywords:** *conductive drying, food waste recycling, organic waste*

## **I. PENDAHULUAN**

Sampah saat ini menjadi permasalahan lingkungan. Salah satu sampah yang banyak dihasilkan adalah sampah organik berupa sisa makanan yang berasal dari rumah tangga maupun restoran atau rumah makan. Indonesia merupakan negara terbesar kedua penghasil sampah di dunia setelah Arab Saudi dengan estimasi pembuangan sampah sebesar 300 kg per orang per tahun (The Economist, 2016). Pada tahun 2025, diperkirakan jumlah sampah yang dihasilkan akan bertambah dengan rata-rata sebesar 1,42 kg per orang per hari sampah kota (Safitri dkk., 2018).

*Dikirim/submitted: 19 Desember 2019*

*Diterima/accepted: 27 Desember 2019*

Data tahun 2017 menunjukkan bahwa produksi sampah per hari yang cukup tinggi terjadi di Pulau Jawa, antara lain Surabaya menghasilkan sampah 9.896,78 m<sup>3</sup>/hari dan Jakarta menghasilkan sampah sebanyak 7.164,53 m<sup>3</sup>/hari (Safitri dkk., 2018). Pengelolaan sampah skala individu atau kelompok sangat diperlukan untuk meminimalisasi volume sampah yang masuk ke Tempat Pemrosesan Akhir (TPA).

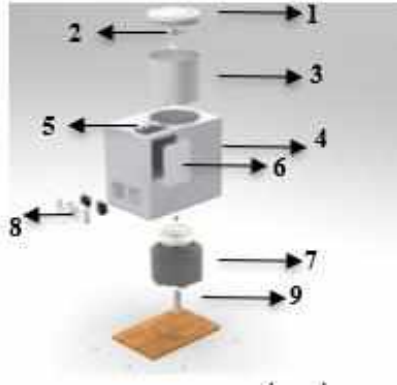
Shamsuddin dan Junos (2017) merancang pengolahan sampah makanan dengan mesin *Vessel Composting*. Pada penelitiannya bahan yang digunakan adalah campuran dari sisa sayuran, sisa ikan dan kulit bawang sebagai *bulking agent*. Proses dari pengolahan selama 30 hari pada suhu 55°C hingga 65°C (adanya *heater*). Adanya penurunan kadar air yang terjadi karena tingkat suhu yang tinggi. Chiplunkar dan More (2018) membuat mesin pengomposan limbah dapur (*SMART Composting*) dengan adanya pemanasan pada suhu 60°C. Hasil dari penelitiannya yaitu pada 1,75 kg limbah organik terjadi penurunan massa 14% menjadi 1,5 kg dan adanya perubahan kadar air dari 75% menjadi 25% selama 20 jam pemanasan. Turunnya kadar air limbah organik dapat mengurangi volume limbah organik pada TPA, mengurangi proses pembusukan limbah organik yang tercampur serta dapat mengurangi gas metan yang dihasilkan dari proses pembusukan limbah organik.

Pada penelitian ini pengolahan sampah makanan menjadi kering dengan alat *Food Waste Recycler* yang menggunakan metode *conductive drying*. Alat ini mengubah energi listrik menjadi energi panas dimana panas dari *heater* dapat menurunkan kadar air dan massa limbah akibat adanya proses penguapan air. Berdasarkan penelitian pendahulu pengolahan limbah makanan menjadi kering atau tidak basah pada temperatur 70°C selama 10 jam. Sehingga, pada penelitian dilakukan pengolahan limbah selama 5 dan 10 jam sebagai perbandingan hasil dari perubahan karakteristik fisika dan kimia setelah adanya pengolahan limbah makanan seperti massa limbah, warna, bau, kadar air dan kadar kering, kadar volatil dan abu, pH, nitrogen total (N), posfor (P), kalium (K), karbon (C) dan rasio C/N.

## 2. METODE PENELITIAN

### 2.1 Perancangan Alat

Alat yang digunakan yaitu dibuat dengan metode *conductive drying* dimana pada alat *Food Waste Recycler* antara *heater* (media panas) dan limbah yang akan dikeringkan tidak adanya kontak secara langsung. Desain alat yang digunakan pada penelitian ini dapat dilihat pada Gambar 1.



**Gambar 1.** Desain Alat

Keterangan:

1. Penutup wadah pengolahan diameter 20,5 cm
2. *Mixed blend* yang menggunakan prinsip blender dengan diameter pisau 18 cm
3. *Food waste bucket* dengan bahan *stainless steel* 0,8 mm (berlubang diameter 1 mm) dengan dimensi diameter 19,5 cm, tinggi dalam 10,8 cm, tinggi luar 13 cm dan volumenya 3 liter
4. *Body* utama dengan bahan *stainless steel* 430 0,8 mm *finishing coating polished* dan adanya alas kayu, dengan dimensi alat 40 (panjang) x 30 (lebar) x 35 cm (tinggi)
5. *Control interface* dengan layar OLED Arduino 2,4" dengan adanya tombol pengatur waktu dan suhu
6. *Electronic box* yang berisi termostat dengan dimensi 15 cm (panjang) x 30 cm (lebar) x 35 cm (tinggi)
7. *Heater* dengan daya 400-750 watt
8. *Air cooler* untuk membuang panas yang dihasilkan ke udara
9. *Motor crusher* dengan *planetary gear* 36 *high torque and speed*

## 2.2 Cara Kerja Alat

Limbah makanan 500 gram pada bucket dilakukan pencacahan terlebih dahulu dengan menekan "B" pada keypad dan jika telah selesai menekan tombol "B" kembali. Selanjutnya proses pengeringan dengan mengatur suhu dan waktu pada keypad dengan kode Suhu#Jam#Menit#Detik. Proses pengeringan selesai dengan adanya bunyi alarm.

## 2.3 Metode Pengujian Hasil Pengolahan

Hasil dari pengolahan limbah makanan pada suhu 70°C selama 5 jam dan 10 jam dilakukan pengujian terhadap perubahan karakteristik fisik dan kimia yang terkandung. Metode yang digunakan dalam pengujian hasil pengolahan dapat dilihat pada Tabel 1.

Tabel 1. Metode Pengujian

No.	Parameter	Satuan	Metode	Acuan
1.	pH		Menggunakan pH meter	-
2.	Kadar air dan Kadar Kering	%	Pengeringan dengan oven selama 16 jam pada suhu 105°C	*
3.	Kadar Volatil dan Kadar Abu	%	Pemanasan dengan furnace selama 24 jam pada suhu 600 °C	*
4.	Nitrogen Total	%	Kjeldahl	**
5.	Phosfor (P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> )	%	Ekstrak HNO <sub>3</sub> +HClO <sub>4</sub>	**
6.	Kalium (K <sub>2</sub> O)	%	Ekstrak HNO <sub>3</sub> +HClO <sub>4</sub>	**
7.	Karbon Organik	%	Ekstrak HNO <sub>3</sub> +HClO <sub>4</sub>	*

\*) Balai Penelitian Tanah (2009)

\*\*) SNI 2803:2010

### 3. HASIL DAN PEMBAHASAN

#### 3.1 Proses Conductive Drying

Pada penelitian ini digunakannya metode *conductive drying* dimana tidak adanya kontak secara langsung antara media panas dan limbah. *Heater* akan memberikan panas pada limbah sehingga adanya perpindahan panas dan terjadinya penguapan karena adanya perbedaan suhu limbah dengan suhu yang diberikan.

Suhu pengolahan mempengaruhi kelembaban udara yang ada pada alat, dimana suhu yang tinggi menyebabkan kelembaban udara yang rendah dan laju penguapan yang tinggi. Pada proses pengolahan limbah makanan dengan alat FWR adanya pencacahan pada limbah bertujuan untuk memperluas permukaan bahan sehingga dapat mempercepat proses pengeringan. Hal ini dapat terjadi karena potongan-potongan limbah yang kecil akan mengurangi jarak dimana panas harus bergerak sampai bahan pangan dan mengurangi jarak melalui massa air dari pusat bahan yang keluar ke permukaan bahan (Muchtadi dan Sugiyono, 2013).

Berdasarkan penelitian Kucbel (2019), pengomposan otomatis menggunakan *Green Good Composter* menghasilkan kandungan senyawa organik pada hasil akhir pengolahan limbah dapur rendah karena faktor dari suhu pengolahan yang lebih dari 70°C. Laju pengomposan akan optimum pada suhu 30 – 50°C (Indriani, 2007). Menurut kriteria SNI tentang Spesifikasi

Kompos dari Sampah Organik Domesti (2004), suhu ideal proses pengomposan yaitu maksimal 50°C. Pada penelitian pendahulu dilakukannya pengolahan pada suhu 60°C dan 70°C. Faktor yang mempengaruhi proses pengeringan dengan metode *conductive drying*, yaitu massa limbah, suhu pengolahan, dan waktu pengolahan. Pengaruhnya terhadap pengolahan yaitu suhu yang rendah dan massa limbah yang banyak akan membutuhkan waktu yang lebih lama dalam proses pengeringan. Sehingga, pada penelitian ini proses pengolahan 500 gram limbah makanan dengan suhu 70°C selama 10 jam akan mendapatkan hasil akhir dengan kondisi limbah yang kering. Proses pengeringan limbah makanan dimana jika suhu mencapai 70°C pemanas akan berhenti hingga mencapai suhu maksimum dan akan membuang panas yang dihasilkan adanya kipas pada alat.

### 3.2 Karakteristik Fisika Limbah Makanan Setelah Pengolahan

Karakteristik fisika menunjukkan sifat fisik pada limbah. Proses pengolahan limbah makanan dengan menggunakan metode *conductive drying* dapat mengubah karakteristik fisika pada limbah seperti massa limbah, warna, bau kadar air, kadar kering, kadar volatil, dan kadar abu yang terkandung pada limbah. Waktu pengolahan merupakan salah satu faktor adanya perubahan karakteristik fisika pada limbah dapat dilihat pada Tabel 2.

**Tabel 2** Karakteristik Fisika Limbah Setelah Pengolahan

No.	Parameter	Satuan	Waktu (Jam)	
			5 (S1)	10 (S2)
1	Massa Awal Sampah	Gram	500	
2	Massa Akhir	Gram	305	134
3	Warna	-	Tidak ada perubahan warna	Kecoklatan
4	Bau	-	Bau sampah basah/busuk	Tidak berbau
5	Kadar Air	%	54,7	6,5
6	Kadar Kering	%	45,3	93,5
7	Kadar Volatil	%	87	88
8	Kadar Abu	%	13	12

S1 : Sampel 5 jam pengolahan

S2 : Sampel 10 jam pengolahan

### ***Massa Limbah***

Massa limbah menunjukkan berat limbah dengan satuan gram. Setelah dilakukannya pengolahan 500 gram limbah makanan adanya penurunan massa limbah pada sampel S1 sebesar 39% dengan massa akhir 305 gram dan S2 sebesar 73,2% dengan massa akhir 134 gram. Penurunan massa limbah lebih besar pada pengolahan 10 jam karena waktu yang lama mempengaruhi penurunan kadar air pada limbah. Hal ini terjadi karena proses pengeringan yang menyebabkan adanya penguapan air. Pada *Smart Composting* penurunan massa limbah sebesar 14% karena suhu yang digunakan 60°C (Chiplunkar dan More, 2018).

Proses pengeringan berlangsung dengan adanya perpindahan air yang terkandung pada limbah ke lingkungan sekitarnya, sehingga terjadi penguapan air karena adanya perbedaan suhu limbah dengan suhu yang diberikan (perpindahan panas). Selain itu, karena adanya panas yang bersumber pada *heater* membuat kelembaban udara menjadi rendah sehingga tekanan uap air pada limbah lebih besar dari pada tekanan uap air dari limbah makanan ke udara. Akibat dari adanya penguapan air dapat menurunkan kadar air yang terkandung pada limbah sehingga massa pada limbah juga berkurang. Pada gambar 2 merupakan massa akhir limbah (a) Sampel S1 dan (b) Sampel S2:



(a)

(b)

**Gambar 1** Massa Akhir Limbah

### ***Bau dan Warna Limbah***

Hasil dari pengolahan limbah pada sampel S1 tidak adanya perubahan warna dari sebelum pengolahan yaitu masih berwarna sama dengan limbah makanan awal dan memiliki bau seperti limbah makanan yang basah. Sedangkan pada sampel S2 adanya perubahan warna dari sebelum pengolahan yaitu berwarna kecoklatan kering dan tidak adanya bau seperti pada saat sebelum pengolahan. Perubahan warna terjadi akibat dari proses pemanasan dengan waktu yang lama hingga limbah menjadi kering. Pada gambar 3 menunjukkan warna limbah setelah pengolahan, (a) Sampel S1 dan (b) Sampel S2.



(a)

(b)

**Gambar 2** Warna Limbah Setelah Pengolahan

### ***Kadar Air dan Kadar Kering Limbah***

Kadar air menunjukkan kandungan air yang terkandung pada bahan setelah dilakukan proses pengolahan, dimana jika nilai kadar air lebih tinggi dibandingkan kadar kering berarti bahan tersebut tidak mengandung air yang banyak atau bisa disebut bahan tersebut kering. Limbah makanan memiliki kadar kering 22,8% (Fisgativa, dkk, 2016) yang berarti bersifat basah karena kadar air yang terkandung pada limbah makanan lebih tinggi 77,2%.

Pengolahan limbah makanan dengan metode *conductive drying* dapat menurunkan kadar air karena adanya panas dari *heater* yang dapat menyebabkan terjadinya penguapan air yang terkandung pada limbah makanan pada saat proses pengolahan. Sampel penelitian di oven selama 16 jam pada suhu 105°C, di timbang berat keringnya yang kemudian dihitung nilai kadar air. Waktu pengolahan mempengaruhi rendahnya nilai kadar air pada limbah dapat dilihat pada sampel S1 memiliki kadar air lebih tinggi dibanding kadar keringnya sebesar 54,7% sesuai dengan *ouput* limbah yang masih basah. Sedangkan pada sampel S2 memiliki kadar air lebih rendah dibanding kadar keringnya sebesar 6,5% sesuai dengan *ouput* limbah yang kering. Rendahnya kadar air berbanding lurus dengan penurunan massa limbah dimana penurunan massa limbah diakibatkan karena penurunan kadar air yang tinggi.

Penurunan kadar air juga terjadi pada *Vessel Composting Machine* dengan nilai kadar air 48,9% dan 46,9% (Shamsuddin dan Junos, 2017), *Smart Composting* dengan nilai kadar air 25% (Chiplunkar dan More, 2018) dan S-FRB dengan nilai kadar air 35% (Yeo, dkk, 2019). Perbedaan nilai kadar air yang terkandung pada limbah setelah pemanasan karena perbedaan suhu yang digunakan pada setiap alat. Suhu yang digunakan pada *Vessel Composting Machine*, *Smart Composting* dan S-FRB dibawah 70°C.

### ***Kadar Volatil dan Kadar Abu Limbah***

Kadar volatil merupakan jumlah zat uap yang terkandung pada suatu bahan yang mengalami pemanasan sedangkan kadar abu menunjukkan jumlah zat yang tidak dapat menguap, dimana jika nilai kadar volatil rendah berarti rendahnya kandungan organik. Limbah makanan memiliki kandungan volatil 88,2% (Fisgativa,dkk. 2016). Pada penelitian sampel dari hasil pengolahan di furnace selama 24 jam pada suhu 600°C yang kemudian ditimbang sisa dari pemanasan dan dilakukan perhitungan nilai kadar volatil dan abu. Adanya pengolahan dengan metode *conductive drying* pada sampel S1 dan S2 memiliki kadar volatil tinggi dibanding kadar abu, yaitu berturut - turut 87% dan 88%. Kadar abu pada sampel S2 12% lebih tinggi dibanding S1 13% karena hilangnya garam-garam mineral dan pengotor pada saat pemanasan berlangsung (Hidayat, 2016). Berdasarkan penelitian kadar volatil tertinggi selama 10 jam pemanasan namun memiliki kandungan organik lebih rendah dibanding 5 jam karena pemanasan mengakibatkan adanya penguapan karbon dan nitrogen.

### **3.3 Karakteristik Kimia Limbah Makanan Setelah Pengolahan**

Karakteristik kimia menunjukkan susunan kimia yang ada pada limbah. Proses pengolahan limbah makanan dengan menggunakan metode *conductive drying* dapat mengubah karakteristik kimia pada limbah seperti nilai pH, kadar nitrogen (N), karbon organik (C), rasio C/N, fosfor (P) dan kalium (K). Waktu pengolahan merupakan salah satu faktor adanya perubahan karakteristik kimia pada limbah dapat dilihat pada Tabel 3.

**Tabel 3** Karakteristik Kimia Limbah Setelah Pengolahan

No.	Parameter	Satuan	Waktu (Jam)	
			5 (S1)	10 (S2)
1	pH	-	6,5	7
2	Nitrogen Total (N)	%	0,81	0,54
3	Karbon Organik (C)	%	11,16	8,36
4	Rasio C/N	-	13,8	15,5
5	Phosfor (P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> )	%	1,19	1,08
6	Kalium (K <sub>2</sub> O)	%	1,30	1,31

S1 : Sampel 5 jam pengolahan

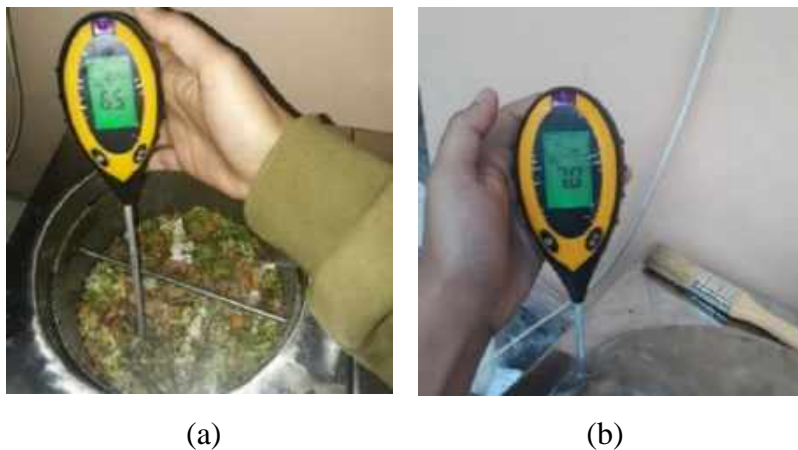
S2 : Sampel 10 jam pengolahan



### ***Derajat Keasaman (pH) Limbah***

Derajat keasaman (pH) menunjukkan banyaknya konsentrasi ion hidrogen ( $H^+$ ) yang terkandung. pH dari limbah makanan lebih rendah dibandingkan limbah organik seperti dedaunan hijau dengan pH sekitar 7,3, sedangkan sampah makanan memiliki pH 5,1 (Fisgativa, dkk. 2016) sedangkan pH pada limbah makanan pasca konsumsi di hotel (sisa prasmanan) sebesar 4,7 (Ho dan Chu, 2019). Nilai pH yang mendekati angka normal dapat digunakan tanaman karena mudah diserap oleh tanaman untuk mengurangi keasaman tanah (Astari, 2011)

Pada sampel S1 nilai pH 6,5 dan S2 memiliki pH 7, sehingga dapat digunakan oleh tanaman sebab nilai pH mendekati atau sama dengan nilai normal. Keberadaan nitrogen dan kondisi anaerobik dapat mempengaruhi pH (Kusuma, 2012). Berdasarkan penelitian waktu pemanasan mempengaruhi nilai pH pada limbah makanan dimana selama 10 jam pemanasan pH netral dibandingkan pada 5 jam pemanasan. Gambar 4 menunjukkan hasil pengukuran pH pada (a) Sampel S1 dan (b) Sampel S2.



**Gambar 3.** pH Limbah Setelah Pengolahan

Peningkatan pH juga terjadi pada *Vessel Composting Machine* (Shamsuddin dan Junos, 2017) dan *Smart Food Waste Recycling Bin* (Yeo dkk, 2019) yaitu dengan nilai pH berturut-turut 7,6 dan 6,3. Perbedaan nilai pH disebabkan oleh faktor waktu pemrosesan dimana pada *Vessel Composting Machine* dilakukan selama 30 hari serta adanya *bulking agent* (kulit bawang) sedangkan pada S-FRB dilakukan selama 24 jam serta adanya serpihan kayu sebagai biokatalis.

### ***Kadar Nitrogen (N) Limbah***

Unsur nitrogen bagi tanaman berguna dalam pertumbuhan batang, cabang, daun dan pembentukan hijau daun untuk proses fotosintesis (Lingga, 2008). Limbah makanan memiliki

kandungan nitrogen 2,5% (Fisgativa,dkk, 2016), limbah dapur 3,19% (Li dkk, 2016), dan Sudiby (2017) melakukan penelitian dengan sampel limbah kota berjenis limbah makanan dengan kadar nitrogen 1,4%, serta Zhang, dkk. (2007) dengan sampel limbah makanan basah 3,16%. Kadar nitrogen pada sampel S1 dan S2 terjadi penurunan kadar nitrogen pada limbah makanan setelah adanya pemanasan dimana nilainya berturut-turut 0,81% dan 0,54%. Penurunan kadar nitrogen pada limbah makanan karena adanya proses penguapan nitrogen bersama kadar air dan adanya peningkatan pH pada bahan sehingga adanya volatilisasi N sebagai  $\text{NH}_3$  (Spencer dan Heyst, 2013). Selain itu waktu pengolahan mempengaruhi kadar nitrogen dimana semakin lama proses pemanasan akan semakin berkurangnya kadar nitrogen akibat penguapan yang terjadi dengan waktu yang lama hingga bahan menjadi kering.

Pada *Vessel Composting Machine* adanya kulit bawang sebagai *bulking agent* yang memiliki kadar selulosa yang tinggi menghasilkan sumber karbon yang baik. Unsur karbon akan menguap dan juga bereaksi dengan nitrogen mengubah amonia menjadi nitrit sehingga nilai nitrogen pada hasil akhir tinggi yaitu, 1,55% dan 1,60% (Shamsuddin dan Junos, 2017).

### ***Kadar Karbon (C) Limbah***

Menurut Fisgativa (2016) limbah makanan memiliki nilai karbon organik 45,5%, dengan sampel limbah dapur 46,11% (Li dkk, 2016), dan menurut Sudiby (2007) kadar karbon pada limbah makanan 44,5%, serta penelitian Zhang, dkk. (2007) dengan sampel limbah makan basah didapatkan kadar karbon sebesar 46,78%. Pada sampel S1 dan S2 memiliki kadar karbon 11,16% dan 8,36% terjadi penurunan kadar karbon organik dipengaruhi oleh adanya penguapan karbon akibat dalam proses pengolahan adanya panas yang berasal dari *heater* sehingga semakin lama waktu pemanasan, kadar karbon pada limbah akan berkurang.

### ***Rasio C/N Limbah***

Rasio C/N menunjukkan adanya oksidasi karbon sebagai sumber energi dan memakan nitrogen untuk sintesis protein. Karbon dijadikan sebagai sumber energi sedangkan nitrogen dijadikan sebagai nutrisi untuk mensintesis material sel, asam amino dan protein oleh mikroba. Rasio C/N yang rendah karena kandungan nitrogen yang tinggi dan dapat terjadinya nitrogen yang hilang ke atmosfer dalam bentuk gas  $\text{NH}_3$  sehingga menimbulkan bau. Namun, rasio C/N tinggi berarti bahan organik mentah dan dapat merugikan jika langsung diberikan pada tanah karena bahan organik dapat digunakan oleh mikroba seperti bakteri ataupun fungi untuk mendapatkan energi hara yang seharusnya digunakan oleh tanaman (Wahyuni,dkk, 2017).

Limbah makanan dengan rata-rata nilai rasio C/N pada limbah makanan 18,5 (Fisgativa, dkk, 2016) sedangkan pada sampel pasca konsumsi dari hotel (sisa prasmanan) memiliki rasio C/N 18,5 (Ho dan Chu, 2019). Hasil dari penelitian rasio C/N pada sampel S1 dan S2 yaitu berturut-turut 13,8 dan 15,5. Seharusnya hasil rasio C/N tertinggi pada sampel S1 karena memiliki nilai karbon dan nitrogen tertinggi, namun pada penelitian ini terdapat selisih yang jauh antara nilai nitrogen dan karbon pada S1 dan S2 sehingga didapat hasil rasio C/N tertinggi pada sampel S2.

#### ***Kadar Fosfor ( $P_2O_5$ ) Limbah***

Unsur fosfor bagi tanaman berguna dalam pertumbuhan akar, membantu asimilasi, mempercepat masaknya buah (Lingga dan Marsono, 2008). Berdasarkan Fisgativa, dkk. (2016) kadar fosfor (P) yang terkandung pada limbah makanan 0,5% dan menurut Zhang, dkk. (2007) limbah makanan dalam keadaan basah 0,52%. Pada penelitian sampel 5 jam dan 10 jam memiliki kadar fosfor berturut-turut 1,19% dan 1,08%. Terjadi peningkatan nilai fosfor setelah adanya pengolahan karena kehilangan massa selama proses pengolahan (Lu dkk, 2013). Selain itu peningkatan kadar fosfor setelah proses pengolahan akibat kehilangan karbon, hidrogen, oksigen dan nitrogen yang membentuk  $CO_2$  dan  $H_2O$  (Larney dkk, 2006). Namun, lamanya proses pengolahan menjadi faktor menyebabkan kadar fosfor yang terkandung pada limbah menurun.

#### ***Kadar Kalium ( $K_2O$ ) Limbah***

Pada tanaman unsur kalium bermanfaat dalam pembentukan protein dan karbohidrat serta memperkuat tubuh tanama (Lingga dan Sumarno, 2008). Kadar kalium (K) pada limbah makanan 1,2% (Fisgativa, dkk. 2016) dan pada limbah makanan dalam keadaan basah kandungan kalium 0,90% (Zhang dkk, 2007). Sampel 5 jam dan 10 jam pada penelitian memiliki kadar kalium berturut-turut 1,30% dan 1,31%. Adanya pengolahan meningkatkan nilai kalium karena penurunan massa limbah selama proses pengolahan (Lu dkk, 2013). Peningkatan kadar kalium setelah proses pengolahan juga disebabkan karena kehilangan karbon, hidrogen, oksigen dan nitrogen yang membentuk  $CO_2$  dan  $H_2O$  (Larney dkk., 2018).

#### **4. KESIMPULAN**

Berdasarkan hasil penelitian, diperoleh kesimpulan yaitu faktor yang mempengaruhi hasil dari proses pengolahan limbah makanan dengan metode *conductive drying* pada alat *Food Waste Recycler*, antara lain massa limbah, suhu pengolahan, dan lamanya waktu proses pengolahan. Berdasarkan penelitian pengolahan limbah makanan tercampur dengan hasil *output* yang kering yaitu pada suhu 70 °C selama 10 jam dengan massa limbah 500 gram.

Adanya perubahan karakteristik fisika pada limbah makanan setelah dilakukan pengolahan menggunakan metode *conductive drying* pada alat *Food Waste Recycler* dapat waktu pengolahan mempengaruhi adanya penurunan massa akhir limbah terbesar pada S2 73,2% dengan massa akhir mencapai 134 gram dengan bahan menjadi kering karena kadar air yang rendah yaitu 6,5 %. Selain itu juga terjadi perubahan warna menjadi kecoklatan, tekstur yang kering dan bau yang tidak lagi seperti sebelum pengolahan.

Adanya perubahan karakteristik kimia yang terkandung pada limbah makanan yang telah dilakukan pengolahan menggunakan metode *conductive drying* pada alat *Food Waste Recycler* , yaitu adanya pengaruh waktu pengolahan terhadap kandungan organik pada limbah dimana kadar hara (nitrogen, fosfor, dan kalium) tertinggi pada sampel S1, yaitu 0,81% nitrogen, 1,19% fosfor dan 1,30% kalium, kadar karbon organik tertinggi pada sampel S1 11,16%, rasio C/N tertinggi pada sampel S2 15,5, dan derajat keasaman (pH) pada sampel S1 dan S2 mendekati normal 6 dan 7.

Perubahan karakteristik fisika dan kimia pada limbah akibat adanya pemanasan dimana waktu yang lama menjadi faktor tingginya kadar kering limbah, adanya perubahan warna dan bau pada limbah, rendahnya kadar abu, rendahnya nitrogen total limbah dan rendahnya karbon organik limbah.

## DAFTAR PUSTAKA

- Astari, L. P. (2011). Kualitas Pupuk Kompos *Bedding* Kuda Menggunakan Aktivator Mikroba yang Berbeda. Tugas Akhir. Departemen Ilmu Produksi dan Teknologi Peternakan, Fakultas Peternakan, Institut Pertanian Bogor.
- Badan Standarisasi Nasional. (2010). Standar Nasional Indonesia (SNI) : SNI 2803:2010 Pupuk NPK Padat
- Badan Standarisasi Nasional. (2004). Standar Nasional Indonesia (SNI) : 19-7030-2004. Spesifikasi Kompos dari Sampah Organik Domestik
- Balai Penelitian Tanah. (2009). Petunjuk Teknis Edisi 2 : Analisis Kimia Tanah, Tanaman, Air dan Pupuk. ISBN 987-602-8039-21-5
- Chiplunkar, G dan More, A. (2018). Design of Kitchen Waste Composting Machine: A Smart Approach. *Internasional Journal of Trend in Research and Development*, 5(3) : 41-43.
- Fisgativa, H., Tremier, A., dan Dabert, P. (2016). Characterizing the Variability of Food Waste Quality: A Need for Efficient Valorisation Through Anaerobic Digestion. *Journal of Waste Management*, 50 : 264-274.

- Hidayat, M. I. F dan Mitarlis. (2016). Karakteristik Silika Dari Limbah Padat Hasil Sintesis Furfural Berbahan Dasar Sekam Padi. *UNESA Journal of Chemistry*, 5 (2) : 108-115.
- Ho, K. S dan Chu, L. M. (2019). Characterization of Food Waste from Different Sources in Hong Kong. *Journal of the Air & Waste Management Association*, 69 (3) : 277-288
- Indriani, Y. H. (2007). Membuat Pupuk Organik Secara Singkat. Jakarta: Penebar Swadaya
- Kucbel, M., Raclavská, H., Růžicková, J., Švédová, B., Sassmanová, V., Drozdová, J., dan Juchelková, D. (2019). Properties of composts from household food waste produced in automatic composters. *Journal of Environmental Management*, 236 : 657–666.
- Kusuma, M.A. (2012). Pengaruh Variasi Kadar Air terhadap Laju Dekomposisi Kompos Sampah Organik di Kota Depok. Tesis. Program Studi Teknik Lingkungan, Fakultas Teknik, Universitas Indonesia
- Li, Y., Jin, Y., Li, J., Chen, Y., Gong, Y., Li, Y., dan Zhang, J. 2016. Current Situation and Development of Kitchen Waste Treatment in China. *Procedia Environmental Sciences*, 31 : 40–49
- Larney, F. J., Sullivan, D., M., Buckley, K. E., dan Eghball, B. (2006). The Role of Composting in Recycling Manure Nutrients. *Canadian Journal of Soil Science*, 86(4) :597-611
- Lingga, P dan Marsono. (2008) . Petunjuk Penggunaan Pupuk . Jakarta: Penebar Swadaya.
- Lu, N., Zhou, S. gui., Zhuang, L., Zhang, J. tao, dan Ni, J. ren. (2009). Electricity Generation From Starch Processing Wastewater Using Microbial Fuel Cell Technology. *Biochemical Engineering Journal*, 43(3), 246–251
- Muchtadi, T R dan Sugiyono. (2013). Prinsip, Proses dan Teknologi Pangan. Bandung : Alfabeta
- Safitri, P A., Apriyanto, A dan Supriyani, N. (2018). Statistik Lingkungan Hidup Indonesia 2018 : Pengelolaan Sampah di Indonesia. Badan Pusat Statistik Indonesia
- Shamsuddin, S., dan Junos, M. A. (2017). Design and Fabrication of In-Vessel Composting Machine for Food Waste. *Journal Online Jaringan COT POLIPD*, 8 : 55-62.
- Spencer, J. L., dan Van Heyst, B. J. (2013). Effect Of Different Intermediate Amendments On Ph And Ammonia Emissions Of Composted Poultry Mortalities. *Journal of Applied Poultry Research*, 22(4) : 700–714
- Sudibyoy, H., Majid, A. I dan Pradana, Y. S. (2017). Technological Evaluation of Minicipal Solid Waste Management System in Indonesia. *Energy Procedia*, 105 : 263-269.

- The Economist, Intelligence Unit. (2016). Fixing Food. *Barrila Center for Food & Nutrition* (online) <https://foodsustainability.eiu.com/whitepaper/> Diakses pada 27 Juli 2019
- Wahyuni, T., Kusnadi, H., dan Honorita, B. (2017). Status Unsur Hara Karbon Organik dan Nitrogen Tanah Sawah Tiga Kabupaten di Provinsi Bengkulu. *Prosiding Seminar Nasional Lahan Suboptimal 2017*, 726-730.
- Yeo, J., Oh, J dan Cheung, H. H. L. (2019). Smart Food Waste Recycling Bin (S-FRB) to Turn Food Waste into Green Energy Resources. *Journal of Environmental Management*, 234 : 290-296.
- Zhang, R., El-Mashad, H. M dan Hartman, K. (2007). Characterization of Food Waste as Feedstock for Anaerobic Digestion. *Jornal of Bioresource Technology*, 98 : 929-935.

# **CONSTRUCTED WETLANDS DENGAN TUMBUHAN ECENG GONDOK (*Eichhornia crassipes*) SEBAGAI ALTERNATIF PENGOLAHAN AIR LIMBAH INDUSTRI TAPIOKA**

**Eko Siswoyo<sup>1</sup>, Faisal<sup>1</sup>, Nur Kumalasari<sup>1</sup>, Kasam<sup>1</sup>**

<sup>1</sup>)Program Studi Teknik Lingkungan, Universitas Islam Indonesia

E-mail : eko\_siswoyo@uii.ac.id

## **Abstrak**

*Beberapa permasalahan pengolahan air limbah yang sering muncul yaitu mahal biaya dan rumitnya operasional instalasi pengolahan air limbah. Hal ini berdampak pada munculnya berbagai permasalahan lingkungan yang diakibatkan oleh pembuangan air limbah ke badan air pengolahan tanpa melalui proses yang baik, misalnya air limbah dari industri tapioka. Constructed wetlands merupakan salah satu metode pengolahan air limbah yang mudah, murah dan memiliki kemampuan yang baik. Penelitian ini bertujuan untuk mengkaji kemampuan constructed wetlands untuk mengolah air limbah industri tapioka. Jenis reaktor constructed wetlands yang digunakan dalam penelitian ini yaitu Free Water Surface (FWS) secara batch dengan tumbuhan Eceng Gondok (*Eichhornia crassipes*). Parameter pencemar yang diteliti yaitu BOD, COD, TSS dan Sianida yang ada dalam air limbah industri tapioka dengan beberapa konsentrasi mulai dari 20, 40, 60, 80 dan 100%. Sedangkan waktu pengamatan dalam penelitian ini yaitu selama 10 hari dimana dilakukan pengambilan sampel uji pada hari ke-0, 2, 4, 6, 8 dan 10. Hasil penelitian ini menunjukkan bahwa constructed wetlands mampu menurunkan kadar BOD, COD, TSS dan Sianida masing-masing mencapai 97,9%, 84,4%, 45,6% dan 99,9%. Hasil tersebut menunjukkan bahwa constructed wetlands dengan tumbuhan Eceng Gondok memiliki kemampuan yang sangat baik dalam menurunkan pencemar pada air limbah industri tapioka, sehingga dapat dijadikan salah satu alternatif dalam mengatasi permasalahan pencemaran lingkungan akibat air limbah di Indonesia.*

**Kata kunci:** Constructed wetlands, eceng gondok, free water surface, air limbah tapioka.

## **Abstract**

*The most common problems of wastewater treatment plant are the high cost and complexity in operation and maintenance. These conditions often cause various environmental problems because of the disposal of wastewater to the water bodies without any proper treatment, for example, wastewater from the tapioca industry. Constructed wetland is one method of treating wastewater which is easy, inexpensive and has excellent capabilities. This study examines the ability of the constructed wetlands to treat tapioca industrial wastewater. The type of constructed wetlands reactor used in this study is Free Water Surface (FWS) in a batch system with water hyacinth plant (*Eichhornia crassipes*). The current study examined the removal of BOD, COD, TSS and Cyanide in tapioca industrial wastewater with several initial concentrations ranging from 20, 40, 60, 80 and 100% for ten days observation (0, 2, 4, 6, 8 and 10 days of the treatment by the reactor). The results of this study showed that constructed wetlands were able to reduce levels of BOD, COD, TSS and cyanide up to 97.9%, 84.4%, 45.6% and 99.9%, respectively. These results indicate that the constructed wetlands built with water hyacinth plants have excellent ability to reduce pollutants in tapioca industrial wastewater so that it could overcome the problem of environmental pollution due to wastewater disposal in Indonesia.*

**Keywords:** Constructed wetlands, free water surface, tapioca wastewater, water hyacinth.

Dikirim/submitted: 18 Desember 2019

Diterima/accepted: 26 Desember 2019

## 1. PENDAHULUAN

Berbagai permasalahan pencemaran lingkungan di Indonesia dan beberapa negara berkembang seringkali diakibatkan oleh keterbatasan biaya dan teknologi tepat guna dalam mengolah air limbah. Banyak penghasil limbah baik aktifitas domestik maupun industri yang membuang limbahnya secara langsung ke badan air penerima tanpa melalui pengolahan yang baik terlebih dahulu, sehingga berdampak pada meningkatnya kadar bahan-bahan pencemar yang ada di badan air. Hal ini dapat mengakibatkan dampak negatif bagi lingkungan dan khususnya kesehatan manusia. Salah satu kegiatan industri yang menghasilkan air limbah dalam jumlah yang besar dan memiliki kadar kontaminan yang berbahaya adalah industri tapioka, dimana beberapa industri tersebut juga banyak menimbulkan permasalahan lingkungan akibat terbatasnya sistem pengolahan air limbah. Limbah industri tapioka mengandung bahan organik dan sianida yang tinggi (Mulyani dan Prasadja, 2014) dan (Zhang et al., 2016).

Beberapa metode pengolahan air limbah telah digunakan untuk mengolah air limbah industri tapioka. Irmanto dan Suyata (2010) menggunakan adsorben dari ampas kopi untuk menurunkan kadar *Biochemical Oxygen Demand (BOD)*, *Chemical Oxygen Demand (COD)* dan *Total Suspended Solid (TSS)* pada air limbah industri tapioka, adsorpsi-fotodegradasi dengan material dari zeolite (Fatimah dan Wijaya, 2005), proses pengolahan lumpur aktif (Santoso, 2010), fitoremediasi dengan tumbuhan kangkung air (Nurkemalasari et al., 2013), klorinasi (Mulyani dan Prasadja, 2014), *Rotating Biological Contactor* (Susilo et al., 2015), serta beberapa metode lainnya. Selain itu limbah cair industri tapioka juga digunakan sebagai bahan pembuatan pupuk cair dengan menggunakan tambahan starter (Cesaria et al., 2014), produksi gas metan (Thepubon et al., 2020), dan bahan pembuatan biosemikonduktor (Wardhana et al., 2019). Dibandingkan dengan beberapa pengolahan tersebut, *constructed wetlands* yang merupakan sistem pengolahan air limbah secara alamiah memiliki keuntungan antara lain, prosesnya sangat mudah dan memiliki kemampuan dalam menurunkan kontaminan cukup tinggi (Siswoyo et al., 2011) dan (Polprasert, 2004).

Beberapa penelitian terkait pengolahan air limbah industri tapioka telah dilakukan dengan menggunakan jenis tumbuhan seperti kangkung air dan eceng gondok tetapi dan kontaminan tertentu. Sebagai kelanjutan dari penelitian-penelitian sebelumnya, maka pada penelitian ini dilakukan pengujian kemampuan tumbuhan eceng gondok dalam menurunkan BOD, COD, TSS dan sianida dalam air limbah industri tapioka dengan menggunakan reaktor *constructed wetlands* tipe *free water surface (FWS)*. Selain itu juga dilakukan pengamatan bagaimana



limbah industri tapioka memberikan pengaruh pada pertumbuhan tumbuhan eceng gondok. Tumbuhan eceng gondok dipilih karena sangat mudah diperoleh dan dapat tumbuh dengan baik pada lingkungan ekstrim. Sedangkan tipe FWS memiliki keunggulan tidak mudah tersumbat oleh kandungan TSS yang tinggi dalam air limbah industri tapioka. Hasil dari penelitian ini diharapkan mampu memberikan informasi terkait sistem pengolahan air limbah industri tapioka yang murah dan memiliki efisiensi tinggi.

## 2. METODE PENELITIAN

### 2.1 Pembuatan reaktor *constructed wetlands* tipe FWS

Reaktor *constructed wetland* yang digunakan yaitu tipe FWS dengan ukuran panjang, lebar dan tinggi 1,0 m, 0,5 m dan 0,5 m sebanyak enam buah disesuaikan dengan variasi konsentrasi air limbah industri tapioka yang diuji. Reaktor terbuat dari papan yang dilapisi plastik tebal untuk mencegah kebocoran dan diletakkan dalam sebuah rumah kaca agar penguapan yang terjadi dapat diminimalkan.

### 2.2 Proses pelaksanaan penelitian

Penelitian ini dilakukan dengan proses pengaliran *batch*, menggunakan berbagai variasi konsentrasi limbah cair industri tapioka 20%, 40%, 60%, 80% dan 100% (persen volume) masing-masing sebanyak 75 liter yang disesuaikan dengan kapasitas reaktor. Untuk mengetahui pengaruh keberadaan tumbuhan eceng gondok, maka digunakan air limbah tapioka 100% tanpa diberi eceng gondok (reaktor kontrol).

**Tabel 1.** Variasi Konsentrasi Limbah Cair

Reaktor	Konsentrasi limbah (%)	Volume limbah (Liter)	Volume pengencer (Liter)	Jumlah tumbuhan (buah)
1	100	75	0	30
2	80	60	15	30
3	60	45	30	30
4	40	30	45	30
5	20	15	60	30
6	100	75	0	Tanpa tumbuhan

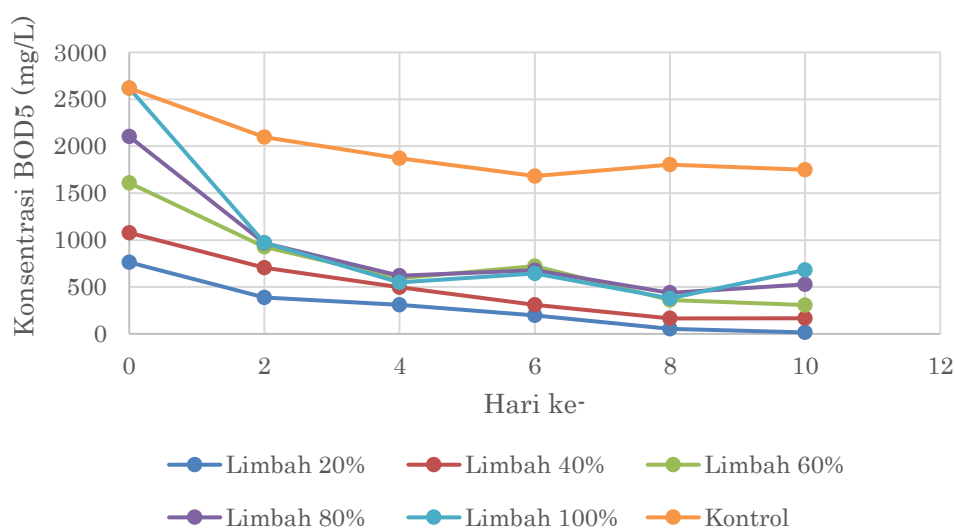
Banyaknya jumlah tumbuhan eceng gondok yang digunakan didasarkan pada pertimbangan agar permukaan reaktor tidak tertutup tumbuhan secara penuh. Tumbuhan eceng gondok yang digunakan diambil dari daerah Sleman, dimana dipilih eceng gondok yang memiliki ukuran yang sama sehingga diperkirakan umurnya sama. Pengujian konsentrasi BOD, COD, TSS dan

Sianida dilakukan di Laboratorium Kualitas Air Universitas Islam Indonesia (UII) dengan mengikuti standar pengujian yang ada.

### 3. HASIL DAN PEMBAHASAN

#### 3.1. Tingkat penurunan BOD

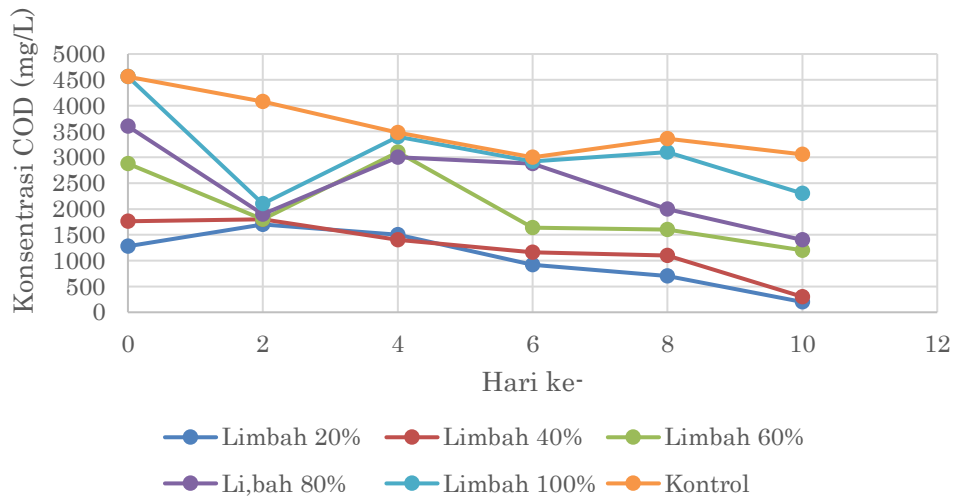
Kemampuan *constructed wetlands* dengan tumbuhan eceng gondok dalam menurunkan kadar BOD pada air limbah industri tapioka sebagaimana terlihat pada gambar 1. Terlihat bahwa terjadi penurunan konsentrasi BOD pada semua variasi air limbah mulai dari hari pertama hingga hari ke-10, dimana variasi konsentrasi 20% air limbah industri tapioka memberikan hasil paling baik. Hal ini karena kadar BOD pada variasi tersebut paling rendah, sehingga lebih mudah diturunkan. Semakin tinggi konsentrasi air limbah akan memberikan beban pengolahan lebih bagi tumbuhan eceng gondok (Siswoyo et al., 2011). Penurunan BOD tertinggi mencapai 97,9%, dimana keberadaan tumbuhan eceng gondok sangat penting. Hal ini terlihat dari reaktor kontrol yang hanya mengalami penurunan BOD sangat rendah.



**Gambar 1.** Tren Penurunan BOD<sub>5</sub> dalam reaktor *constructed wetlands*

#### 3.2. Tingkat Penurunan COD

Konsentrasi COD dari air limbah industri tapioka mengalami penurunan selama waktu pengamatan sebagaimana dapat dilihat pada gambar 2. Penurunan COD selaras dengan penurunan BOD, dimana semua variasi konsentrasi air limbah mengalami penurunan hingga hari ke-10. Pada pengamatan hari ke-4, terjadi peningkatan konsentrasi COD untuk variasi air limbah 60, 80 dan 100% kemudian secara perlahan terjadi penurunan kembali.

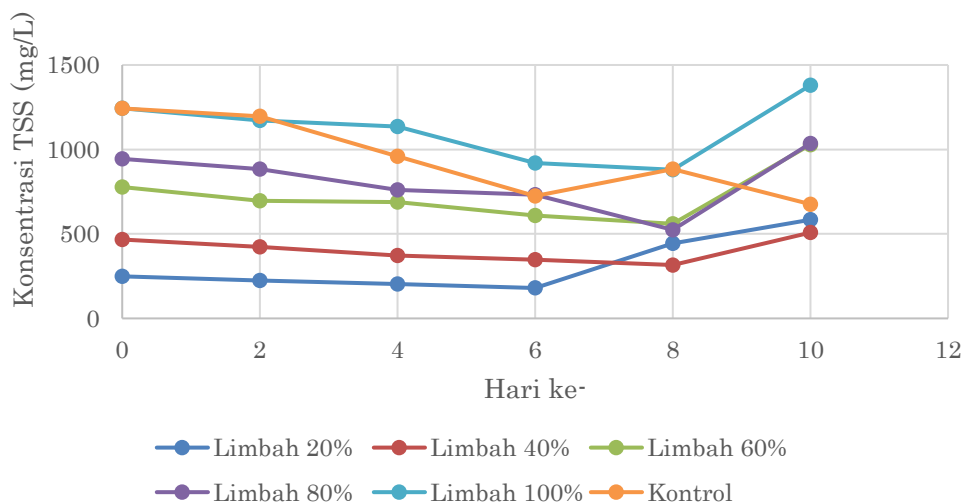


**Gambar 2.** Tren Penurunan COD dalam reaktor *constructed wetlands*

Hal ini karena pada konsentrasi yang cukup tinggi memberikan dampak yang kurang baik bagi tumbuhan uji yang ditandai dengan adanya tumbuhan eceng gondok yang mulai mati. Komponen air limbah industri tapioka yang punya toksisitas paling tinggi adalah sianida (Bengtsson and Triet, 1994).

### 3.3. Tingkat Penurunan TSS

Air limbah industri tapioka memiliki kadar TSS dalam jumlah yang cukup besar yang mengalami penurunan sampai dengan hari ke-6 untuk semua konsentrasi air limbah kemudian perlahan mengalami peningkatan. Hal ini dikarenakan adanya tumbuhan eceng gondok yang mati, sehingga air limbah industri tapioka tersebut menjadi semakin keruh. Secara keseluruhan perubahan konsentrasi TSS ditunjukkan pada gambar 3.

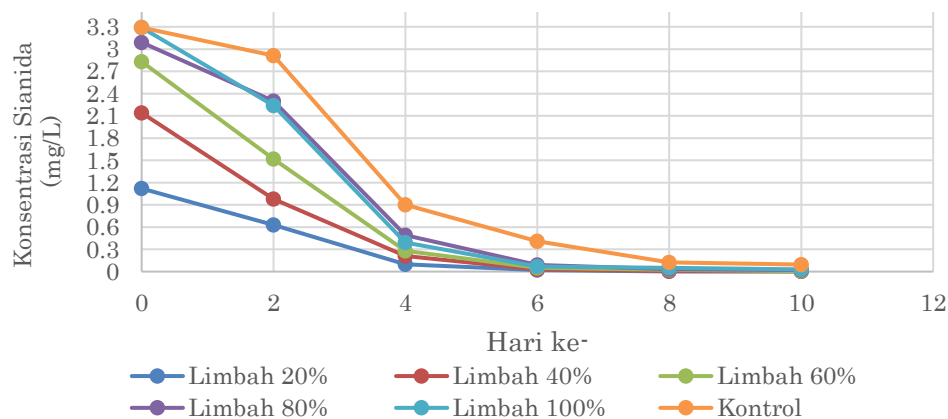


**Gambar 3.** Tren Penurunan TSS dalam reaktor *constructed wetlands*

Data pengamatan dari reaktor kontrol (tanpa tumbuhan) semakin memperjelas bahwa keberadaan tumbuhan yang mati dapat meningkatkan TSS dalam air limbah.

### 3.4. Tingkat penurunan Sianida

Sebagai bahan yang cukup berbahaya, Sianida dalam air limbah industri tapioka yang dijadikan obyek penelitian konsentrasinya cukup besar mencapai 3,29 mg/L, dimana baku mutu yang diijinkan hanya maksimum sebesar 0,5 mg/L. Penurunan sianida tersebut ditunjukkan pada gambar 4.



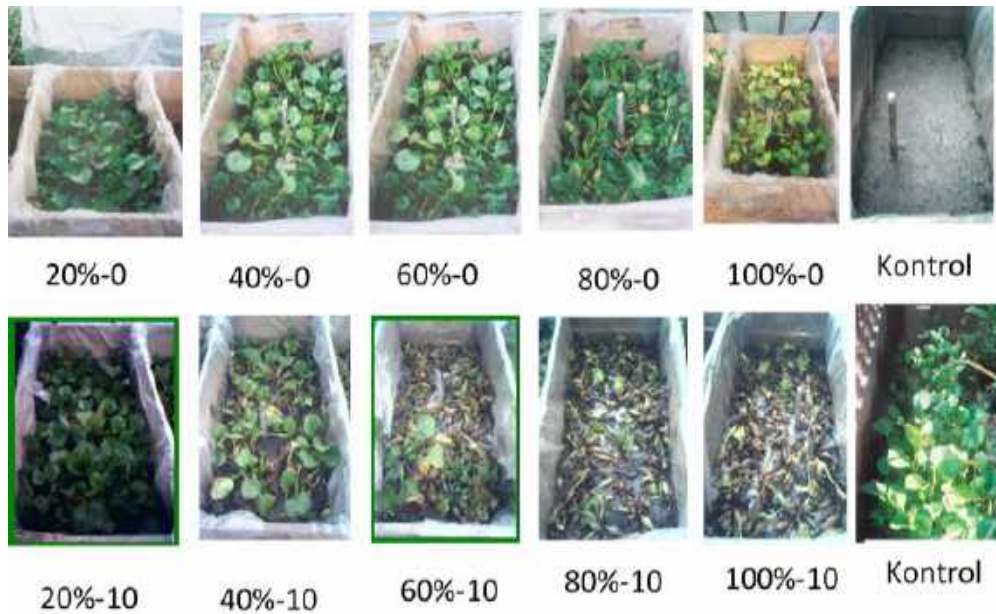
**Gambar 4.** Tren Penurunan sianida dalam reaktor constructed wetlands

Hasil penelitian ini menunjukkan bahwa sistem *constructed wetlands* memiliki kemampuan yang sangat baik dalam menurunkan kadar sianida dalam air limbah industri tapioka hingga mencapai di bawah ambang batas maksimum standar yang diijinkan. Tumbuhan yang digunakan mampu menyerap sianida dan mengikatnya dalam akar, batang dan daunnya. Selain itu juga terdapat mikroorganismenya yang tumbuh dan bersimbiosis dengan tumbuhan dalam reaktor tersebut (Polprasert, 2004).

### 3.5. Toksisitas air limbah industri tapioka terhadap tumbuhan eceng gondok

Tumbuhan eceng gondok mempunyai kemampuan yang tinggi dalam menurunkan kontaminan dalam air limbah industri tapioka, sehingga secara umum memenuhi baku mutu yang dipersyaratkan. Keberadaan kontaminan yang cukup tinggi dalam air limbah industri tapioka memberikan efek negatif pada tumbuhan eceng gondok khususnya setelah beberapa hari (Bengtsson and Triet, 1994). Hasil penelitian menunjukkan bahwa beberapa tumbuhan eceng gondok mati setelah pada hari ke-10, dimana hal ini menjadikan konsentrasi TSS dalam air

limbah mengalami kenaikan akibat dari tumbuhan eceng gondok yang membusuk. Secara lebih jelas kondisi tumbuhan eceng gondok tersebut dapat dilihat pada Gambar 5.



**Gambar 5.** Kondisi tumbuhan dalam reaktor constructed wetlands

Terlihat sangat jelas bahwa semakin besar konsentrasi air limbah industri tapioka memberikan pengaruh negatif makin besar pada tumbuhan uji. Pada reaktor kontrol (konsentrasi 0%), tumbuhan eceng gondok dapat hidup dengan subur sampai dengan hari ke-10. Pada konsentrasi air limbah 40%, tumbuhan eceng gondok masih dapat bertahan sampai dengan hari ke-10. Namun pada konsentrasi selanjutnya kondisi eceng gondok membusuk dan mati. Hasil ini diperlukan untuk desain reaktor pengolahan air limbah industri tapioka sesungguhnya, dimana perlu dilakukan pengenceran terlebih dahulu atau perlu adanya pengolahan pendahuluan (*pretreatment*) agar diperoleh hasil yang optimum.

#### 4. KESIMPULAN

Tumbuhan eceng gondok dalam reaktor *constructed wetlands* tipe *free water surface* memiliki kemampuan tinggi dalam menurunkan BOD, COD, TSS dan sianida dalam air limbah industri tapioka mencapai masing-masing 97,9 %, 84,4 %, 45,6 %, dan 99,87 %. Keberadaan mikroorganisme yang bersimbiosis dengan tumbuhan dalam reaktor memegang peranan penting dalam proses penurunan kontaminan dalam air limbah. Dengan kemampuannya yang sangat baik dan keberadaannya sangat banyak serta mudah diperoleh di banyak area, maka sistem ini sangat berpotensi untuk dijadikan salah satu alternatif dalam mengolah air limbah

industri tapioka atau limbah lainnya, sehingga diharapkan mampu mengurangi permasalahan lingkungan.

## DAFTAR PUSTAKA

- Bengtsson, B., and Triet, T. (1994). Tapioca-Starch Wastewater Toxicity Characterized by Microtox and Duckweed Tests. *Ambio*, 23 (8): 473-477.
- Cesaria, R.Y., Wirosodarmo, R., dan Suharto, B. (2014). Pengaruh penggunaan starter terhadap kualitas fermentasi limbah cair tapioka sebagai alternatif pupuk cair. *Jurnal Sumberdaya Alam dan Lingkungan*, 1 (2) :8-14.
- Fatimah, I., dan Wijaya, K (2005). Sintesis TiO<sub>2</sub> /zeolit sebagai fotokatalis pada pengolahan limbah cair industri tapioka secara adsorpsi-fotodegradasi. *Teknoin*, 10 (4): 257-267.
- Irmanto dan Suyata. (2010). Optimasi penurunan nilai bod, cod dan tss limbah cair industri tapioka menggunakan arang aktif dari ampas kopi. *Molekul*, 5 (1): 22-32.
- Mulyani, H., dan Prasadja, M.E. (2014). Study of Chlorination Application in Tapioca Wastewater for Cyanide Removal. *Waste Technology*, 2 (2): 41-43.
- Nurkemalasri, R., Sutisna, M., dan Wardhani, E. (2013). Fitoremediasi Limbah Cair Tapioka dengan menggunakan Tumbuhan Kangkung Air (*Ipomoea aquatica*). *Reka Lingkungan*, 2 (1):1-12.
- Polprasert, C. (2004). Constructed Wetlands for Wastewater Treatment: Principles and Practices. *Wetlands Ecosystems in Asia*, 1: 285-310.
- Santoso, B. (2010). Proses pengolahan air buangan industri tapioka. *Jurnal Ilmiah Teknologi & Rekayasa*, 15 (3): 213-220.
- Siswoyo, E., Kasam, dan Abdullah, L.M.S. (2011). Penurunan Logam Timbal (Pb) pada Limbah Cair TPA Piyungan Yogyakarta dengan Constructed Wetlands Menggunakan Tumbuhan Eceng Gondok (*Eichornia Crassipes*). *Jurnal Sains & Teknologi Lingkungan*, 3 (1): 73-79.
- Susilo, F.A.P., Suharto, B., dan Susanawati, L.D. (2015). Pengaruh Variasi Waktu Tinggal Terhadap Kadar BOD dan COD Limbah Tapioka dengan Metode Rotating Biological Contactor. *Jurnal Sumberdaya Alam dan Lingkungan*, 2 (1): 21-26.
- Thepubon, T., Choeisai, P., Mungkarndee, P., Choeisai, K., and Syutsubo, K. (2020). Effect of suspended solids removal methods on methane production from tapioca starch wastewater. *Engineering and Applied Science Research*, 47 (1): 87-92.

- Wardhana, R.K., H.H.D., Mardiah, A., dan Siswoyo, E. (2019). Sintesis biosemikonduktor menggunakan serat nata de cassava dari limbah cair tapioka. *Jurnal Sains & Teknologi Lingkungan*, 11 (2): 143-154.
- Zhang, W., Xie, L., Yin, Z., Khanal, S.K., and Zhou, Q. (2016). Biorefinery approach for cassava-based industrial wastes: Current status and opportunities. *Bioresources Technology*, 215: 50-62.

## SEBARAN DAERAH SULIT AIR TANAH BERDASARKAN KONDISI GEOLOGI DAERAH PERBUKITAN KECAMATAN PRAMBANAN, SLEMAN, YOGYAKARTA

Wisnu Aji Dwi Kristanto<sup>1</sup>, Farida Afriani Astuti<sup>1</sup>, Nandra Eko Nugroho<sup>1</sup>, Salam Via Febriyanti<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Universitas Pembangunan Nasional Veteran Yogyakarta

E-mail: wisnuaji@upnyk.ac.id

### Abstrak

Ketersediaan air tanah sebagai sumber kebutuhan dasar manusia semakin mengalami degradasi. Hal ini dikarenakan peningkatan jumlah penduduk yang pesat tidak diiringi dengan pemanfaatan air tanah yang baik, sehingga memicu sebaran daerah sulit air tanah. Ketersediaan air tanah dipengaruhi oleh kondisi geologi pada masing-masing daerah. Kondisi geologi berhubungan dengan karakteristik cekungan atau non-cekungan air tanah yang menjadi media penyimpanan air tanah. Karakteristik tersebut sangat mempengaruhi porositas dan permeabilitas akuifer air tanah. Sistem hidrogeologi perbukitan Prambanan memiliki karakteristik batuan kelompok non-cekungan dengan kemungkinan kemampuan menyimpan dan meloloskan air kecil. Pada musim hujan umumnya kedalaman air bawah permukaan perbukitan Prambanan melebihi 10 meter dengan fluktuasi berkisar 4-15 meter. Sedangkan pada musim kemarau sebagian besar air bawah permukaan dijumpai pada lapisan akuifer dalam (>40 meter), sehingga menyulitkan penduduk setempat untuk mendayagunakan air bawah permukaan. Berdasarkan gambaran tersebut, menarik dilakukan penelitian sebaran daerah sulit air tanah perbukitan Prambanan. Penelitian menggunakan metode survei dan pemetaan sebaran daerah sulit air tanah. Pemetaan sebaran daerah sulit air tanah meliputi parameter bentuk lahan, ketebalan tanah, satuan batuan, kedalaman muka air tanah, tingkat pelapukan batuan, dan kerapatan bidang diskontinuitas. Enam parameter tersebut dianalisis dengan pembobotan metode analitical hierarchy process. Hasil analisis pembobotan enam parameter menghasilkan empat zona sulit air di daerah perbukitan Prambanan yaitu sangat sulit, sulit, mudah, dan sangat mudah.

**Kata Kunci:** air tanah, geologi, sebaran daerah sulit air tanah

### Abstract

The availability of groundwater as a source of human basic needs is increasingly experiencing degradation. It is caused by a rapid increase in population that is not followed by good utilization of groundwater, which triggers the groundwater difficult area distribution. The availability of groundwater is influenced by geological conditions in each region. Geological conditions are related to the characteristics of groundwater basins or non-basins which are groundwater storage media. These characteristics greatly affect the porosity and permeability of groundwater aquifers. The Prambanan hills hydrogeology system has characteristics of non-basin rock groups with the possibility of storing and passing small water. The rainy season generally has the depth of the subsurface water of Prambanan hills beyond 10 meters with fluctuations ranging from 4-15 meters. In dry season, most of the subsurface water found in deep aquifer layers (>40 meters) is making it difficult for local residents to utilize subsurface water. Based on this description, it is interesting to do research on the distribution of hard ground areas in the Prambanan hills. The research uses survey methods and mapping of groundwater difficult area distribution. Mapping the distribution of groundwater difficult areas includes parameters of landform, soil thickness, rock units, depth of groundwater surface, rock weathering level, and density of discontinuity fields. The six parameters are analyzed by weighting the analitical hierarchy process method. The results of the six-parameter weighting analysis resulted in four difficult zones of water in the Prambanan hilly area which are very difficult, difficult, easy, and very easy.

**Keywords:** geology, groundwater, groundwater difficult area distribution

Dikirim/submitted: 19 Desember 2019

Diterima/accepted: 27 Desember 2019



## 1. PENDAHULUAN

Air merupakan satu dari kebutuhan dasar manusia dan makhluk hidup lainnya untuk hidup. Air dengan kualitas yang paling baik dapat ditemukan di bawah permukaan. Air bawah permukaan terbagi menjadi dua yaitu air tanah dan air bawah tanah. Meresapnya air ke bawah permukaan bumi yaitu melalui sistem air jenuh dan tidak jenuh. Sistem air tanah jenuh adalah air bawah tanah yang terkandung dalam suatu lapisan batuan dan berada pada suatu cekungan air tanah (Sadjab et al., 2012). Dengan kata lain, cekungan air tanah merupakan tempat tersimpannya air tanah (Riastika, 2012). Keberadaan air bawah permukaan dikontrol oleh karakter Cekungan Air Tanah (CAT) dan berkaitan dengan volume air, kecepatan aliran air, dan sebaran air (Hadihardaja, 1997). Cekungan airtanah tersebut umumnya dibatasi oleh batasan yang dikendalikan oleh kondisi hidrogeologi dan geologi atau kondisi hidraulik airtanah, dan umumnya tidak sama dengan batas wilayah pemerintahan (Zeffitni, 2011). Daerah yang memiliki potensi air tanah atau daerah CAT pada umumnya merupakan daerah endapan yang tidak termampatkan, bersifat meloloskan air dan berumur kuartar (Riastika, 2012).

Air tanah tersimpan dalam lapisan pembawa air yang disebut akuifer dan akuifer ini menjadi salah satu faktor penting untuk mengatasi kebutuhan air makhluk hidup (Sulu et al., 2015). Pemanfaatan air tanah oleh penduduk biasanya pada air tanah yang cenderung dangkal karena lebih mudah dalam eksploitasinya. Menurut Jone (2018), perkembangan suatu wilayah dan pembangunan di berbagai sektor juga turut mempengaruhi keberadaan air tanah dan siklus air tanah itu sendiri. Penggunaan air yang tidak sesuai kebutuhan dan pertumbuhan penduduk yang semakin meningkat akan mengakibatkan potensi air tanah semakin berkurang dan berpengaruh pada sebaran daerah sulit air.

Menurut Prayogo (2014), ketersediaan air tanah dipengaruhi oleh kondisi geologi pada masing-masing daerah, yakni litologi, struktur, dan porositas batuan (sistem bukaan). Hasil analisis geologi menunjukkan karakteristik cekungan air tanah atau non-cekungan. Karakteristik tersebut sangat mempengaruhi besar nilai porositas dan permeabilitas batuan penyusun akuifer air tanah.

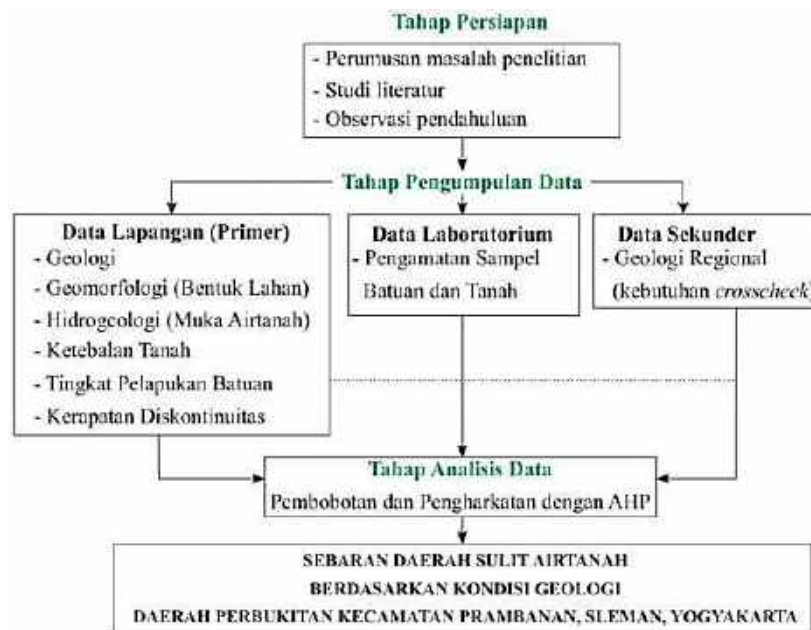
Ketersediaan air tanah dipengaruhi oleh kondisi geologi pada masing-masing daerah. Kondisi geologi yang berpengaruh yaitu karakteristik cekungan air tanah atau termasuk dalam non-cekungan. Karakteristik tersebut sangat mempengaruhi besar nilai porositas dan permeabilitas batuan penyusun akuifer air tanah.

Sebagian wilayah Kabupaten Sleman memiliki sistem hidrologi yang spesifik yaitu dengan potensi air tanah yang kecil dikarenakan karakteristik batuan yang tidak dapat dengan baik menyimpan dan meneruskan air. Salah satu wilayah dengan karakteristik tersebut adalah daerah perbukitan Prambanan. Morfologi daerah Prambanan berupa perbukitan dengan kondisi litologi daerah Prambanan dan sekitarnya yaitu terbagi menjadi enam satuan batuan yaitu satuan lanau, satuan pasir sedang, satuan pasir halus, satuan tuff, satuan lapilli, dan satuan batupasir dengan tingkat pelapukan yang bervariasi. Keterdapatannya struktur geologi pada daerah tersebut berupa kekar, rekahan, dan sesar turun yang membentang dari tenggara ke barat laut dimana struktur tersebut yang membentuk morfologi gawir (Kristanto, 2018).

Sistem hidrogeologi pada daerah perbukitan Prambanan memiliki karakteristik batuan pada kelompok non-cekungan dengan kemungkinan kemampuan menyimpan dan meloloskan air kecil. Menurut data dari Dinas Pekerjaan Umum, Perumahan dan Energi Sumber Daya Mineral (PUP-ESDM DIY) 2018, pada musim hujan umumnya kedalaman air bawah permukaan pada daerah perbukitan Prambanan lebih dari 10 meter dengan fluktuasi kedalaman muka air tanah berkisar antara 4-15 meter. Pada musim kemarau sebagian besar air bawah permukaan dijumpai pada lapisan akuifer yang dalam (> 40 meter) sehingga hal ini menyulitkan penduduk pada wilayah tersebut untuk mendayagunakan air bawah permukaan guna memenuhi kebutuhan air baku. Disamping itu, menurut data BNPB tahun 2010, daerah perbukitan Prambanan termasuk dalam zona kekeringan. Berdasarkan gambaran di atas, daerah perbukitan Prambanan penting dilakukan penelitian sebaran daerah sulit air perbukitan Prambanan, Sleman, Daerah Istimewa Yogyakarta untuk menuai manfaat khususnya bagi penduduk setempat.

## **2. METODE PENELITIAN**

Penelitian yang dilakukan merupakan jenis penelitian survei dan pemetaan sebaran daerah sulit air tanah di perbukitan Prambanan. Pengertian survei adalah salah satu teknis riset untuk mengkaji fakta-fakta di lapangan dengan teliti secara deskriptif, berdasarkan pemeriksaan dan pengukuran (Komaruddin, 2000). Peta dasar yang digunakan dalam penelitian ini adalah peta topografi dengan skala 1:25.000 yang diproduksi oleh Bakosurtanal tahun 2018. Keseluruhan tahapan dalam penelitian ini tertuang dengan ringkas dalam diagram alir penelitian pada gambar 1.



**Gambar 1.** Diagram alir penelitian

Pemetaan sebaran daerah sulit air tanah meliputi parameter bentuk lahan, ketebalan tanah, satuan batuan, kedalaman muka air tanah, tingkat pelapukan batuan, dan kerapatan bidang diskontinuitas. Adapun setiap parameter tersebut memiliki karakteristik yang saling terkait dan mendukung gambaran keberadaan air tanah pada suatu daerah. Parameter bentuk lahan memberikan gambaran tangkapan air permukaan. Semakin landai tangkapan air semakin baik dikarenakan akan lebih sedikit air yang menjadi *runoff*. Parameter ketebalan tanah terkait proses terjadinya infiltrasi (Aryanto et al., 2017). Semakin tebal tanah akan semakin banyak air yang terinfiltrasi. Parameter satuan batuan terkait kualitas akuifer yang bertindak sebagai penyimpan dan penyalur air tanah. Setiap batuan akuifer yang ada di tiap satuan batuan memiliki sifat hidrolika porositas dan permeabilitas yang bervariasi (Sunarwan et al., 2015). Kedalaman muka air tanah terkait dengan kemudahan eksploitasi air tanah. Parameter tingkat pelapukan batuan terkait dengan kemampuan infiltrasi dan kualitas akuifer serta hubungan antar sistem akuifer. Parameter kerapatan bidang diskontinuitas terkait dengan kemungkinan sistem akuifer sekunder.

Analisis terhadap keenam parameter yang digunakan pada penelitian ini dilakukan menggunakan pembobotan (*weighting*) dan pengharkatan (*rating*) dengan menggunakan metode *analytical hierarchy process* (AHP) yang dikemukakan oleh Saaty tahun 1977. AHP merupakan pendekatan praktis dalam pengambilan keputusan yang efektif melalui penyajian

hubungan hierarki antar faktor, atribut, karakteristik atau alternatif untuk memecahkan masalah kompleks (Bayuaji et al., 2016).

Nilai harkat daerah sulit air tanah di perbukitan Prambanan ditentukan dengan skor akhir dari akumulasi masing-masing parameter tertinggi dan terendah yang dibagi dalam empat harkat sesuai dengan parameter yang paling berpengaruh seperti terlihat pada Tabel 1.

**Tabel 1.** Klasifikasi potensi dan tingkat sulit air tanah

Kelas	Interval	Kriteria
4	> 3,00	Potensi air tanah tinggi (sangat mudah air)
3	2,50 – 3,00	Potensi air tanah sedang (mudah air)
2	2,00 – 2,50	Potensi air tanah rendah (sulit air)
1	< 2,00	Potensi air tanah sangat rendah (sangat sulit air)

Daerah dengan potensi air tanah tinggi merupakan daerah yang memiliki air tanah yang besar sepanjang tahun, termasuk pada daerah dengan satuan batuan yang *permeable*, bentuk lahan pada daerah ini sangat mendukung sebagai daerah tangkapan air, memiliki kedalaman muka air tanah dangkal, dan memiliki ketebalan tanah tebal sebagai media resapan yang baik. Ketersediaan air tanah pada daerah ini melimpah sepanjang tahun. Daerah dengan potensi air tanah tinggi termasuk daerah yang sangat mudah air.

Daerah dengan potensi air tanah sedang merupakan daerah yang memiliki air tanah yang cukup sepanjang tahun, termasuk dalam daerah dengan satuan batuan yang *semi-permeable*, bentuk lahan pada daerah ini mendukung sebagai daerah tangkapan air, memiliki kedalaman muka air tanah dangkal sampai sedang, dan memiliki ketebalan tanah sedang sampai tebal sebagai media resapan yang cukup. Daerah dengan potensi air tanah sedang termasuk daerah yang mudah air.

Daerah dengan potensi air tanah rendah merupakan daerah yang memiliki air tanah yang cukup pada musim penghujan dan terbatas pada musim kemarau, termasuk dalam daerah dengan satuan batuan yang *semi-permeable*, bentuk lahan pada daerah ini kurang mendukung sebagai daerah tangkapan air, memiliki kedalaman muka air tanah cenderung sedang sampai dalam, dan memiliki ketebalan tanah sedang sampai tipis sebagai media resapan yang kurang baik. Daerah dengan potensi air tanah rendah termasuk daerah yang sulit air.

Daerah dengan potensi air tanah sangat rendah merupakan daerah yang memiliki air tanah yang cukup sampai kurang pada musim penghujan dan sangat kurang pada musim kemarau,

termasuk dalam daerah dengan satuan batuan yang *semi-permeable – impermeable*, bentuk lahan pada daerah ini tidak mendukung sebagai daerah tangkapan air, memiliki kedalaman muka air tanah cenderung dalam bahkan tidak terukur, dan memiliki ketebalan tanah sedang sampai tipis sebagai media resapan yang tidak baik. Daerah dengan potensi air tanah sangat rendah termasuk daerah yang sangat sulit air.

### 3. HASIL DAN PEMBAHASAN

#### 3.1. Hasil Pembobotan dengan *Analitycal Hierarchy Process* (AHP)

Dalam penelitian ini, dilakukan *skoring* menggunakan pembobotan (*weighting*) dan pengharkatan (*rating*) melalui metode *analitical hierarchy process* (AHP) untuk memetakan potensi air bawah tanah. Enam parameter yang digunakan yaitu bentuk lahan, ketebalan tanah, satuan batuan, kedalaman muka air tanah, tingkat pelapukan batuan, dan kerapatan bidang diskontinuitas. Hasil pembobotan dan pengharkatan dengan AHP yang telah disesuaikan dengan tingkat pengaruh dari masing masing parameter dapat dilihat pada Tabel 2. Sementara itu, klasifikasi potensi dan tingkat sulit air tanah untuk masing-masing parameter dapat dilihat pada Tabel 3.

**Tabel 2.** Parameter dan kriteria pemetaan potensi air bawah tanah dan hasil skoring

Parameter	Sub-Parameter	Kategori	Harkat	Bobot	Skor
Satuan batuan	Batupasir	Akuifer sangat baik	4	0,241	0,965
	Breksi dan Konglomerat	Akuifer baik	3		0,724
	Batugamping Klastik				
	Batulanau	Akuifer buruk	2		0,483
	Lapili				
	Batugamping Nonkalstik				
	Batuan Beku	Akuifer sangat buruk	1		0,241
	Tuf				
Batulempung					
Bentuk lahan	Dataran	Zona tangkapan sangat baik	4	0,138	0,553
	Dataran Bergelombang	Zona tangkapan baik	3		0,415
	Lembah				
	Punggungan	Zona tangkapan cukup	2		0,276
	Perbukitan				
	Bukit				
	Pegunungan	Zona tangkapan buruk	1		0,138
Lereng Terjal (Gawir)					
Kedalaman muka air tanah (meter)	0 - 10,99	Dangkal	4	0,110	0,441
	11 - 14,99	Sedang	3		0,331
	15 - 20	Dalam	2		0,220
	> 20	Sangat dalam	1		0,110
Ketebalan tanah (meter)	> 3	Sangat tebal	4	0,079	0,315
	2 - 2,99	Tebal	3		0,237
	1 - 1,99	Tipis	2		0,158
	0 - 0,99	Sangat tipis	1		0,079

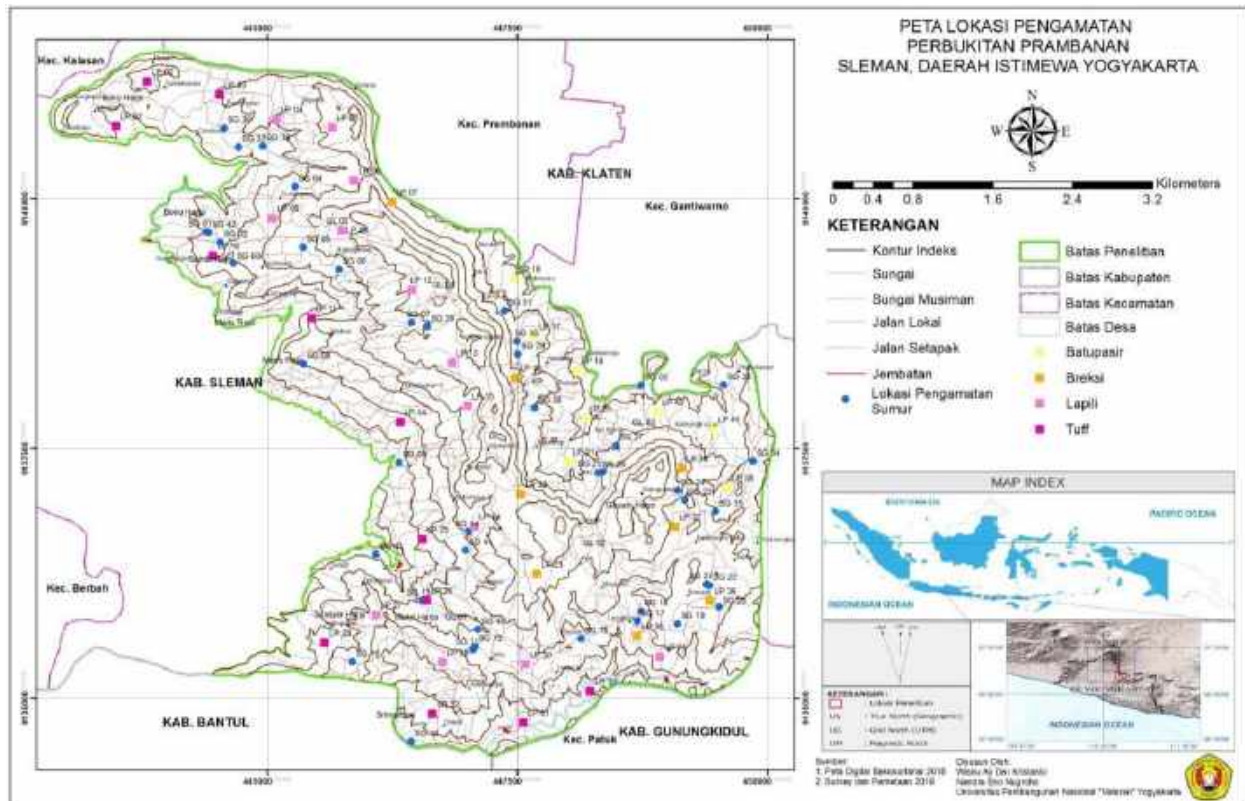
Parameter	Sub-Parameter	Kategori	Harkat	Bobot	Skor
Tingkat pelapukan batuan	Segar-Perubahan Warna Di Permukaan	Sangat Rendah	4	0,216	0,863
	Terubah Warna Dan Fisik <25%	Rendah	3		0,647
	Terubah Fisik 25-50%	Sedang	2		0,431
	Terubah Fisik >50%	Tinggi	1		0,216
Kerapatan bidang diskontinuitas	Tidak Ada Kekar	Sangat Rendah	4	0,216	0,863
	1-3/meter	Rendah	3		0,647
	3-10/meter	Sedang	2		0,431
	>10/meter	Tinggi	1		0,216

**Tabel 3.** Klasifikasi dan kriteria potensi air bawah tanah serta daerah sulit air

Klasifikasi Potensi Air tanah	Kriteria						Ketersediaan Air tanah
	Bentuk Lahan	Ketebalan Tanah	Satuan Batuan	Kedalaman Muka Air tanah	Tingkat Pelapukan Batuan	Kerapatan Bidang Diskontinuitas	
Tinggi	Dataran, Lembah, Dataran Bergelombang	Sangat Tebal, Tebal	Batupasir, Breksi, Konglomerat dan Batugamping Klastik, Endapan Pasir dan Lebih Besar	Dangkal Dangkal-Sedang	Terubah Fisik >50%	>10/meter	Sangat Mudah Air
Sedang	Dataran Bergelombang, Lembah, Punggungan Perbukitan Bukit	Tebal	Breksi, Konglomerat, Batugamping Klastik	Sedang Sedang-Dalam	Terubah Fisik 25-50%, Terubah Fisik >50%	3-10/meter, >10/meter	Mudah Air
Rendah	Punggungan Perbukitan Bukit	Tipis	Batulanau, Lapili, Batugamping Nonklastik, Endapan Lempung	Dalam	Terubah Warna Dan Fisik <25%, Terubah Fisik 25-50%	1-3/meter, 3-10/meter	Sulit Air
Sangat Rendah	Pegunungan Lereng Terjal	Sangat Tipis	Batuan Beku Tuff Batulempung	Sangat Dalam	Segar-Perubahan Warna Di Permukaan	Tidak Ada Kekar	Sangat Sulit Air

### 3.2. Hasil Pemetaan dan Pengamatan Lapangan

Penelitian sebaran daerah sulit air tanah perbukitan Prambanan, Sleman, Daerah Istimewa Yogyakarta dilakukan dengan pemetaan dan pengamatan lapangan untuk memperoleh data serta informasi yang diperlukan sesuai dengan enam parameter sebaran daerah sulit air tanah dengan lokasi pengamatan yang disesuaikan dengan kebutuhan seperti pada Gambar 2.



**Gambar 2.** Peta lokasi pengamatan daerah perbukitan Prambanan

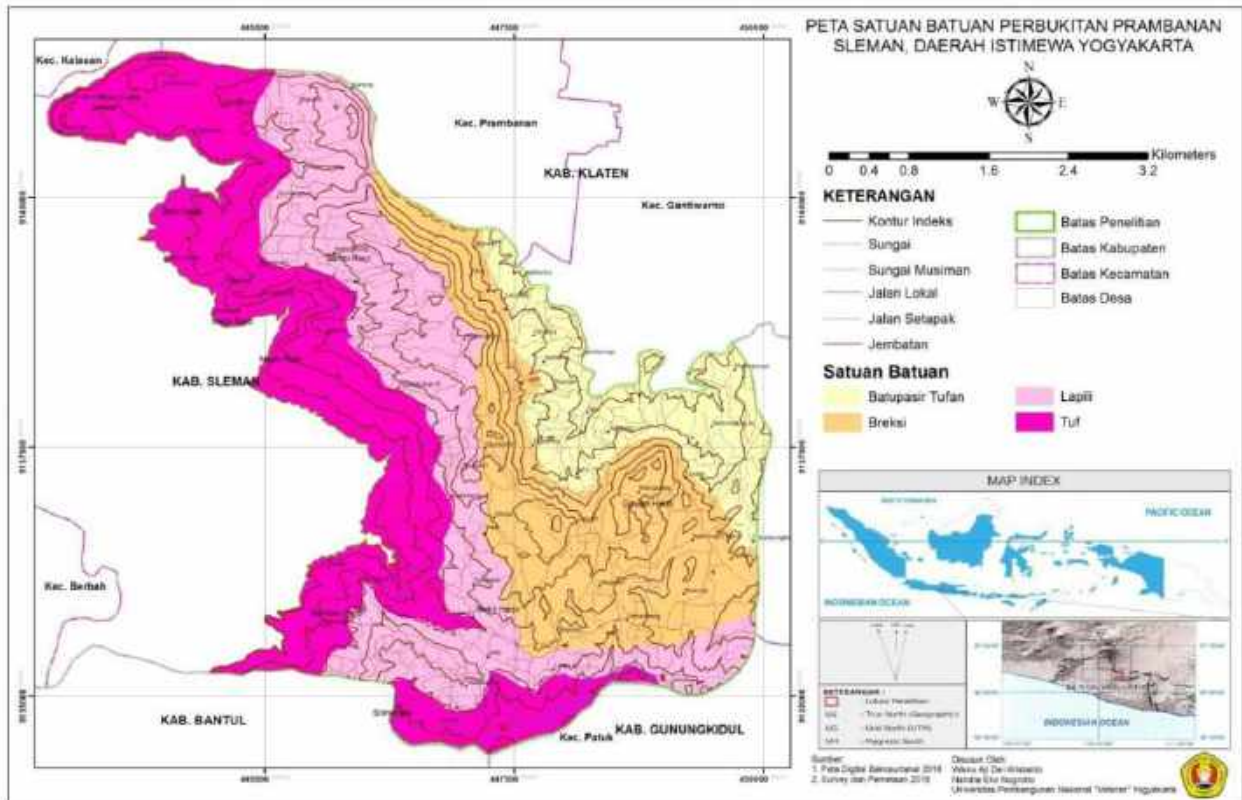
### 3.2.1. Satuan Batuan

Hasil pemetaan dan analisis batuan pada lokasi penelitian terdapat empat satuan batuan yang mendominasi yaitu satuan tuff, satuan lapilli, satuan breksi, dan satuan batupasir tuffan (Gambar 3). Kondisi sebaran batuan yang ada relatif mengikuti bentuk lahan yang ada dan pola kerapatan kontur. Kondisi batuan merupakan faktor yang berpengaruh terdapat ketersediaan air tanah karena merupakan wadah atau tempat simpanan air tanah.

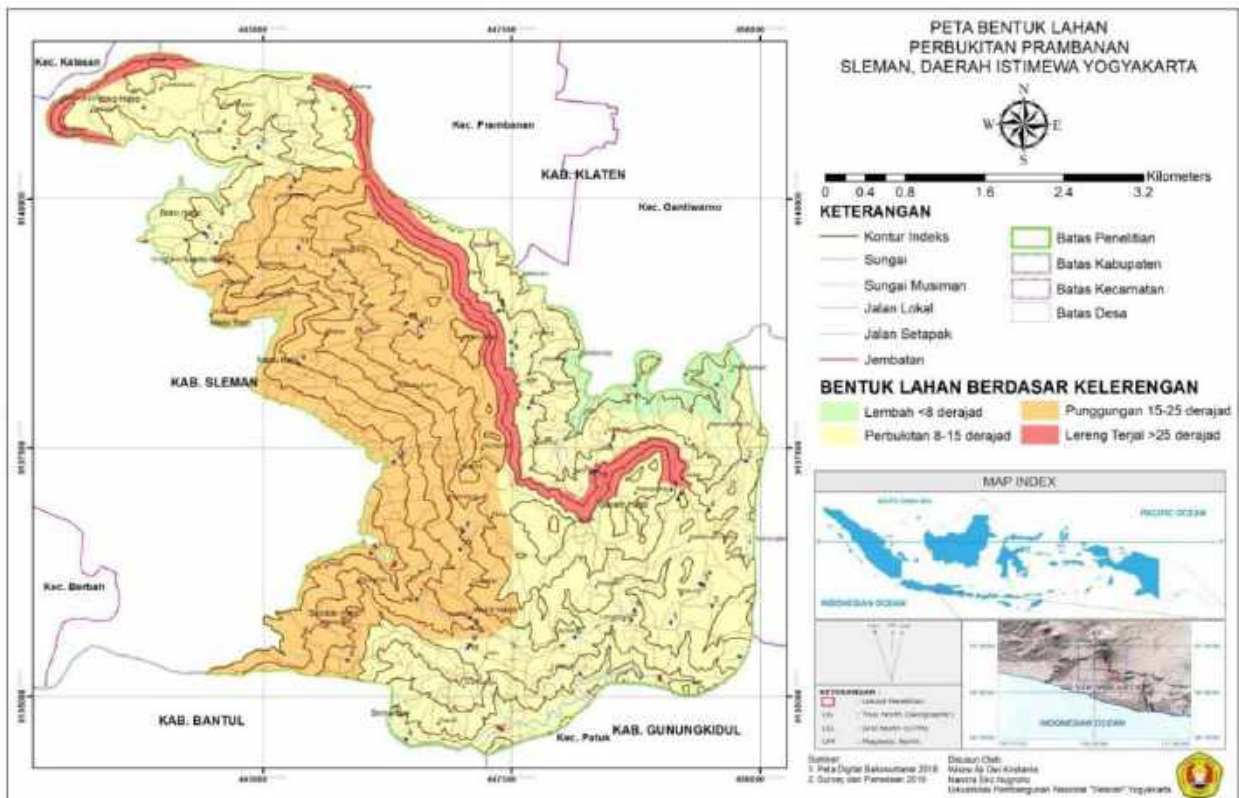
### 3.2.2. Bentuk Lahan

Hasil analisis peta topografi daerah penelitian terdapat empat satuan bentuk lahan yaitu lembah, perbukitan, punggung, dan lereng terjal (Gambar 4). Bentuk lahan digunakan karena berhubungan dengan air limpasan permukaan (*runoff*) yang diasumsikan bahwa daerah dengan bentuk lahan dengan kelerengan terjal akan mudah menghasilkan *runoff* daripada daerah dengan bentuk lahan dengan kelerengan landai





Gambar 3. Peta satuan batuan daerah perbukitan Prambanan.

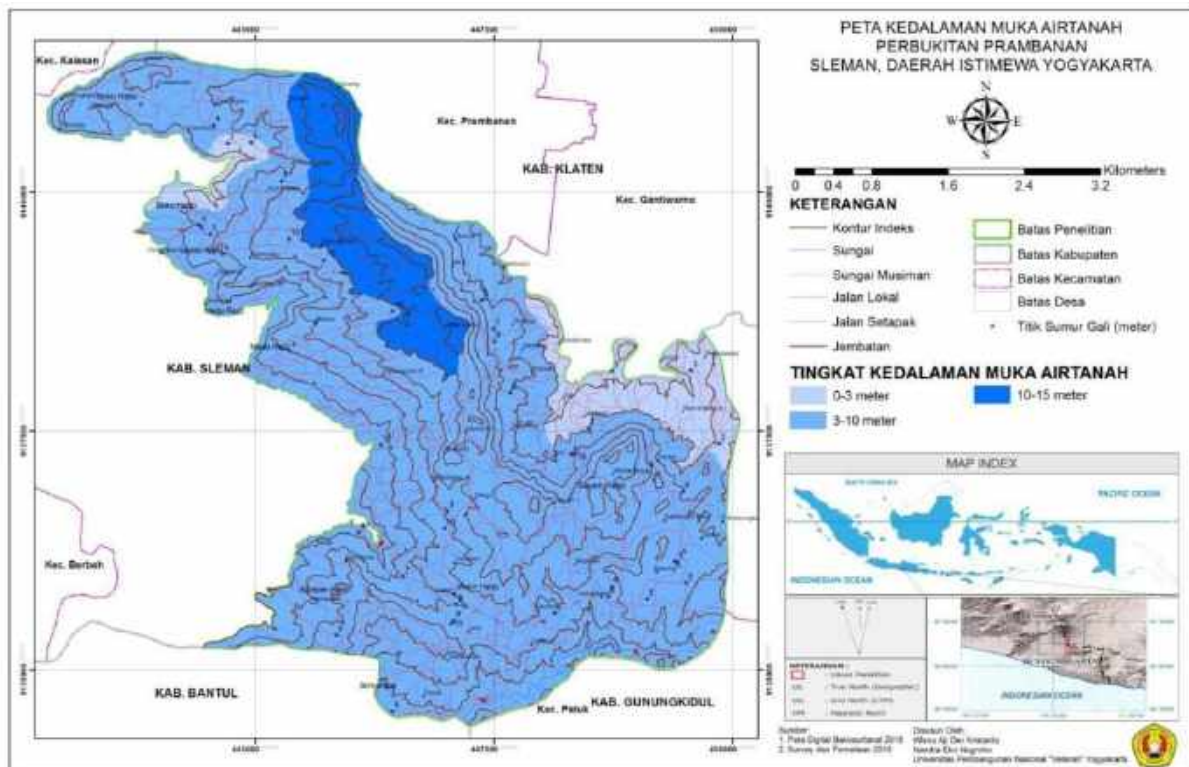


Gambar 4. Peta bentuk lahan daerah perbukitan Prambanan.



### 3.2.3. Kedalaman Muka Air tanah

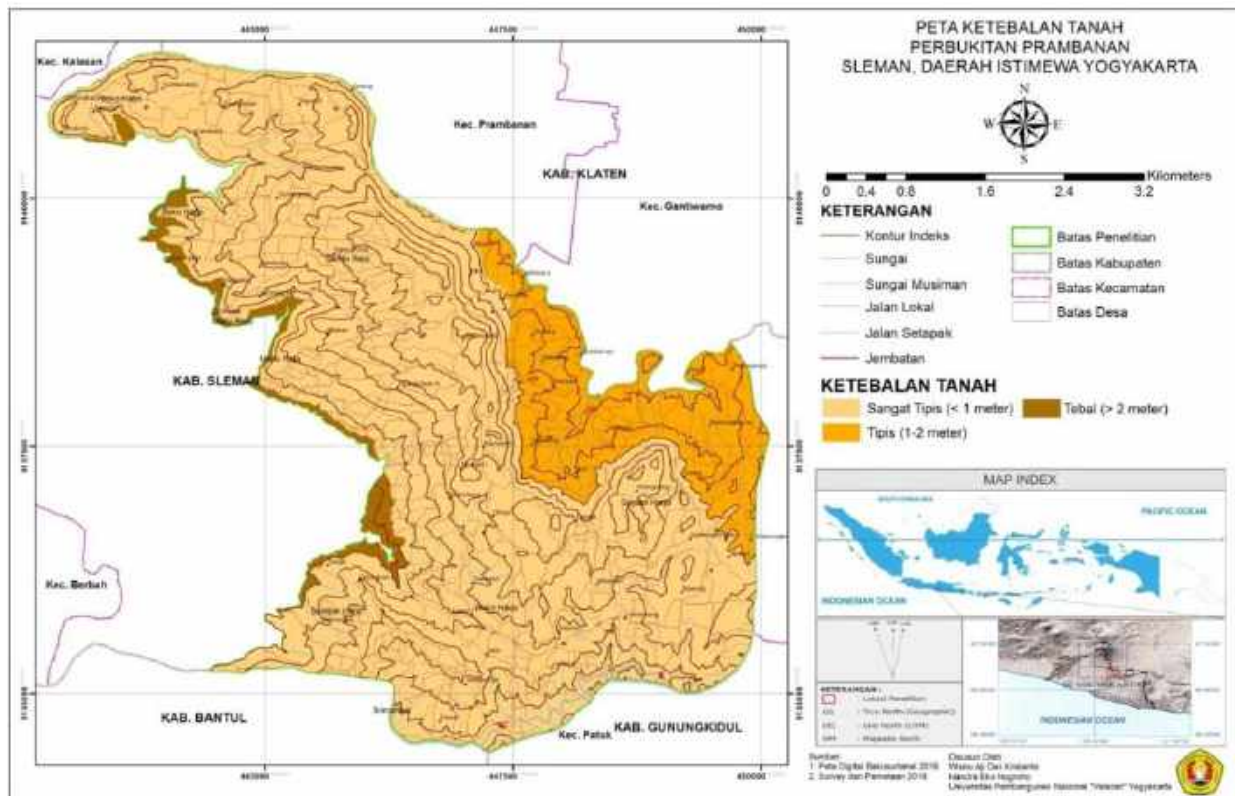
Hasil pemetaan kedalaman muka air tanah dilapangan dilakukan berdasarkan data sumur gali yang ada di daerah lokasi penelitian. Parameter kedalaman muka air tanah mewakili kemudahan pengambilan air tanah. Semakin dangkal muka air tanah, semakin mudah dan murah dalam eksploitasinya. Hasil pengamatan di lapangan terdapat tiga jenis kelompok kedalaman air tanah berdasarkan kelompok kemudahan eksploitasinya yaitu 0-3 meter, 3-10 meter, dan 10-15 meter (Gambar 5).



**Gambar 5.** Peta kedalaman muka air tanah daerah perbukitan Prambanan.

### 3.2.4 Ketebalan Tanah

Hasil survei lapangan tingkat ketebalan tanah di lokasi penelitian terbagi atas tiga zona ketebalan yaitu zona sangat tipis (<1m), tipis (1-2m), dan tebal (>2m) (Gambar 6). Parameter ketebalan tanah merupakan media resapan awal air permukaan. Semakin tebal tanah akan semakin banyak air yang terinfiltrasi ke bawah permukaan. Ketebalan tanah dipengaruhi salah satunya adalah bentuk lahan sekaligus kemiringan lereng yang ada. Kemiringan lereng yang semakin tinggi akan membuat proses pembentukan tanah semakin lama akibat air lebih berpotensi menjadi *runoff* sehingga infiltrasi berkurang dan proses pelapukan batuan menjadi lebih lama yang berdampak pada ketebalan tanah yang tipis.



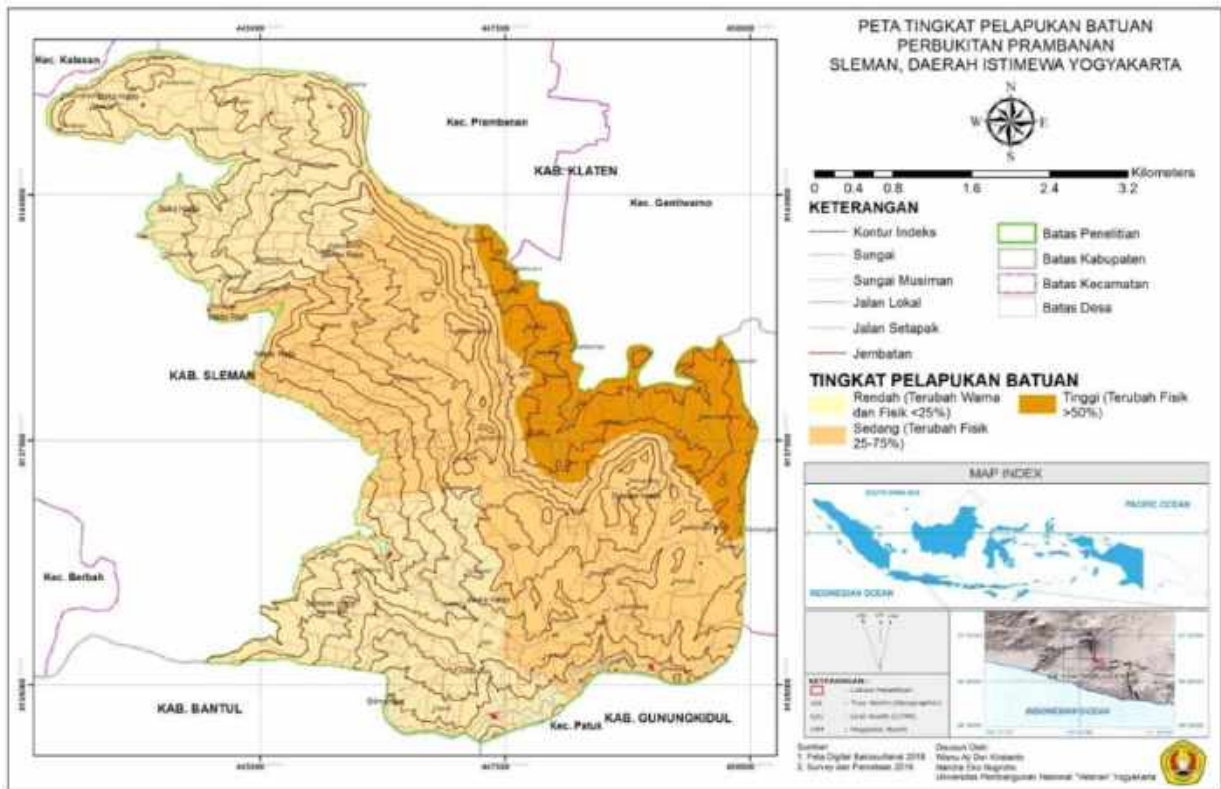
**Gambar 6.** Peta ketebalan tanah daerah perbukitan Prambanan.

### 3.2.5. Tingkat Pelapukan Batuan

Hasil analisis tingkat pelapukan batuan pada lokasi penelitian terdapat tiga tingkat pelapukan batuan yaitu tingkat pelapukan rendah, sedang, dan tinggi (Gambar 7). Tingkat pelapukan batuan memberikan gambaran tingkat kemampuan batuan untuk menampung dan mendistribusikan air melalui ruang antar butir yang berkembang seiring lapuknya batuan. Tingkat pelapukan yang tinggi ditandai dengan perubahan warna batuan yang semakin menjauh dari warna asli batuan.

### 3.2.6. Kerapatan Bidang Diskontinuitas

Hasil pengamatan dan analisis pada lokasi penelitian terbagi atas tiga kerapatan bidang diskontinuitas (Gambar 8). Bidang diskontinuitas terkait dengan kehadiran kekar maupun bidang lainnya seperti: bidang perlapisan, zona lapukan batuan, struktur geologi dan bidang yang memutus tubuh batuan lainnya. Semakin rapat bidang diskontinuitas akan lebih memudahkan air terakumulasi pada ruang bidang tersebut yang dapat berkembang sebagai akuifer sekunder.



Gambar 7. Peta tingkat pelapukan daerah perbukitan Prambanan.



Gambar 8. Peta kerapatan bidang diskontinuitas daerah perbukitan Prambanan.

### 3.3. Peta Sebaran Daerah Sulit Air tanah

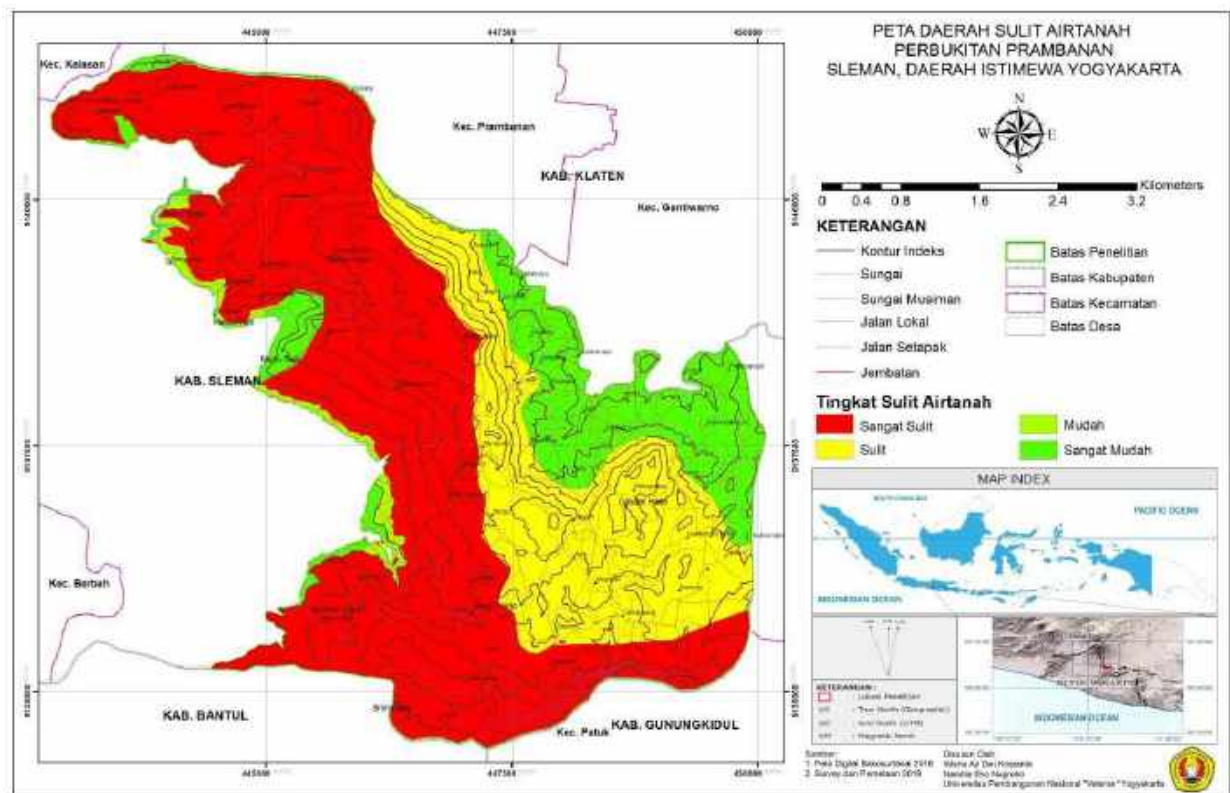
Hasil analisis pembobotan dari parameter satuan batuan, bentuk lahan, ketebalan tanah, kedalaman muka air tanah, tingkat pelapukan batuan, dan kerapatan bidang diskontinuitas menghasilkan beberapa tingkat sulit air tanah yang ada di perbukitan Prambanan (Gambar 9). Zona yang dihasilkan terbagi menjadi empat yaitu sangat sulit, sulit, mudah, dan sangat mudah. Sebagai salah satu contoh daerah sangat sulit air tanah memiliki bentuk lahan punggung-lereng terjal, ketebalan tanah sangat tipis, satuan batuan lapili dan tuf, kedalaman muka air tanah dalam, tingkat pelapukan batuan rendah, dan kerapatan batuan rendah. Karakter ini menjadikan daerah tersebut memiliki potensi air tanah yang sangat rendah. Untuk panduan membaca keseluruhan sebaran sulit air tanah dapat dilihat di tabel 3 dengan memperhatikan nilai akumulasi pada tabel 1.

Secara deskriptif pembagian zona sebaran sulit air tanah daerah perbukitan Prambanan adalah sebagai berikut:

1. Zona sangat sulit air tanah merupakan zona yang mendominasi sekitar luasan 45% daerah penelitian dengan sebaran dari arah utara melintang secara sempit ke arah selatan. Zona ini sangat dipengaruhi oleh susunan batuan mengingat bahwa air tanah tersimpan pada akuifer sehingga karakter batuan tuf dan lapili yang mempunyai karakter buruk sangat berpengaruh pada ketersediaan air bawah permukaan. Hal ini ditambah dengan tingkat pelapukan yang rendah dan sedang sehingga pada kedua faktor ini berakibat pada potensi air bawah permukaan yang sangat rendah.
2. Zona sulit air tanah memiliki luasan 25% daerah penelitian dengan sebaran sempit dari arah utara melintang secara meluas ke arah selatan. Karakteristik pada zona ini adalah dipengaruhi oleh tingkat pelapukan yang rendah sampai sedang dan bidang diskontinuitas yang dengan kerapatan 3-10 bidang/meter serta bentuk lahan yang berupa perbukitan dan punggung namun karena satuan batuan adalah breksi yang mempunyai karakter baik sebagai akuifer sehingga pada daerah ini mempunyai potensi air bawah permukaan yang rendah.
3. Zona mudah air tanah memiliki luasan 5% daerah penelitian dengan sebaran secara spot-spot pada sisi barat dengan luasan kecil. Zona potensi mempunyai karakteristik terdapat pada satuan satuan tuf dan lapili, tingkat pelapukan yang rendah sampai sedang dan bidang diskontinuitas yang dengan kerapatan 3-10 bidang/meter. Namun dengan adanya bentuk lahan berupa lembah, kedalaman air tanah yang dangkal dan ketebalan tanah yang cukup tebal membuat daerah ini mempunyai potensi air bawah permukaan yang sedang.



4. Zona sangat mudah air tanah memiliki luasan 15% daerah penelitian dengan sebaran secara spot-spot pada sisi barat dengan luasan kecil dan luasan yang cukup besar pada sisi bagian timur. Zona potensi air bawah permukaan tinggi ini mempunyai karakteristik terdapat pada satuan satuan batupasir tufan serta lapili dan tuf dengan luasan kecil, tingkat pelapukan yang tinggi sampai sedang bidang diskontinuitas yang dengan kerapatan >10 bidang/meter, bentuk lahan lembah, dan kedalaman air tanah yang dangkal (0-3m). Parameter yang berpengaruh tersebut mempunyai dampak positif terhadap potensi air bawah permukaan sehingga membuat daerah ini mempunyai potensi air bawah permukaan yang tinggi.



**Gambar 9.** Peta sebaran daerah sulit air tanah daerah perbukitan Prambanan.

#### 4. KESIMPULAN

Hasil analisis pembobotan dari parameter satuan batuan, bentuk lahan, ketebalan tanah, kedalaman muka air tanah, tingkat pelapukan batuan, dan kerapatan bidang diskontinuitas menghasilkan beberapa tingkat sulit air tanah yang ada di perbukitan Prambanan. Zona yang dihasilkan terbagi menjadi empat yaitu sangat sulit, sulit, mudah, dan sangat mudah. Metode penelitian ini dapat diterapkan di daerah penelitian yang lain sebagai dasar perencanaan kebutuhan air masyarakat.

Daerah perbukitan Prambanan memiliki zona sulit air yang lebih luas daripada yang mudah air. Untuk mengatasi ini, penulis memberikan beberapa saran yaitu: membangun bangunan embung di daerah bukit dengan memperhatikan optimalisasi tangkapan air dan mengoptimalkan sumber air dari daerah dataran kaki perbukitan dengan distribusi pipa. Semua ini dapat dilakukan dengan penelitian lebih lanjut.

#### DAFTAR PUSTAKA

- Aryanto, D.E dan Hardiman, G. (2017). Kajian Multi Varian Faktor yang Berpengaruh terhadap Infiltrasi Air Tanah sebagai Dasar Penentuan Daerah Potensial Resapan Air Tanah. *Proceeding Biology Education conference*, 14 (1) : 252-257.
- Badan Nasional Penanggulangan Bencana. (2010). Peta Kejadian Bencana Kekeringan di Indonesia Tahun 1979–2009. Badan Nasional Penanggulangan Bencana. Jakarta.
- Bayuaji, D.G., Nugraha, A.L dan Sukmono, A. (2016). Analisis Penentuan Zonasi Risiko Bencana Tanah Longsor Berbasis Sistem Informasi Geografis (Studi Kasus : Kabupaten Banjarnegara). *Jurnal Geodesi Undip*, 5 (1) : 326-335.
- Dinas Pekerjaan Umum, Perumahan dan Energi Sumber Daya Mineral Daerah Istimewa Yogyakarta. (2018). Identifikasi Daerah Sulit Air di Kabupaten Sleman dan Bantul.
- Dinas Pekerjaan Umum, Perumahan dan Energi Sumber Daya Mineral Daerah Istimewa Yogyakarta. (2011). Rencana Program Kegiatan Pengelolaan Air Tanah di Cekungan Air Tanah Yogyakarta-Sleman.
- Dinas Pekerjaan Umum, Perumahan dan Energi Sumber Daya Mineral Daerah Istimewa Yogyakarta. (2011). Pemetaan Zonasi Konservasi Air Tanah di Cekungan Air Tanah Yogyakarta-Sleman.
- Hadihardaja J. (1997). Irigasi dan Bangunan Air. Kopertis. Jakarta.
- Jone, Y. (2018). Kajian Potensi Air Tanah Dan Pembagian Wilayah Potensi di Cekungan Air Tanah Maumere. *Jurnal IPTEK*, 22(1): 21-27.
- Komaruddin. (2000). Kamus Istilah Karya Ilmiah. Bumi Aksara. Jakarta.
- Kristanto W.A.D., Indrawan I.G.B. (2018). Karakteristik Geologi Teknik Daerah Prambanan Dan Sekitarnya, Kecamatan Prambanan, Kabupaten Sleman, Daerah Istimewa Yogyakarta. *Jurnal KURVATEK*, 3(2): 21-29.
- Prayogo, T. (2014). Kajian Kondisi Air Tanah Dangkal Daerah Wonomarto, Lampung Utara. *Jurnal Teknologi Lingkungan*, 15(2): 107-114.

- Rahardjo, Wartono, Sukandarrumidi, Rosidi H.M.D. (1995). Peta Geologi Lembar Yogyakarta, Jawa, Skala 1:100.000. Pusat Penelitian dan Pengembangan Geologi. Bandung.
- Riastika, M. (2012). Pengelolaan Air Tanah Berbasis Konservasi Di Recharge Area Boyolali (Studi Kasus Recharge Area Cepogo, Boyolali, Jawa Tengah). *Jurnal Ilmu Lingkungan*, 9(2) : 86-97.
- Saaty T.L. (1977). A Scaling Method for Priorities in Hierarchical Structures. *Journal of Mathematical Psychology*; Vol. 15: 234-281.
- Santosa L.W., Adji T.N. (2018). Karakteristik Akuifer dan Potensi Air tanah Graben Bantul. UGM PRESS. Yogyakarta.
- Sudjab, B.A., As'ari dan Tanauma, A. (2012). Pemetaan Akuifer Air Tanah Di Sekitar Candi Prambanan Kabupaten Sleman Daerah Istimewa Yogyakarta Dengan Menggunakan Metode Geolistrik Tahanan Jenis. *Jurnal MIPA Unsrat Online*, 1(1) : 27-44.
- Sulu, S.S, As'ari dan Tongkukut, S.H.J. (2015), Pemetaan Akifer Air Tanah di Wilayah Kampus Unstrat Manado dengan Menggunakan Metode Geolistrik Tahanan. *Jurnal Ilmiah Sains*, 15 (1) : 20 – 26.
- Sunarwan, B., Kamal, N dan Luthfi, M. (2015). Identifikasi Parameter Fisika Dan Kimia Airtanah Pada Akifer Endapan Produk Gunung Api (Studi Kasus : Cekungan Airtanah Bandung). *Jurnal Teknologi*, 2 (26) : 53-68.
- Zeffitni. (2011). Identifikasi Batas Lateral Cekungan Airtanah (CAT) Palu. *Jurnal SMARTek*, 9(4): 337 – 349.