

Volume 8 Nomor 2 Tahun 2024  
A g u s t u s 2 0 2 4

# JURNAL PENGELOLAAN LINGKUNGAN BERKELANJUTAN

*(Journal of Environmental Sustainability Management)*

Jurnal ini dikelola oleh :  
Badan Kerjasama Pusat Studi Lingkungan (BKPSL) se-Indonesia dan  
Pusat Penelitian Lingkungan Hidup (PPLH) IPB University

**Sekretariat Jurnal Pengelolaan Lingkungan Berkelanjutan (JPLB)**

Gedung Pusat Penelitian Lingkungan Hidup (PPLH-IPB) Lantai 4  
Kampus IPB Dramaga Bogor 16680

Telp. 0251 – 8621262, 8621085; Fax. 0251 – 8622134

Homepage jurnal : <https://journal.bkpsl.org/index.php/jplb>

E-mail : [jplb@bkpsl.org](mailto:jplb@bkpsl.org) // [jurnalbkpsl@gmail.com](mailto:jurnalbkpsl@gmail.com)

# **JURNAL PENGELOLAAN LINGKUNGAN BERKELANJUTAN (JPLB)/ *Journal of Environmental Sustainability Management (JESM)***

## **Penanggung Jawab**

Ketua Badan Kerjasama Pusat Studi Lingkungan (BKPSL) se-Indonesia

## **Dewan Editor**

*Lingkungan Geofisik dan Kimia*

Prof. Tjandra Setiadi, Ph.D (ITB)

Dr. M. Pramono Hadi, M.Sc (UGM)

*Lingkungan Sosial dan Humaniora*

Prof. Dr.Ir. Emmy Sri Mahreda, M.P (ULM)

Andreas Pramudianto, S.H., M.Si (UI)

*Lingkungan Biologi (Biodiversity)*

Prof. Dr. Okid Parama Astirin, M.S (UNS)

Dr. Suwondo, M.Si (Unri)

*Kesehatan Masyarakat dan Kesehatan Lingkungan*

Dr. Drs. Suyud Warno Utomo, M.Si (UI)

Dr. Indang Dewata, M.Sc (UNP)

*Pengelolaan Lingkungan Berkelanjutan*

Dr. Ir. Agus Slamet, DiplSE, M.Sc (ITS)

Dr. Ir. Sri Utami, M.T (UB)

## **Ketua Editor Pelaksana**

Prof. Dr. Ir. Hefni Effendi, M.Phil (IPB)

## **Asisten Editor**

Gatot Prayoga, S.Pi (IPB)

Fikri Sakti Firmansyah, S.Hut (IPB)

Jauhar Zainalarifin, S.Pi (IPB)

Mita Aprilia, S.Pi, M.Si (IPB)

## **Alamat Redaksi**

*Sekretariat Jurnal Pengelolaan Lingkungan Berkelanjutan (JPLB)*

Gedung Pusat Penelitian Lingkungan Hidup IPB *University* (PPLH-IPB) Lantai 4

Kampus IPB Darmaga Bogor 16680

Telp. 0251 – 8621262, 8621085; Fax. 0251 – 8622134

*Homepage* jurnal : <https://journal.bkpsl.org/index.php/jplb>

*E-mail* : [jplb@bkpsl.org](mailto:jplb@bkpsl.org) / [jurnalbkpsl@gmail.com](mailto:jurnalbkpsl@gmail.com)

Badan Kerjasama Pusat Studi Lingkungan (BKPSL) se-Indonesia bekerjasama dengan Pusat Penelitian Lingkungan Hidup IPB *University* (PPLH-IPB) mengelola bersama penerbitan JPLB sejak tahun 2017, dengan periode terbit tiga nomor per tahun. Jurnal Pengelolaan Lingkungan Berkelanjutan (JPLB) menyajikan artikel ilmiah mengenai pengelolaan lingkungan yang berkelanjutan dari segala aspek. Setiap naskah yang dikirimkan ke Jurnal Pengelolaan Lingkungan Berkelanjutan (JPLB) ditelaah oleh mitra bestari.

# Potensi blue carbon pada tegakan pohon mangrove di pesisir Muna Barat

## *Blue carbon potential of mangrove tree on the coastal of West Muna*

Rahman Rahman<sup>1</sup>, Nur Tasmiah Sirajuddin<sup>2</sup>, Frijona Febiola Lokollo<sup>1</sup>, Krisye Pasanea<sup>1\*</sup>, Sophia Nonamanis Margaretha Fendjalang<sup>3</sup>, Mahriyana Hulopi<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Jurusan Ilmu Kelautan, Universitas Pattimura, Ambon, Indonesia

<sup>2</sup>Jurusan Manajemen Sumberdaya Perairan, Universitas Pattimura, Ambon, Indonesia

<sup>3</sup>Jurusan Budidaya Perairan, Universitas Pattimura, Ambon, Indonesia

### Abstrak.

Ekosistem mangrove memiliki peran penting dalam mitigasi perubahan iklim melalui penyerapan karbon. Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui potensi karbon biru pada tegakan mangrove di pesisir Muna Barat. Penelitian dilakukan melalui pengukuran kerapatan mangrove dengan metode transek kuadrat (10 m x 10 m) dan pengukuran diameter batang (DBH). Nilai stok karbon dan serapan karbon dianalisis berdasarkan nilai biomassa yang dihitung menggunakan persamaan allometrik dari setiap spesies mangrove. Hasil penelitian menunjukkan bahwa total biomassa, stok dan serapan karbon mangrove di pesisir Muna Barat yaitu 211,9 ton/ha, 99,21 ton C/ha dan 363,77 ton CO<sub>2</sub>-eq/ha. Spesies dengan kontribusi terbesar terhadap total biomassa, stok dan serapan karbon adalah spesies *R. stylosa* dan *S. alba*. Spesies dengan kontribusi terendah terhadap total biomassa, stok dan serapan karbon mangrove adalah *B. cylindrica* dan *B. gymnorrhiza*. Perbedaan kemampuan simpanan karbon pada masing-masing spesies dipengaruhi oleh struktur komunitas mangrove yang meliputi kerapatan, diameter batang dan tipe perakaran. Mangrove dari jenis *Rhizophora* memiliki kemampuan serapan karbon yang baik. Selain itu, ia juga mampu beradaptasi dengan baik terhadap lingkungan, sehingga sangat baik untuk dikelola dan dibiakkan dalam upaya mitigasi perubahan iklim.

Kata kunci: biomassa, karbon biru, fraksi karbon, perubahan iklim

### Abstract.

*Mangrove ecosystems have an important role in mitigating climate change through carbon sequestration. This study aims to determine the blue carbon potential of mangroves on the coast of West Muna. The research was conducted by measuring mangroves density using the quadrat transect method (10 m x 10 m) and measuring stem diameter (DBH). The values of carbon stock and carbon absorption were analyzed based on the biomass values calculated using the allometric equation of each mangrove species. The results showed that the total biomass, stock, and carbon absorption of mangroves on the coastal areas of West Muna were 211.9 tones/ha, 99.21 tones C/ha and 363.77 tones CO<sub>2</sub>-eq/ha. The largest contributors to total biomass, stock, and carbon sequestration are *R. stylosa* and *S. alba* species. In contrast, the species with the lowest contributors are *B. cylindrica* and *B. gymnorrhiza*. Differences in the ability to store carbon in each species are influenced by the structure of the mangrove community, including density, stem diameter and root type. Mangroves of the *Rhizophora* species have good carbon absorption capabilities. Besides that, it can also adapt well to the environment, so it is very good to be managed and bred in climate change mitigation efforts.*

*Keywords: biomass, blue carbon, carbon fraction, climate change*

## 1. PENDAHULUAN

Ekosistem mangrove memiliki peranan penting bagi kehidupan di wilayah pesisir karena menyediakan manfaat dan jasa ekosistem yang diperlukan bagi biota perairan. Peran penting ekosistem mangrove diantaranya adalah sebagai tempat memijah, mengasuh dan mencari makan bagi biota yang berasosiasi dengan mangrove (Nordhaus *et al.* 2006).

---

\* Korespondensi Penulis  
Email : krisye.777@gmail.com

Peran penting ekosistem mangrove tidak hanya sebagai penyedia jasa ekologi yang berkaitan dengan produktivitas perairan. Namun, ekosistem mangrove juga memiliki peran penting dalam mitigasi perubahan iklim melalui penyerapan karbon. Proses penyerapan karbon pada mangrove terjadi melalui fotosintesis dengan menyimpan karbon dalam bentuk biomassa (Alongi, 2008; Rahman *et al.* 2017). Selain karbon yang tersimpan pada *above-ground*, mangrove juga banyak menyimpan karbon di substrat (*soil carbon*) melalui produksi serasah mangrove yang terjadi setiap hari (Alongi 2014; Adame *et al.* 2015).

Alongi (2008) dan Alongi (2014) menyebutkan bahwa total simpanan karbon pada ekosistem mangrove mencapai 956 Ton C/ha dan lebih besar dibandingkan total stok karbon pada ekosistem lain seperti hutan hujan (*rain forests*) sebesar 241 Ton C/ha, rawa gambut (*peat swamps*) sebesar 408 Ton C/ha, rawa asin (*salt marsh*) sebesar 593 ton dan lamun sebesar 142,2 Ton C/ha. Penelitian lain oleh Donato *et al.* (2012) dilakukan dengan membandingkan total simpanan karbon pada tiga ekosistem daratan yaitu mangrove, hutan savanna, dan hutan dataran tinggi. Hasil penelitian tersebut mengindikasikan hal yang sejalan dengan Alongi (2014) yaitu bahwa total stok karbon pada ekosistem mangrove berkisar 830 – 1218 Ton C/ha dan lebih besar dibandingkan hutan savanna yaitu 156 – 203 Ton C/ha, atau terhadap hutan dataran tinggi dengan total simpanan karbon sebesar 375 – 437 Ton C/ha.

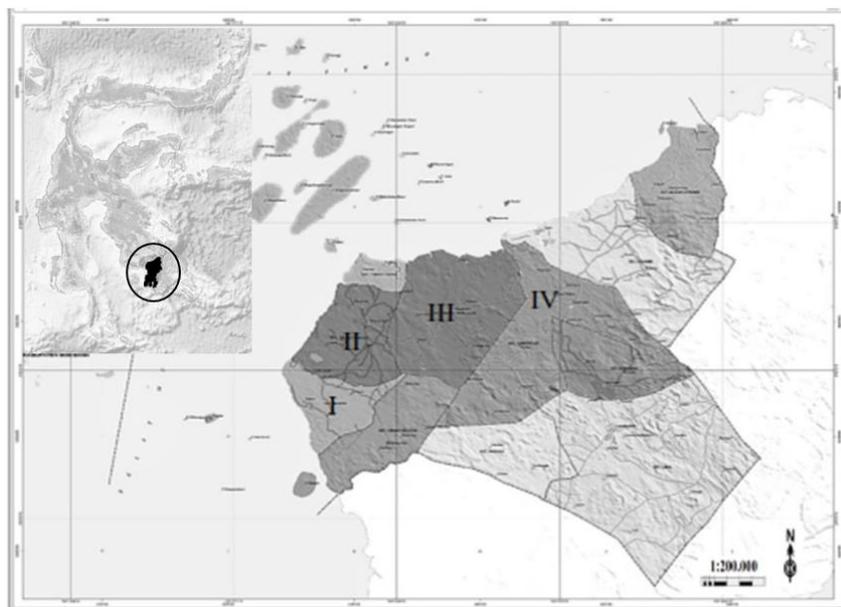
Degradasi atau deforestasi ekosistem mangrove di Indonesia dipicu oleh berbagai aktivitas di antaranya yaitu konversi menjadi lahan budidaya, permukiman dan pemanfaatan kayu (*timber*) (Rahman *et al.* 2024). Kerusakan mangrove akibat aktivitas tersebut mencapai 200.000 ha per tahun (Ilman *et al.* 2016). Ekosistem mangrove Muna Barat juga mengalami degradasi akibat pemanfaatan tersebut (Rahman *et al.* 2020<sup>a</sup>), sehingga berdampak pada penurunan kerapatan yang semula 1605 tegakan/ha (Rahman *et al.* 2014) menjadi 750 tegakan/ha (Rahman *et al.* 2020<sup>b</sup>). Perubahan nilai kerapatan tersebut tentunya akan diikuti oleh perubahan potensi simpanan karbon dan kemampuannya dalam mitigasi perubahan iklim (Rahman *et al.* 2020<sup>a</sup>). Berdasarkan hal tersebut, maka penelitian ini dilakukan untuk mengetahui kondisi terkini dari potensi simpanan dan serapan karbon pada tegakan mangrove. Hasil penelitian yang diperoleh dapat menjadi dasar untuk mengelola ekosistem mangrove berbasis mitigasi perubahan iklim secara berkelanjutan.

## 2. METODOLOGI

### 2.1. Lokasi kajian dan waktu penelitian

Penelitian dilakukan pada Januari-Desember 2019. Lokasi penelitian ditentukan pada empat stasiun atau wilayah yang representatif terhadap kondisi ekosistem mangrove Muna Barat yaitu stasiun I di Kecamatan Maginti, stasiun II di Kecamatan Tiworo Tengah, stasiun III di Kecamatan Tiworo Kepulauan dan stasiun IV di Kecamatan Sawerigadi (**Gambar 1**).

Secara umum terdapat enam spesies mangrove dominan di antaranya yaitu *B. cylindrica*, *R. stylosa*, *B. gymnorrhiza*, *R. apiculata*, *R. mucronata* dan *S. alba* (Rahman *et al.* 2014; Rahman *et al.* 2020<sup>c</sup>) dengan total kerapatan berkisar 760 – 1000 tegakan/ha. Spesies mangrove dominan tersebut hidup pada substrat yang berbeda. *B. cylindrica* dan *B. gymnorrhiza* hidup di habitat bersubstrat lumpur, *R. mucronata*, *R. stylosa* dan *R. apiculata* hidup di habitat bersubstrat lumpur berpasir, sementara *S. alba* hidup pada habitat berpasir (Rahman *et al.* 2014).



**Gambar 1.** Peta lokasi penelitian.

### 2.2. Metode pengumpulan data

#### 2.2.1. Kerapatan mangrove

Pengumpulan data status kerapatan mangrove dilakukan melalui observasi secara langsung melalui transek kuadrat 10 x 10 m<sup>2</sup>. Selain itu, juga mengacu pada laporan penelitian terbaru dari Rahman *et al.* (2020<sup>b</sup>; 2020<sup>c</sup>).

## 2.2.2. Pengukuran diameter mangrove

Pengukuran diameter batang (DBH = 130 cm) dilakukan pada masing-masing spesies yang ditemukan pada plot kuadran 10 x 10 m<sup>2</sup> yang diletakkan pada sisi *line transect*. Terdapat 30 *line transect* dengan rincian 6 pada stasiun I (60 plot), 11 pada stasiun II (110 plot), 9 pada stasiun III (90 plot) dan 4 pada stasiun IV (40 plot). Sampling data DBH bertujuan sebagai dasar untuk potensi karbon biru melalui persamaan allometrik biomassa pada masing-masing spesies mangrove.

## 2.3. Analisis data

### 2.3.1. Biomassa mangrove

Biomassa mangrove dianalisis menggunakan persamaan allometrik yang telah dikembangkan oleh peneliti sebelumnya (**Tabel 1**). Persamaan allometrik yang dipilih pada masing – masing spesies merupakan persamaan dengan nilai koefisien korelasi (*r*) yang terbaik dari seluruh persamaan yang ditemukan dalam referensi.

**Tabel 1.** Model allometrik estimasi biomassa mangrove.

Spesies	Model	Sumber
<i>Bruguiera cylidrica</i>	$B = 0.168 (D)^{2.42}$	Komiyama <i>et al.</i> (2005)
<i>Bruguiera gymnorrhiza</i>	$B = 0.186 (D)^{2.31}$	Clough and Scout (1989)
<i>Rhizophora apiculata</i>	$B = 0.235(D)^{2.42}$	Ong <i>et al.</i> (2004)
<i>Rhizophora mucronata</i>	$B = 0.128(D)^{2.60}$	Fromard <i>et al.</i> (1998)
<i>Rhizophora stylosa</i>	$B = 0.158(D)^{2.59}$	Analuddin <i>et al.</i> (2020)
<i>Sonneratia alba</i>	$B = 0.299(D)^{2.30}$	Kusmana <i>et al.</i> (2018)

Keterangan: B = biomassa (kg); D = diameter at breast height (cm).

### 2.3.2. Stok karbon

Nilai stok karbon merupakan perkalian dari nilai biomassa mangrove terhadap fraksi karbon. Besarnya nilai fraksi karbon adalah 46,82% atau 0,4682 (Rahman *et al.* 2023). Perhitungan tersebut dapat dilihat pada **Persamaan 1** dan **Persamaan 2**.

$$S_{Ct} = B_t \times F \dots\dots\dots (1)$$

$$S_{Ch} = S_{Ct} \times K / 1000 \dots\dots\dots (2)$$

Keterangan:

$S_{Ct}$	= Stok karbon tegakan (kg C/tegakan)
$B_t$	= biomassa tegakan (kg/tegakan)
F	= Fraksi karbon (0,4682)
$S_{Ch}$	= Stok karbon per hektar (ton C/Ha)
K	= Kerapatan mangrove (tegakan/Ha)

### 2.3.3. Serapan karbon mangrove

Nilai serapan karbon mangrove merupakan nilai CO<sub>2</sub>-equivalen yang diperoleh melalui perbandingan massa antara CO<sub>2</sub> dan C terhadap stok karbon. Secara matematis, nilai serapan karbon (CO<sub>2</sub>-equivalen) dapat ditulis seperti pada

**Persamaan 3** berikut:

$$\text{CO}_2\text{-eq/ha} = \frac{\text{Ar C}}{\text{Mr CO}_2} \times \text{SCh} \dots\dots\dots(3)$$

Keterangan:

CO <sub>2</sub> -eq/ha	= Nilai serapan karbon dioksida per hektar (ton CO <sub>2</sub> -eq/ha)
Ar C	= Massa atom C (12 g/mol)
Mr CO <sub>2</sub>	= Massa relatif senyawa karbon dioksida (44 g/mol)
SCh	= Stok karbon per hektar (ton C/Ha)

## 3. HASIL DAN PEMBAHASAN

### 3.1. Kondisi ekosistem mangrove

Berdasarkan laporan Rahman *et al.* (2020<sup>c</sup>) didapatkan nilai kerapatan mangrove berkisar antara 621 hingga 879 tegakan/ha. Menurut kriteria Rahman *et al.* (2019), kerapatan tersebut tergolong rendah. Oleh karena itu, diperlukan upaya rehabilitasi mangrove dengan pendekatan kolaboratif *multistakeholder*, seperti pemerintah, masyarakat lokal, swasta dan lembaga non-pemerintah (LSM nirlaba). Dengan pendekatan tersebut, diharapkan kondisi mangrove dapat pulih sehingga berada pada kategori rapat atau sangat rapat.

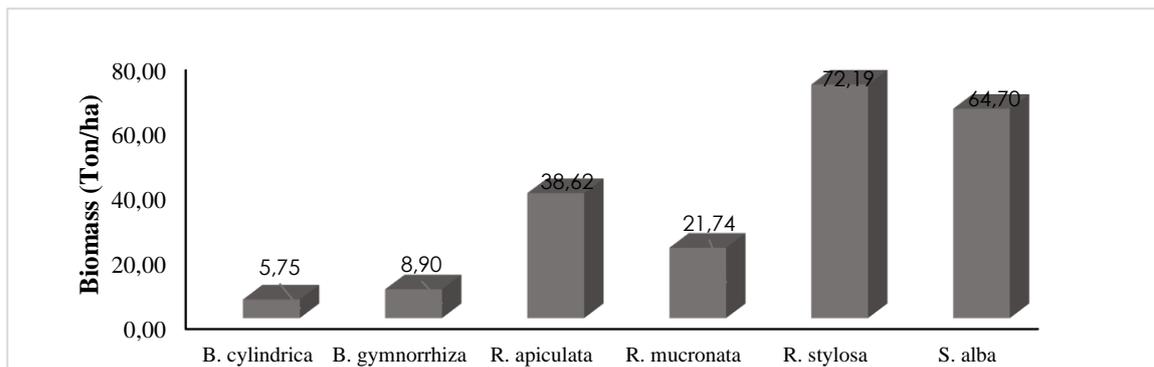
*R. stylosa* dan *S. alba* merupakan spesies dominan, sementara *X. granatum* dan *C. inophyllum* merupakan spesies dengan jumlah terendah. Total rata-rata kerapatan mangrove yaitu 750 tegakan/ha dan turun dibandingkan tahun 2014 yaitu 1605 tegakan/ha (Rahman *et al.* 2014). Perubahan terbesar terjadi pada spesies *B. gymnorrhiza* yaitu 256 tegakan/ha, sedangkan perubahan terkecil terjadi pada spesies *R. mucronata* yaitu 15 tegakan/ha yang disebabkan oleh aktivitas penebangan kayu dan alih fungsi lahan menjadi tambak, infrastruktur dan permukiman (Rahman *et al.* 2020<sup>a</sup>). Hasil analisis diameter pohon (DBH) pada masing-masing spesies mangrove menunjukkan bahwa *S. alba* (n = 871) memiliki DBH terbesar yaitu 20,46 ± 10,9 cm, sedangkan *B. cylindrica* (n = 213) memiliki DBH terendah yaitu 15,8 ± 1,8 cm (**Tabel 2**).

**Tabel 2.** Rata – rata diameter pohon beberapa spesies mangrove.

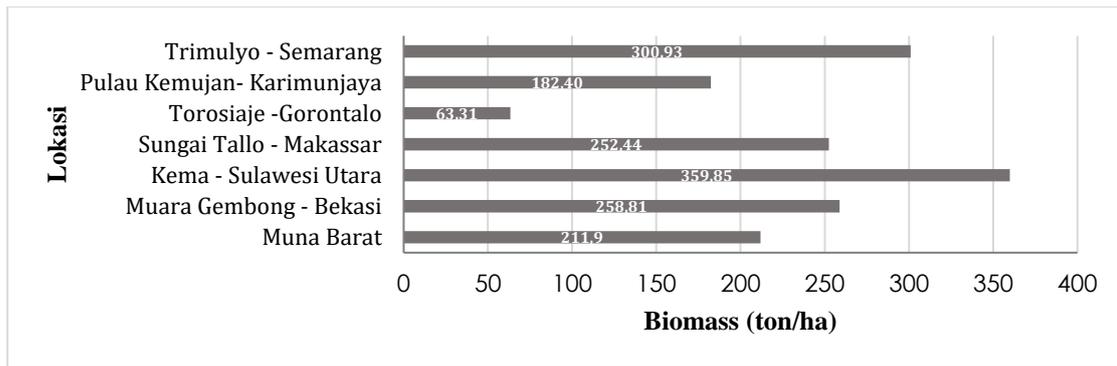
Spesies	Diameter (cm)	Maksimum	Minimum	Standard deviasi
<i>B. cylindrica</i>	15,8	21,4	10,3	1,8
<i>B. gymnorrhiza</i>	18,44	19,8	10,1	4,7
<i>R. apiculata</i>	19,38	23,1	10,6	3,4
<i>R. mucronata</i>	17,82	20,4	10,1	4,6
<i>R. stylosa</i>	19,62	43	10,9	6,8
<i>S. alba</i>	20,46	129,3	11,2	10,9

### 3.2. Biomassa mangrove

Total biomassa mangrove yang diperoleh sebesar 211,90 Ton/ha. Nilai tersebut merupakan akumulasi dari nilai biomassa pada setiap spesies mangrove. Spesies *R. stylosa* dan *S. alba* memiliki nilai biomassa terbesar yaitu masing-masing 72,19 Ton/ha dan 64,70 Ton/ha. Sedangkan *B. cylindrica* dan *B. gymnorrhiza* memiliki nilai biomassa terendah yaitu 5,75 Ton/ha dan 8,90 Ton/ha (**Gambar 2**).

**Gambar 2.** Nilai biomassa tegakan mangrove (Ton/ha) di pesisir Muna Barat.

Total biomassa tersebut lebih besar bila dibandingkan dengan penelitian yang dilakukan oleh Cahyaningrum *et al.* (2014) di Pulau Kemujan-Karimunjaya yaitu dengan total biomassa 182,40 Ton/ha dan laporan penelitian Rahim *et al.* (2018) pada ekosistem mangrove Torosaije – Gorontalo dengan total biomassa 63,31 Ton/ha. Namun demikian, total biomassa mangrove di pesisir Kabupaten Muna Barat lebih rendah bila dibandingkan dengan hasil penelitian Kepel *et al.* (2017), Kepel *et al.* (2021), Rahman *et al.* (2017), serta Rifandi dan Abdillah (2020) pada masing-masing ekosistem mangrove Kema – Sulawesi Utara (359,85 Ton/ha), Muara Gembong Bekasi (258,81 Ton/ha), Sungai Tallo – Makassar (252,44 Ton/ha), dan Trimulyo – Semarang (300,93 Ton/ha) (**Gambar 3**).



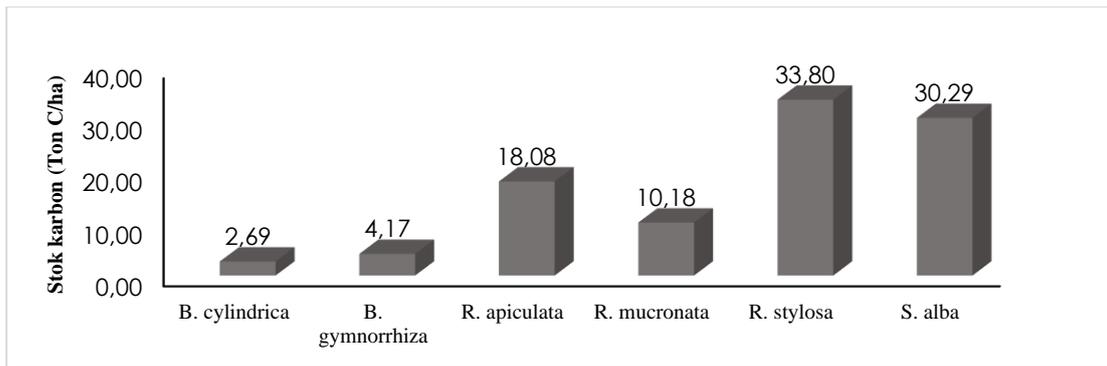
**Gambar 3.** Nilai biomassa mangrove pada berbagai lokasi di Indonesia.

Perbedaan nilai biomassa mangrove pada lokasi yang berbeda dapat disebabkan oleh struktur vegetasi mangrove yang meliputi kerapatan, diameter batang (DBH), keragaman spesies, ketinggian pohon dan luas tutupan mangrove (Rahman *et al.* 2017). Ekosistem mangrove dengan struktur vegetasi yang rapat dan nilai DBH yang besar akan memiliki nilai biomassa yang lebih besar. Sebaliknya, ekosistem mangrove yang memiliki struktur vegetasi yang jarang dan diameter batang kecil akan memiliki nilai biomassa yang rendah.

Ekosistem mangrove yang didominasi oleh spesies *R. stylosa* memiliki nilai biomassa yang lebih besar dibandingkan ekosistem mangrove yang didominasi oleh spesies lainnya. Hal tersebut karena *R. stylosa* memiliki kemampuan penyerapan karbon dioksida yang lebih baik melalui organ pernapasan pada akar. Organ pernapasan pada akar *R. stylosa* memungkinkan penyimpanan biomassa yang besar pada struktur akar sehingga tidak jarang ditemukan ukuran akar mangrove yang hampir menyerupai ukuran batangnya.

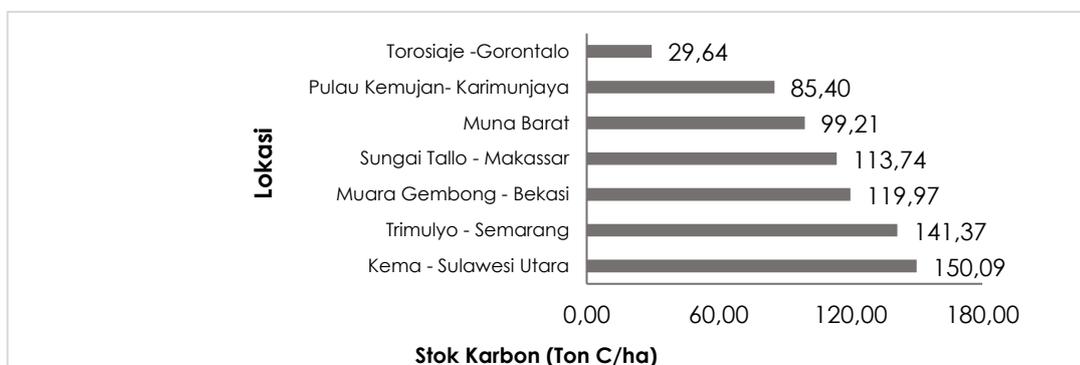
### 3.3. Stok karbon mangrove

Nilai stok karbon diperoleh dari nilai biomassa yang dikalikan dengan nilai fraksi karbon. Rahman *et al.* (2023) melaporkan bahwa nilai fraksi karbon mangrove yaitu 46,82%. Nilai tersebut diperoleh dari analisa kandungan karbon dalam komponen senyawa biomassa mangrove yang dilaporkan oleh Kristensen *et al.* (2008). Berdasarkan hasil analisa tersebut, maka didapatkan bahwa total stok karbon mangrove yang diperoleh sebesar 99,21 Ton C/ha yang merupakan total simpanan karbon pada tiap spesies mangrove. Spesies *R. stylosa* memiliki nilai stok karbon terbesar yaitu 33,80 Ton C/ha. Sedangkan *B. cylindrica* memiliki nilai stok karbon terendah yaitu 2,69 Ton C/ha (**Gambar 4**).



**Gambar 4.** Nilai stok karbon tegakan mangrove (Ton C/ha) di pesisir Muna Barat.

Total potensi karbon (stok C) tersebut lebih rendah bila dibandingkan dengan temuan Kepel *et al.* (2017), Rahman *et al.* (2017), serta Rifandi dan Abdillah (2020) pada masing-masing ekosistem mangrove yaitu Kema – Sulawesi Utara (150,09 Ton C/ha), Muara Gembong Bekasi (119,97 Ton C/ha), Sungai Tallo – Makassar (113,74 Ton C/ha), dan Trimulyo – Semarang (141,37 Ton C/ha). Namun, lebih besar bila dibandingkan dengan simpanan karbon mangrove di Pulau Kemujan – Karimunjaya yaitu sebesar 85,40 Ton C/ha (Cahyaningrum *et al.* 2014) dan stok karbon pada ekosistem mangrove di Torosaije-Gorontalo sebesar 29,64 Ton C/ha (Rahim *et al.* 2018) (**Gambar 5**).



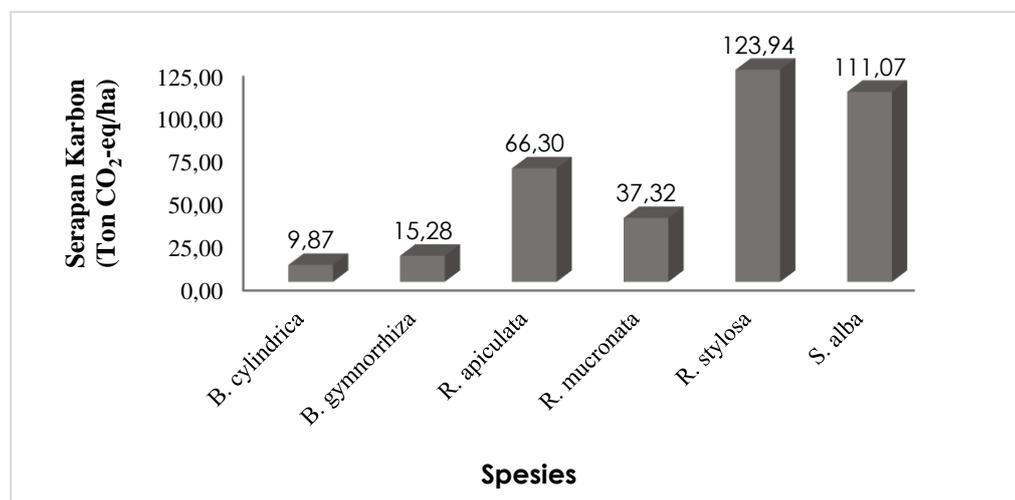
**Gambar 5.** Total stok karbon mangrove pada berbagai lokasi di Indonesia.

Perbedaan nilai stok karbon mangrove pada lokasi yang berbeda dapat disebabkan oleh struktur vegetasi mangrove yang meliputi kerapatan, diameter batang (DBH), keragaman spesies, ketinggian pohon dan luas tutupan mangrove (Rahman *et al.* 2017). Ekosistem mangrove dengan struktur vegetasi yang rapat dan nilai DBH yang besar akan memiliki nilai stok karbon yang lebih besar. Sebaliknya ekosistem mangrove yang memiliki struktur vegetasi yang jarang dan diameter batang kecil akan memiliki nilai stok karbon yang rendah.

Ekosistem mangrove yang didominasi oleh spesies *R. stylosa* memiliki nilai stok karbon yang lebih besar dibandingkan ekosistem mangrove yang didominasi oleh spesies lainnya. Hal tersebut karena *R. stylosa* memiliki kemampuan penyerapan karbon dioksida yang lebih baik melalui organ pernapasan pada akar. Organ pernapasan pada akar *R. stylosa* memungkinkan penyimpanan stok karbon yang besar pada struktur akar sehingga tidak jarang ditemukan ukuran akar mangrove yang hampir menyerupai ukuran batangnya.

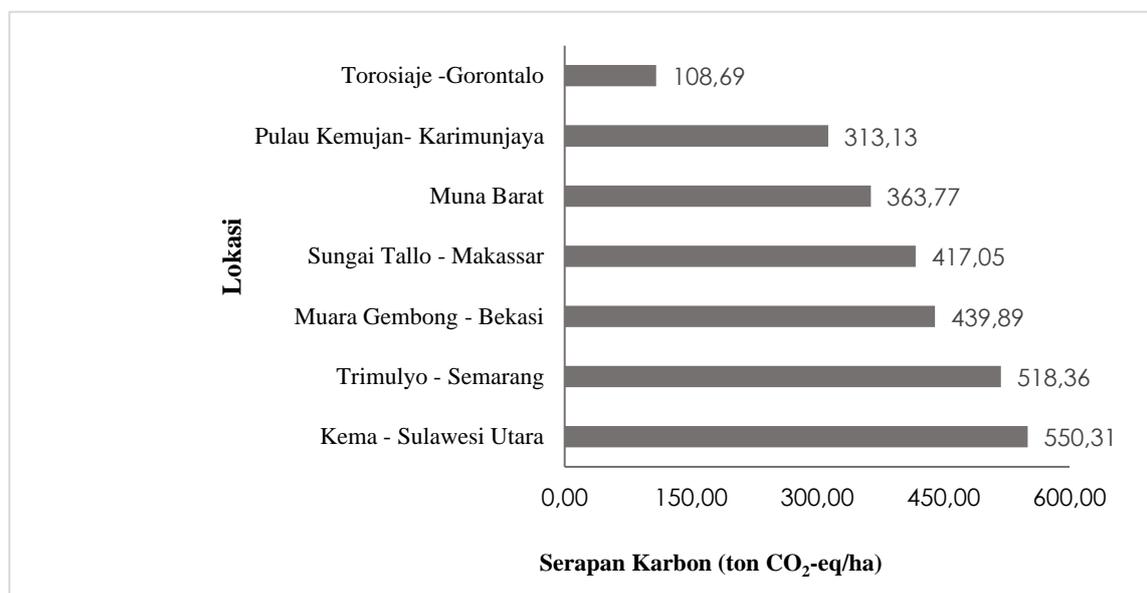
### 3.4. Serapan karbon mangrove

Penyerapan karbon merupakan ekuivalensi karbon dioksida (CO<sub>2</sub>-eq) yang diserap oleh mangrove dari atmosfer melalui proses fotosintesis. Penyerapan karbon juga menunjukkan kemampuan mangrove dalam mengurangi emisi gas karbon dioksida di atmosfer, sehingga dapat memitigasi terjadinya perubahan iklim. Total serapan karbon mangrove di Muna Barat adalah 363,78 Ton CO<sub>2</sub>-eq/ha. Nilai tersebut merupakan akumulasi dari penyerapan seluruh spesies mangrove. Spesies *R. stylosa* memiliki nilai serapan karbon terbesar yaitu 123,94 Ton CO<sub>2</sub>-eq/ha. Sedangkan *B. cylindrica* memiliki nilai serapan karbon terendah yaitu 9,87 Ton CO<sub>2</sub>-eq/ha (**Gambar 6**).



**Gambar 6.** Serapan karbon pada tiap spesies mangrove di pesisir Kabupaten Muna Barat.

Total serapan karbon tersebut lebih rendah bila dibandingkan dengan total serapan karbon yang ditemukan pada ekosistem mangrove Trimulyo – Semarang, Kema – Sulawesi Utara dan Muara Gembong – Bekasi dengan nilai serapan karbon mangrove masing-masing 518,36 Ton CO<sub>2</sub>-eq/ha, 550,31 Ton CO<sub>2</sub>-eq/ha dan 439,89 Ton CO<sub>2</sub>-eq/ha (Kepel *et al.* 2017; Kepel *et al.* 2021; Rifandi dan Abdillah 2020). Namun, total penyerapan karbon mangrove (CO<sub>2</sub>-eq/ha) di pesisir Muna Barat lebih besar dibandingkan yang terdapat di Pulau Kemujan – Karimunjaya dan Torosaije – Gorontalo dengan nilai CO<sub>2</sub>-eq tiap mangrove sebesar 313,13 Ton CO<sub>2</sub>-eq/ha dan 108,69 Ton CO<sub>2</sub>-eq/ha (Cahyaningrum *et al.* 2014; Rahim *et al.* 2018) (**Gambar 7**).



**Gambar 7.** Total serapan karbon mangrove pada beberapa lokasi di Indonesia.

Perbedaan nilai serapan karbon mangrove pada beberapa lokasi dapat disebabkan oleh struktur vegetasi mangrove. Ekosistem mangrove yang didominasi oleh jenis *Rhizophora* akan lebih baik dalam menyerap karbon dioksida dibandingkan jenis lainya seperti *Nypa fruticans*. Rahman *et al.* (2020<sup>d</sup>) melaporkan bahwa mangrove jenis *Nypa fruticans* dengan kerapatan hingga 4000 tegakan/ha hanya mampu menyerap karbon dioksida sebesar 80,02 Ton CO<sub>2</sub>-eq/ha. Nilai tersebut lebih rendah dari nilai serapan karbon dari spesies *R. stylosa* dan *S. alba* yaitu 123,94 Ton CO<sub>2</sub>-eq/ha dan 111,07 Ton CO<sub>2</sub>-eq/ha yang hanya memiliki kerapatan sebesar 205 dan 209 tegakan/ha. Hal tersebut karena spesies *N. fruticans* menyerap air lebih banyak hingga 61% dan hanya 39% nilai biomasnya (Rahman *et al.* 2017; Rahman *et al.* 2020<sup>d</sup>).

#### 4. KESIMPULAN

Total biomassa, stok dan serapan karbon mangrove di pesisir Kabupaten Muna Barat yaitu 211,9 Ton/ha, 99,21 Ton C/ha dan 363,77 Ton CO<sub>2</sub>-eq/ha. Spesies dengan kontribusi terbesar terhadap total biomassa, stok dan serapan karbon adalah spesies *R. stylosa*. Sedangkan spesies dengan kontribusi terendah terhadap total biomassa, stok dan serapan karbon mangrove adalah *B. cylindrica*. Perbedaan kemampuan simpanan karbon pada masing-masing spesies dipengaruhi oleh struktur komunitas mangrove yang meliputi kerapatan, diameter batang dan tipe perakaran. Mangrove dari jenis *Rhizophora* memiliki kemampuan serapan karbon yang baik. Selain itu, ia juga mampu beradaptasi dengan baik terhadap lingkungan, sehingga sangat baik untuk dikelola dan dibiakkan dalam upaya mitigasi perubahan iklim.

#### 5. DAFTAR PUSTAKA

- Adame MF, Santini NS, Tovilla C, Lule AV, Castro L and Guevara M. 2015. Carbon stock and soil sequestration rates of tropical riverine wetlands. *Biogeoscience* 12:3805-3818. <https://doi.org/10.5194/bg-12-3805-2015>
- Alongi DM. 2008. Mangrove forests: resilience, protection from tsunamis, and responses to global climate change. *Estuarine, Coastal and Shelf Science* 76:1-13. <https://doi.org/10.1016/j.ecss.2007.08.024>
- Alongi DM. 2014. Carbon cycling and storage in mangrove forests. *Annual Review of Marine Science* 6:195-219. <https://doi.org/10.1146/annurev-marine-010213-135020>
- Analuddin K, Kadidae L, Haya LMY, Septiana A, Sahidin I, Syahrir L, Rahim S, Fajar LA and Nadaoka K. 2020. Aboveground biomass, productivity and carbon sequestration in *Rhizophora stylosa* mangrove forest of Southeast Sulawesi, Indonesia. *Biodiversitas* 21(3):1316-1325. <https://doi.org/10.13057/biodiv/d210407>
- Cahyaningrum ST, Hartoko A dan Suryanti. 2014. Biomassa karbon mangrove pada kawasan mangrove Pulau Kemujan Taman Nasional Karimunjawa. *Diponegoro Journal of Maquares* 3(3):34-42. <https://doi.org/10.14710/marj.v3i3.5513>

- Clough BF and Scott K. 1989. Allometric relationships for estimating above-ground biomass in six mangrove species. *Forest Ecology and Management* 27:117-127. [https://doi.org/10.1016/0378-1127\(89\)90034-0](https://doi.org/10.1016/0378-1127(89)90034-0)
- Donato DC, Kauffman JB, Mackenzie RA, Ainsworth A and Pfleger AZ. 2012. Whole-island carbon stock in tropical pacific: Implications for mangrove conservation and upland restoration. *Journal of Environmental Management* 97:89-96. <https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2011.12.004>
- Fromard F, Puig H, Mougin E, Betoulle JL and Cadamuro L. 1998. Structure, above-ground biomass and dynamics of mangrove ecosystems: new data from French Guiana. *Oecologia* 115:39-53. <https://doi.org/10.1007/s004420050489>
- Ilman MP, Dargusch P, Dart P and Onrizal. 2016. A historical analysis of the drivers of loss and degradation of Indonesia's mangroves. *Land Use Policy* 54:448-459. <https://doi.org/10.1016/j.landusepol.2016.03.010>
- Kepel TL, Mbay LON, Nugraha RBA, Jayawiguna MH, Sudirman N dan Mangindaan P. 2021. Tekanan ekologi dan nilai moneter karbon biru ekosistem mangrove Muara Gembong, Teluk Jakarta. *Jurnal Kelautan Nasional* 16(2):135-144.
- Kepel TL, Suryono DD, Ati RNA, Salim HL dan Hutahean AA. 2017. Nilai penting dan estimasi nilai ekonomi simpanan karbon pada vegetasi mangrove di Kema, Sulawesi Utara. *Jurnal Kelautan Nasional* 12(1):19-26.
- Komiyama A, Pongpan S and Kato S. 2005. The common allometric equation for estimating the tree weight of mangroves. *Journal of Tropical Ecology* 21:471-477. <https://doi.org/10.1017/S0266467405002476>
- Kristensen E, Bouillon S, Dittmar T and Marchand C. 2008. Organic carbon dynamics in mangrove ecosystems: A review. *Annual Review of Aquatic Botany* 89:201-219. <https://doi.org/10.1016/j.aquabot.2007.12.005>
- Kusmana C, Hidayat T, Tiryana T, Rusdiana O and Istomo. 2018. Allometric models for above and below-ground biomass of *Sonneratia* spp. *Global Ecology and Conservation* 15:1-10. <https://doi.org/10.1016/j.gecco.2018.e00417>
- Nordhaus I, Wolff M and Diele K. 2006. Litter processing and food intake of the mangrove crab *Ucides cordatus* in a high intertidal forest in northern Brazil. *Estuarine, Coastal, and Shelf Science* 67(1-2):239-250. <https://doi.org/10.1016/j.ecss.2005.11.022>

- Ong JE, Gong WK and Wong CH. 2004. Allometry and partitioning of the mangrove *Rhizophora apiculata*. *Forest Ecology and Management* 188:395-408. <https://doi.org/10.1016/j.foreco.2003.08.002>
- Rahim S, Baderan DK dan Hamidun MS. 2018. Keanekaragaman spesies, biomassa dan stok karbon pada hutan mangrove Torosiaje Kabupaten Pohuwato-Provinsi Gorontalo. *Jurnal Pro-Life* 5(3):650-665.
- Rahman, Ceantury A, Tuahatu JW, Lokollo FF, Supusepa J, Hulopi M, Permatahati YI, Lewerissa A and Wardiatno Y. 2024. Mangrove ecosystem in Southeast Asia region: mangrove extent, blue carbon potential and CO<sub>2</sub> emission in 1996-2020. *Science of the Total Environment* 915(3):1-12. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2024.170052>
- Rahman, Efendi H and Rusmana I. 2017. Stock estimation and carbon absorption of mangrove in Tallo River, Makassar. *Journal of Forest Science* 11:19-28.
- Rahman, Maryono and Sigiyo ON. 2023. What is the true carbon value of mangrove biomass? *Malaysian Journal of Science* 42(1):67-72. <https://doi.org/10.22452/mjs.vol42no2.10>
- Rahman, Wardiatno Y, Yulianda F and Rusmana I. 2020<sup>a</sup>. Socio-ecological system of carbon-based mangrove ecosystem on the coast of West Muna Regency, Southeast Sulawesi, Indonesia. *AAFL Bioflux* 13(2):518-528.
- Rahman, Wardiatno Y, Yulianda F dan Rusmana I. 2020<sup>b</sup>. Sebaran spesies dan status kerapatan ekosistem mangrove di pesisir Kabupaten Muna Barat, Sulawesi Tenggara. *Jurnal Pengelolaan Sumberdaya Alam dan Lingkungan* 10(3):461-478.
- Rahman, Wardiatno Y, Yulianda F dan Rusmana I. 2020<sup>c</sup>. Produksi serasah musiman pada berbagai spesies mangrove di Pesisir Kabupaten Muna Barat, Sulawesi Tenggara. *Jurnal Ilmu Pertanian Indonesia* 25(3):325-335.
- Rahman, Wardiatno Y, Yulianda F, Rusmana I dan Ali M. 2020<sup>d</sup>. Metode pengukuran dan model pendugaan biomassa *Nypa fruticans* di Sungai Tallo, Makassar – Indonesia. *Jurnal Grouper* 11(1):25-30.
- Rahman, Yanuarita D and Nurdin N. 2014. Mangrove community structure in Muna Regency. *Torani* 24(2):29-36.

- Rahman, Yulianda F, Rusmana I and Wardiatno Y. 2019. Production ratio of seedlings and density status of mangrove ecosystem in coastal areas of Indonesia. *Advances in Environmental Biology* 13(6):13-20.
- Rifandi RA dan Abdillah RF. 2020. Estimasi stok karbon dan serapan karbon pada tegakan pohon mangrove di hutan mangrove Trimulyo, Genuk, Semarang. *Envoist Journal* 1(2):63-70. <https://doi.org/10.31331/envoist.v1i2.1475>

# Evaluasi pengelolaan limbah B3 cair proses produksi pada industri manufaktur di PT. Z, Kota Bandung

## *Evaluation of B3 liquid waste management in the manufacturing industry at PT. Z, Bandung City*

Ikhsan Rifqi Wiryawan<sup>1\*</sup>, Kancitra Pharmawati<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Program Studi Teknik Lingkungan, Institut Teknologi Nasional, Bandung, Indonesia

### **Abstrak.**

Pembuangan limbah bahan berbahaya dan beracun (B3) yang berasal dari tahapan produksi dapat menyebabkan efek negatif pada kesehatan manusia dan lingkungan. PT. Z merupakan salah satu industri manufaktur di Kota Bandung yang menghasilkan limbah B3 dari tahapan produksi. Keberadaan limbah B3 yang dihasilkan memerlukan pengelolaan yang baik agar tidak menimbulkan dampak negatif. Terdapat 3 jenis limbah yang dihasilkan yaitu *water coolant*, bahan kimia kadaluwarsa dan oli bekas yang dengan karakteristiknya perlu dikelola dengan baik. Penelitian memiliki tujuan untuk menilai tingkat kesesuaian pengelolaan limbah B3 pada PT. Z berdasarkan regulasi yang berlaku. Dalam penelitian digunakan metode pengumpulan berupa data primer dan sekunder, dengan pengolahan data menggunakan *scoring* skala Likert. Variabel penelitian meliputi pengurangan, pengemasan, pelabelan, pemberian simbol dan penyimpanan limbah B3. Ditemukan adanya ketidaksesuaian variabel pengemasan, pelabelan, serta pemberian simbol antara kondisi *eksisting* dengan regulasi. Hasil evaluasi menyatakan pengelolaan limbah B3 di PT. Z memperoleh skor sebesar 90,32% yang dikategorikan sebagai sangat baik.

Kata kunci: industri manufaktur, limbah B3, pengelolaan limbah B3, *scoring*, Likert

### **Abstract.**

*The disposal of hazardous and toxic waste (B3) originating from production processes can have negative effects on human health and the environment. PT. Z is a manufacturing industry that produces B3 waste as a result of its production activities. The presence of B3 waste requires proper management to avoid negative impacts. There are three types of waste produced: water coolant, expired chemicals, and used oil, each with characteristics that need to be well-managed. The research aims to assess the suitability level of hazardous and toxic waste management at PT. Z based on applicable regulations. In the research, data collection methods include both primary and secondary data, with data processing using Likert scale scoring. The research variables include the reduction, packaging, labeling and symbolizing, and storage of hazardous and toxic waste. It was found that there were discrepancies in the variables of packaging, labeling, and symbolizing between the existing conditions and the regulations. The evaluation results indicate that hazardous waste management at PT. Z achieved a score of 90.32%, which is categorized as very good.*

*Keywords: manufacturing industry, hazardous and toxic materials, B3 waste management, scoring, Likert*

## **1. PENDAHULUAN**

PT. Z merupakan salah satu industri bidang manufaktur yang memproduksi barang dari bahan baku melibatkan berbagai macam proses, operasi dan mesin. Dalam pertumbuhan kegiatannya, PT. Z juga membawa salah satu dampak yaitu meningkatnya limbah B3 yang dihasilkan (Supriyanto 2020). Dalam produksinya, PT. Z menghasilkan limbah B3, baik cair maupun padat yang perlu dikelola dengan baik.

---

\* Korespondensi Penulis  
Email : [ikhsanrfq@gmail.com](mailto:ikhsanrfq@gmail.com)

Salah satu limbah B3 utama berfasa cair yang dihasilkan adalah *water coolant* dengan kode limbah A345-1 kategori 1. Limbah B3 cair lainnya yaitu bahan kimia kadaluwarsa dengan kode limbah A323-3 kategori 1 dan oli bekas dengan kode limbah B105d kategori 2. *Water coolant* mengandung *etilen glikol* yang sifatnya beracun bagi spesies biologis apabila terpapar pada lingkungan (Gan *et al.* 2012).

Limbah B3 adalah sisa aktivitas yang memuat B3 dengan potensi membahayakan, merusak, mencemarkan lingkungan, serta kesehatan manusia, baik langsung maupun tidak langsung (Damanhuri 2010). Limbah B3 memiliki komposisi kimia atau sifat lain yang diperlukan pengelolaan untuk mencegah tercemarnya lingkungan, kematian hewan dan penyakit pada manusia (Meirinawati *et al.* 2018). Pengelolaan limbah B3 yang baik dapat menghindari kerusakan dan bahaya dari limbah B3 bagi lingkungan hidup (Exposto and Sujaya 2021). Menurut Taufan and Purwanto (2018), manajemen limbah B3 yang tidak tepat menyebabkan dampak domino pada masalah lingkungan.

Penelitian ini bertujuan untuk mengidentifikasi tingkat kesesuaian pengelolaan limbah B3 cair di antaranya pengurangan, pengemasan, pemberian simbol dan label, serta penyimpanan di PT. Z. Penelitian mengenai evaluasi pengelolaan limbah B3 ini telah dilakukan di Indonesia, seperti penelitian yang dilakukan oleh Fajriyah dan Wardhani (2020) dengan judul “Evaluasi Pengelolaan Limbah Bahan Berbahaya dan Beracun (B3) di PT. X”, yang merupakan industri tekstil.

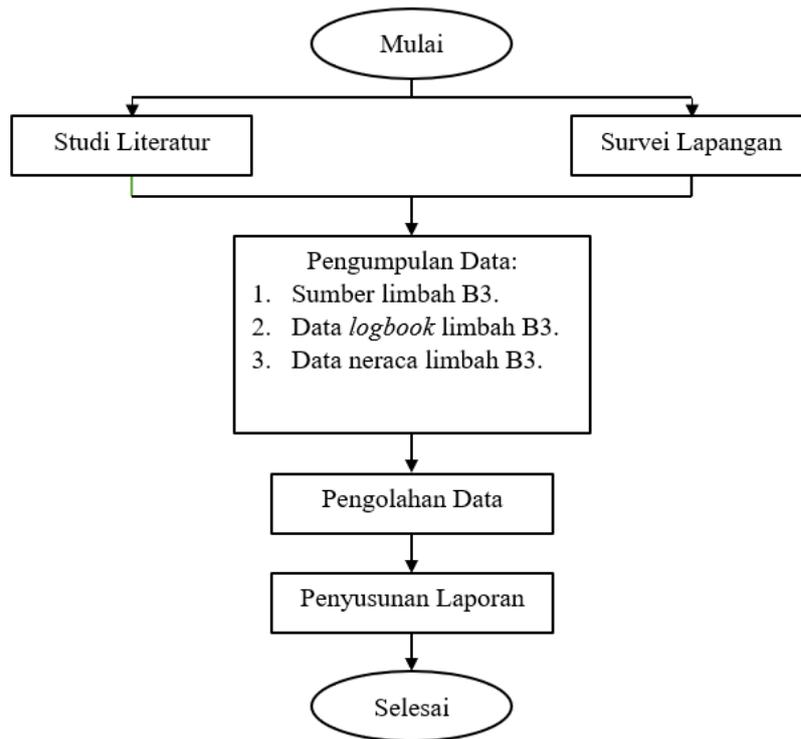
## **2. METODOLOGI**

### **2.1. Lokasi kajian dan waktu penelitian**

Penelitian dilakukan di PT. Z yang bergerak di bidang manufaktur dan berlokasi di Kota Bandung. Periode penelitian dilaksanakan pada bulan Juli sampai dengan Agustus tahun 2023.

### **2.2. Prosedur analisis data**

Prosedur analisis evaluasi pengelolaan limbah B3 adalah dengan melakukan studi literatur, survei lapangan, pengumpulan data, serta pengolahan data dan analisis data. Tahapan dalam melakukan penelitian disajikan oleh **Gambar 1**.



**Gambar 1.** Tahapan penelitian.

### 2.2.1. Studi literatur

Studi literatur merupakan pengkajian teori yang berkaitan dengan penelitian. Kajian teori tersebut digunakan sebagai acuan dalam menunjang analisis penelitian. Literatur yang dipakai bersumber dari jurnal, buku dan regulasi.

### 2.2.2. Survei lapangan

Survei lapangan pada lokasi penelitian bertujuan untuk melakukan observasi *eksisting* perusahaan sebagai dasar analisis terkait pengelolaan limbah B3.

### 2.2.3. Pengumpulan data

Data yang diperoleh diklasifikasikan menjadi dua kategori, yaitu data primer dan data sekunder. Data primer adalah data yang dikumpulkan secara langsung dari sumbernya. Metode untuk mengumpulkan data primer ini melalui observasi dan wawancara terkait pengelolaan limbah B3. Sedangkan data sekunder diperoleh melalui studi dokumen instansi terkait di antaranya adalah profil perusahaan, alur proses produksi, produk dan pengelolaan limbah B3 yang dihasilkan.

#### 2.2.4. Pengolahan dan analisis data

Data yang sudah diperoleh selanjutnya dilakukan identifikasi terhadap timbulan limbah B3, karakteristik limbah B3, serta evaluasi pengelolaan limbah B3 di PT. Z. Tahap evaluasi pengelolaan limbah B3 yaitu pengurangan, pengemasan, dan penyimpanan yang dibandingkan dengan acuan PerMenLHK Nomor 6 Tahun 2021 tentang Tata Cara dan Persyaratan Pengelolaan Limbah Bahan Berbahaya dan Beracun. Kemudian pemberian label dan simbol limbah B3 dibandingkan dengan acuan PerMenLH Nomor 14 Tahun 2013 tentang Simbol dan Label Limbah Berbahaya dan Beracun. Hasil perbandingan tersebut dilakukan *scoring* untuk menilai tingkat kesesuaian menggunakan Skala Likert (**Tabel 1**) dengan pengelompokan skor menjadi 3 skala penilaian, yaitu:

- a. Dapat dinyatakan sesuai, apabila keadaan *eksisting* sesuai dengan peraturan terkait dan diberi nilai 2 poin.
- b. Dapat dinyatakan kurang sesuai, apabila keadaan *eksisting* sesuai namun beberapa masih terdapat kekurangan dengan peraturan terkait dan diberi nilai 1 poin.
- c. Dapat dinyatakan tidak sesuai, apabila keadaan *eksisting* ditemukan ketidaksesuaian berdasarkan peraturan terkait dan dinilai 0 poin.

**Tabel 1.** Kategori Skala Likert.

Kesesuaian	Skor
Sesuai	2
Kurang sesuai	1
Tidak sesuai	0

Sumber: Sugiyono 2013.

Tingkat kesesuaian didapatkan dengan membandingkan penerapan dalam pengelolaan limbah B3 dengan peraturan terkait yang dihitung dengan **Persamaan 1**. Hasil persentase kesesuaian yang diperoleh dikategorikan berdasarkan kategori pencapaian yang ditunjukkan oleh **Tabel 2**.

$$\%Kesesuaian = \frac{\text{Skor penilaian kesesuaian PT. Z}}{\text{Skor maksimum kesesuaian}} \times 100\% \dots \dots \dots (1)$$

**Tabel 2.** Kategori pencapaian pengelolaan limbah B3.

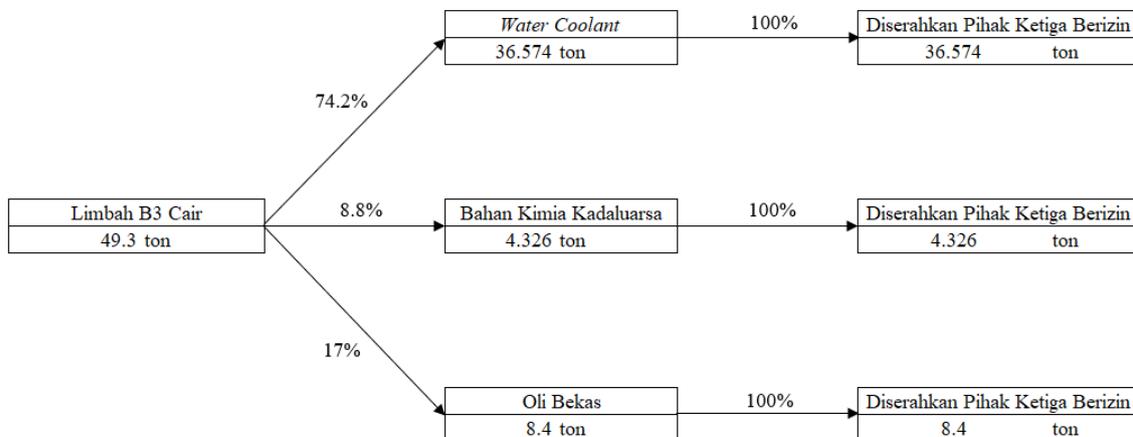
Nilai kesesuaian (%)	Kategori ketercapaian
0 – 20	Sangat buruk
21 – 40	Buruk
41 – 60	Cukup
61 – 80	Baik
81 – 100	Sangat baik

Sumber: Arikunto 2008.

### 3. HASIL DAN PEMBAHASAN

#### 3.1 Timbulan dan karakteristik limbah B3 cair di PT. Z

Terdapat 3 jenis limbah B3 cair seperti *water coolant*, bahan kimia kadaluwarsa dan oli bekas. Limbah B3 cair yang berasal dari proses produksi PT. Z sepenuhnya diserahkan kepada pihak ketiga yaitu PT. Y untuk diangkut, diolah dan dimanfaatkan menjadi substitusi bahan bakar. Berdasarkan neraca limbah tingkat kinerja pengelolaan PT. Z telah mencapai 100%, karena total limbah B3 yang dihasilkan nilainya sebanding jumlah limbah B3 yang terkelola. Berikut merupakan **Gambar 2** yang menunjukkan neraca pengelolaan limbah B3 periode Juni 2022 – Juli 2023.

**Gambar 2.** Neraca limbah B3 cair 2022 – 2023.

Uji karakteristik tidak dilakukan oleh PT. Z dikarenakan limbah B3 sudah diketahui karakteristik dan jenisnya. Karakteristik dan jenis limbah B3 cair disajikan oleh **Tabel 3**. Limbah B3 memiliki karakteristik yang beragam, sehingga dalam penilaian pengelolaan limbah B3 diperlukan peraturan untuk keamanan lingkungan (Li *et al.* 2018).

**Tabel 3.** Karakteristik dan jenis limbah B3 cair PT. Z.

No	Jenis limbah B3 cair	Kode limbah	Karakteristik	Kategori bahaya
1	<i>Water coolant</i>	A345-1	Beracun	1
2	Bahan kimia kadaluwarsa	A323-3	Beracun	1
3	Oli bekas	B105d	Mudah menyala	2

Keterangan: 1 = memiliki efek langsung yang akut pada manusia dan menimbulkan dampak negatif pada lingkungan; 2 = memiliki efek tunda berdampak tidak langsung pada manusia serta lingkungan (PP Nomor 22 Tahun 2021).

### 3.2 Pengurangan limbah B3

Upaya pengurangan limbah B3 cair oleh PT. Z pada saat ini adalah hanya dengan mengganti jenis *coolant* yang sebelumnya berjenis *Energol GR-XP 220 Castrol* menjadi *Eco Coolant 600 NBF C Funchs*. Penggantian tersebut merupakan substitusi bahan yang lebih efisien, dikarenakan penggunaan *coolant* mengalami penurunan yang signifikan. Penurunan tersebut terjadi pada tahun 2021 yang memiliki persentase pemakaian *coolant* sebesar 25% dari tahun sebelumnya dengan persentase pemakaian *coolant* sebesar 75%. Pemotongan *alloy* menggunakan kecepatan tinggi yang umumnya menghasilkan suhu tinggi, tetapi dengan penggunaan *Eco Coolant 600 NBF C Funchs* menghasilkan suhu yang lebih rendah (Singh *et al.* 2018).

PT. Z telah melakukan *resource recovery* pada limbah *water coolant* yang dihasilkannya yaitu sebagai bahan campuran dalam substitusi bahan bakar dengan bantuan pihak ketiga sebagai pengolah limbah yang dihasilkan oleh PT. Z. *Water coolant* dapat digunakan sebagai bahan campuran substitusi bahan bakar emulsi air dalam diesel (W/D) dengan proses pengolahan meliputi pemisahan dan pemurnian terlebih dahulu (Yahaya *et al.* 2014). Berdasarkan hasil penilaian kriteria pengurangan PerMenLHK Nomor 6 Tahun 2021, PT. Z memiliki nilai kesesuaian sebesar 5 dari 6 poin. Nilai tersebut diolah menggunakan **Persamaan 1** sehingga didapat % kesesuaian pengurangan limbah B3 sebesar 83,33% yang termasuk kategori sangat baik.

### 3.3 Pengemasan limbah B3

Pengemasan limbah B3 menyesuaikan berdasarkan karakteristiknya, dikarenakan bahan kemasan yang digunakan memiliki syarat yaitu limbah B3 yang disimpan tidak bereaksi dengan kemasannya (Utami dan Syafrudin 2018). Kemasan limbah B3 PT. Z adalah drum berukuran 200 liter dengan bahan dasar logam. Drum logam biasanya digunakan untuk menyimpan limbah dengan fasa cair dan cocok dengan karakteristik korosif (Tarigan dan Amalia 2022).

Dalam pengemasan limbah B3 di PT. Z, setiap divisi yang menghasilkan limbah B3 bertanggung jawab atas pengemasannya. Kemasan tersebut diberi simbol dan label sesuai karakteristiknya untuk menghindari tercampurnya limbah B3 dengan karakteristik berbeda. Pada saat pengemasan limbah B3, volume drum disisakan sebesar 10% sebagai antisipasi pengembangan volume dan kenaikan tekanan. Kemasan yang telah diisi dengan limbah B3 selanjutnya ditutup rapat dan diberi plastik *wrap* untuk memastikan tertutup rapat serta menghindari limbah berceceran. Drum yang digunakan dalam kondisi tidak bocor, tidak rusak, namun beberapa di antaranya terdapat kerusakan berupa penyok dan berkarat. Kontak manusia dapat diminimalkan dengan pewadahan tertutup. Menurut Pertiwi (2017) dengan menggunakan kemasan tertutup dapat mengurangi kontak manusia dengan mikroba dan bau.

Berdasarkan hasil penilaian kriteria pengemasan PerMenLHK Nomor 6 Tahun 2021, PT. Z memiliki nilai kesesuaian sebesar 15 dari 16 poin. Nilai tersebut diolah menggunakan **Persamaan 1**, sehingga didapat % kesesuaian pengemasan limbah B3 sebesar 93,75% yang termasuk kategori sangat baik.

### 3.4 Pemberian simbol dan label limbah B3

Pelabelan dan pemberian simbol sangat penting dalam pengelolaan limbah B3. Pelabelan dan pemberian simbol memiliki fungsi dalam memberi informasi peringatan, agar berhati-hati dalam penanganan dan mengetahui bahaya dari limbah B3 tersebut. Simbol dan label diberikan pada setiap drum sesuai dengan karakteristik limbahnya. Simbol dan label tersebut jelas dan posisinya tidak terhalang oleh kemasan lain.

Hasil evaluasi menunjukkan di PT. Z terdapat simbol dan label yang terhalang oleh kemasan limbah B3 lain serta penempatannya tidak sesuai dengan peraturan. Berdasarkan hasil penilaian kriteria pengurangan PerMenLH Nomor 14 Tahun 2013, PT. Z memiliki nilai kesesuaian sebesar 32 dari 38 poin. Nilai tersebut diolah menggunakan **Persamaan 1**, sehingga didapat % kesesuaian pemberian simbol dan label limbah B3 sebesar 84,21% yang termasuk kategori sangat baik.

### 3.5 Penyimpanan limbah B3

Penyimpanan drum limbah B3 wajib disimpan sesuai dengan jenisnya dan tidak tercampur antara karakteristik 1 dengan karakteristik lainnya. Lokasi penyimpanan limbah B3 harus bebas hujan, banjir, sinar matahari, atau bencana alam (Nurhidayanti dan Arinih 2019). TPS pusat limbah B3 di PT. Z memiliki saluran drainase dan pepohonan di sekitar bangunan, yang tidak memungkinkan terjadinya banjir. TPS terhindar dari sinar matahari dikarenakan memiliki atap yang menutupi bangunan. Bangunan tersebut berbahan dasar beton dan dilengkapi dengan ventilasi berupa kasa dan jendela. Lokasi TPS pusat berada di bagian belakang perusahaan, karena lokasi dinilai minim dari segi kerawanan bencana alam dan jauh dari bangunan yang peruntukannya digunakan pada proses produksi.

Penyimpanan dilakukan di TPS pusat limbah B3 dengan durasi penyimpanan maksimal selama 90 hari sebelum dilakukan pengangkutan oleh pihak ketiga. Teknis penyimpanan pada TPS PT. Z tidak dilakukan penumpukan drum, namun ditempatkan pada palet. Setiap palet terdiri dari 3 hingga 4 drum yang ditempatkan pada blok sesuai dengan karakteristiknya. Untuk mencegah dan menanggulangi kondisi tidak aman, TPS memiliki fasilitas penunjang seperti APD, SOP, penampung tumpahan, APAR, P3K, telepon, *eye washer*, *emergency shower* dan pintu darurat. Berdasarkan hasil penilaian kriteria penyimpanan pada PerMenLHK Nomor 6 Tahun 2021, PT. Z memiliki nilai kesesuaian sebesar 58 dari 58 poin. Nilai tersebut diolah menggunakan **Persamaan 1**, sehingga didapat % kesesuaian penyimpanan limbah B3 sebesar 100% yang termasuk kategori sangat baik.

Berdasarkan hasil *scoring* (**Tabel 4**), pengelolaan limbah B3 oleh PT. Z memiliki skor rata-rata sebesar 90,32% yang termasuk kategori sangat baik dalam melakukan pengelolaan limbah B3 yang dihasilkannya. Pengelolaan limbah adalah komponen penting dalam kemampuan suatu usaha atau industri untuk mempertahankan akreditasi lingkungan (Godswill *et al.* 2023). Jika dikelola dengan baik, limbah B3 dapat menjadi sumber manfaat ekonomi bagi perusahaan dan negara (Nwankwo *et al.* 2020).

**Tabel 4.** Rekapitulasi evaluasi pengelolaan limbah B3 di PT. Z.

No	Tahapan pengelolaan limbah B3	Peraturan terkait	Kesesuaian (%)	Kategori ketercapaian
1	Pengurangan limbah B3	PerMen LHK Nomor 6 Tahun 2021	83,33	Sangat baik
2	Pengemasan limbah B3	PerMen LHK Nomor 6 Tahun 2021	93,75	Sangat baik
3	Pemberian simbol dan label limbah B3	PerMen LH Nomor 14 Tahun 2013	84,21	Sangat baik
4	Penyimpanan limbah B3	PerMen LHK Nomor 6 Tahun 2021	100	Sangat baik
<b>Jumlah</b>			<b>361,29</b>	
<b>Rata-rata</b>			<b>90,32</b>	

#### 4. KESIMPULAN DAN SARAN

Pengelolaan limbah B3 di PT. Z meliputi pengurangan, pengemasan, pelabelan dan pemberian simbol, serta penyimpanan. Berdasarkan hasil *scoring* pengelolaan limbah B3 di PT. Z, perolehan nilai evaluasi sebesar 90,32% dengan kategori sangat baik. Terdapat beberapa ketidaksesuaian pada 4 (empat) aspek yang dievaluasi. Upaya pengelolaan limbah B3 yang harus ditingkatkan yaitu pada proses pengurangan, pengemasan, serta pemberian simbol dan label limbah B3.

#### 5. UCAPAN TERIMA KASIH

Terima kasih kepada PT. Z sebagai industri manufaktur yang telah mengizinkan penulis dalam melakukan penelitian evaluasi pengelolaan limbah B3.

#### 6. DAFTAR PUSTAKA

- Arikunto S. 2008. *Prosedur penelitian suatu pendekatan praktik*. Rineka Karya. Jakarta.
- Damanhuri E. 2010. *Diktat pengelolaan bahan berbahaya dan beracun (B3)*. Institut Teknologi Bandung. Bandung.
- Exposto LAS and Sujaya IN. 2021. The impacts of hazardous and toxic waste management: A systematic review. *Interdisciplinary Social Studies* 1(2):103-123. <https://doi.org/10.55324/iss.v1i2.20>
- Fajriyah SA dan Wardhani E. 2020. Evaluasi pengelolaan limbah bahan berbahaya dan beracun (B3) di PT. X. *Jurnal Serambi Engineering* 5(1):711-719. <https://doi.org/10.32672/jse.v5i1.1597>
- Gan YX, Gan BJ, Clark E, Su L and Zhang L. 2012. Converting environmentally hazardous materials into clean energy using a novel nanostructured photoelectrochemical

- fuel cell. *Materials Research Bulletin* 47(9):2380-2388. <https://doi.org/10.1016/j.materresbull.2012.05.049>
- Godswill AC, Gospel AC, Otuosorochi AI and Somtochukwu IV. 2023. Industrial and community waste management: global perspective. *American Journal of Physical Sciences* 1(1):1-16. <https://doi.org/10.47604/ajps.1043>
- Li M, Xu J and Li B. 2018. Analysis of development of hazardous waste disposal technology in China. *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science* 178(1):1-7. <https://doi.org/10.1088/1755-1315/178/1/012027>
- Meirinawati M, Fanida EH and Prabawati I. 2018. Strategy management of hazardous and toxic waste processing by PT Artama Sentosa Indonesia (study of transporting and collecting hazardous and toxic waste). In 1<sup>st</sup> International Conference on Social Sciences (ICSS 2018) 226(1):181-186.
- Nurhidayanti N dan Arinih C. 2019. Pengelolaan limbah B3 PT YTK Indonesia. *Pelita Teknologi* 14(2):93-102. <https://doi.org/10.37366/pelitatekno.v14i2.234>
- Nwankwo CN, E Gobo A, Israel-Cookey C, and A Abere S. 2020. Effects of hazardous waste discharge from the activities of oil and gas companies in Nigeria. *Central Asian Journal of Environmental Science and Technology Innovation* 1(2):119-129.
- PerMenLH (Peraturan Menteri Lingkungan Hidup) Nomor 14 Tahun 2013 tentang simbol dan label limbah B3.
- PerMenLHK (Peraturan Menteri Lingkungan Hidup dan Kehutanan) Nomor 6 Tahun 2021 tentang tata cara dan persyaratan pengelolaan limbah berbahaya dan beracun.
- Pertiwi V. 2017. Evaluasi pengelolaan limbah bahan berbahaya dan beracun (B3) di Rumah Sakit Roemani Muhammadiyah Semarang. *Jurnal Kesehatan Masyarakat* 5(3):420-430. <https://doi.org/10.14710/jkm.v5i3.17260>
- PP (Peraturan Pemerintah) Republik Indonesia Nomor 22 Tahun 2021 tentang penyelenggaraan perlindungan dan pengelolaan lingkungan hidup.
- Singh T, Dureja JS, Dogra M and Bhatti MS. 2018. Environment friendly machining of Inconel 625 under nano-fluid minimum quantity lubrication (NMQL). *International Journal of Precision Engineering and Manufacturing* 19:1689-1697.

- Sugiyono. 2013. Metode penelitian kuantitatif, kualitatif dan R&D. Alfabeta CV. Bandung.
- Supriyanto E. 2020. Manufaktur dalam dunia teknik industri. *Jurnal Industri Elektro dan Penerbangan* 3(3):1-4.
- Tarigan EM dan Amalia A. 2022. Penyimpanan limbah bahan berbahaya dan beracun B3 (studi kasus pengolahan, penampungan, penjernihan dan distribusi air bersih CV X). *Indonesian Journal of Applied Science and Technology* 3(2):57-66.
- Taufan HS and Purwanto P. 2018. The management of toxic and hazardous waste materials in the food industry. *E3S Web of Conferences* 73(1):1-5. <https://doi.org/10.1051/e3sconf/20187307020>
- Utami KT dan Syafrudin S. 2018. Pengelolaan limbah bahan berbahaya dan beracun (B3) studi kasus PT. Holcim Indonesia, Tbk Narogong Plant. *Jurnal Presipitasi: Media Komunikasi dan Pengembangan Teknik Lingkungan* 15(2):127-132.
- Yahaya KM, Abdul Karim ZA, Hagos FY, Aziz ARA and Tan IM. 2014. Current trends in water-in-diesel emulsion as a fuel. *The Scientific World Journal* 2014(1):1-15. <https://doi.org/10.1155/2014/527472>

## Efektivitas sampah organik sebagai adsorben logam kromium (Cr) dalam limbah cair industri tekstil: sistematika reviu

### *Effectiveness of organic waste as an adsorbent for chromium metal (Cr) in textile industry wastewater: systematic review*

Diva Bilqiis Rihhadatul 'Aisy<sup>1\*</sup>

<sup>1</sup>Fakultas Pendidikan Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam, Universitas Pendidikan Indonesia, Bandung, Indonesia

#### **Abstrak.**

Pengolahan produk dari berbagai industri tidak luput dari produk samping berupa limbah cair yang dapat mengandung logam berat dan menimbulkan masalah pencemaran lingkungan. Logam kromium (Cr) merupakan salah satu logam pencemar dengan sifat sulit terurai, toksik, persisten dan bioakumulatif. Karbon aktif sebagai adsorben yang diperoleh dari sampah organik merupakan salah satu cara untuk mengurangi logam berat yang terkandung dalam limbah cair. Penelitian ini bertujuan untuk meninjau karbon aktif pada sampah organik tempurung kelapa, ampas tebu, tongkol jagung, sekam padi, tempurung kemiri, kulit salak, cangkang buah karet, kulit pisang, kulit durian dan polong akasia dengan efektivitas tertinggi sebagai adsorben untuk mengurangi kandungan logam berat dalam air limbah. Metode yang digunakan melalui penelusuran pustaka jurnal dan artikel penelitian pada 21 tahun terakhir dalam bahasa Indonesia maupun bahasa Inggris dengan menggunakan kata kunci karbon aktif, adsorben dan logam berat Cr melalui *Google Scholar* dan *Science Direct*. Diperoleh 160 artikel relevan dengan penelitian ini dan diperoleh 10 artikel untuk membantu dalam tahap pembahasan. Hasil penelitian literatur dengan beberapa artikel menunjukkan bahwa karbon aktif pada limbah organik tempurung kelapa sebagai adsorben mempunyai pengaruh yang besar dan mampu menurunkan konsentrasi logam berat kromium (Cr) dalam 500 ml air limbah tekstil sebesar 73,52%.

Kata kunci: adsorben, logam berat, karbon aktif, kromium (Cr), sampah organik

#### **Abstract.**

*Product processing from industries is not spared from by-products in the form of wastewater that can contain heavy metals and cause environmental pollution. Chromium (Cr) metal as one of the polluting with difficult-to-decompose, toxic, persistent and bioaccumulative. Activated carbon as an adsorbent obtained from organic waste is one way to reduce heavy metals in wastewater. This study aims to reviewing activated carbon in organic waste such as coconut shells, bagasse, corn cobs, rice husks, pecan shells, salak shells, rubber fruit shells, banana peels, durian peels and acacia pods with the highest effectiveness as adsorbents to reduce of Cr in wastewater. The method was used through searching the literature of journals and research articles in the last 21 years in Indonesian and English using the keywords activated carbon, adsorbents and heavy metals Cr through *Google Scholar* and *Science Direct*. 160 articles were obtained relevant to this study and 10 articles were obtained to in the discussion. The results of literature research show that activated carbon in coconut shell organic waste as an adsorbent has a great influence and is able to reduce the concentration of heavy metal chromium (Cr) in 500 ml of textile wastewater by 73.52%.*

*Keywords: adsorbent, heavy metal, activated carbon, chromium (Cr), organic waste*

## **1. PENDAHULUAN**

Pengolahan produk dari berbagai macam industri tidak luput dari hasil samping berupa limbah cair hasil pengolahan yang cenderung mengandung logam berat. Limbah cair industri merupakan suatu bahan yang dihasilkan dari proses atau sisa kegiatan yang berbentuk cair, keberadaannya di lingkungan tidak diinginkan karena

---

\* Korespondensi Penulis  
Email : [divabilqiis@upi.edu](mailto:divabilqiis@upi.edu)

tidak memiliki nilai ekonomi sehingga cenderung untuk dibuang (Asmadi *et al.* 2011; Asmadi dan Suharno 2012).

Logam berat merupakan polutan dalam larutan yang keberadaannya menimbulkan risiko tinggi terhadap lingkungan dan manusia karena beracun dan mudah terakumulasi pada rantai makanan (Li *et al.* 2018). Berat jenis dari logam berat (metaloid) umumnya melebihi  $6 \text{ g/cm}^3$  (Liu *et al.* 2015). Logam berat yang banyak terdapat dalam limbah cair industri antara lain kromium (Cr), arsenik (As), kadmium (Cd), zink (Zn), tembaga (Cu), raksa (Hg), nikel (Ni) dan timbal (Pb). Menurut *Environment Protection Agency* (EPA) di antara logam berat yang terdapat dalam air limbah industri, logam berat dengan tingkat toksisitas tinggi adalah arsenik (As), timbal (Pb), kadmium (Cd), raksa (Hg) dan kromium (Cr) (Sudarmaji *et al.* 2006).

Kromium (Cr) adalah logam berat yang memiliki sifat toksik, sulit terurai, persisten dan bioakumulatif (Widowati *et al.* 2008). Terpapar logam kromium dengan dosis yang tinggi dapat menyebabkan iritasi mata, kulit hidung dan paru-paru serta dapat menimbulkan kanker paru-paru dan alat pencernaan (O'Connell *et al.* 2008). Logam berat kromium (Cr) terutama terdapat pada air limbah industri tekstil. Logam kromium digunakan pada industri tekstil dalam proses pewarnaan dan pencelupan. Logam kromium (Cr) yang terdapat pada zat pewarna tekstil dapat mengikat zat warna, sehingga menghasilkan kain dengan warna yang lebih mencolok. Adanya logam kromium dalam pewarna akan menghasilkan limbah kromium (Cr) dari proses pembilasan kain yang dibuang dan bercampur dengan air limbah (Apriyani 2018).

Ada berbagai metode untuk menghilangkan ion logam berat kromium (Cr) dari limbah industri antara lain pemisahan dengan membran, teknik koagulasi, pertukaran ion dan adsorpsi secara fisik. Di antara semua metode tersebut, adsorpsi adalah metode yang paling umum digunakan karena biaya operasionalnya yang rendah serta prosesnya yang efisien (Wang *et al.* 2019). Pada metode adsorpsi reduksi logam berat, polutan atau metaloid dipindahkan dari larutan ke permukaan luar adsorben, partikel polutan akan teradsorpsi ke dalam pori-pori aktif adsorben. Terdapat beberapa pengaruh pada saat proses adsorpsi logam, seperti konsentrasi logam, ukuran partikel, pH, serta konsentrasi ligan dan ion-ion lain dalam larutan (Ahmad *et al.* 2015).

Salah satu adsorben logam berat dapat berasal dari karbon aktif. Karbon aktif diperoleh dengan memanaskan bahan yang mengandung karbon pada suhu tinggi (Ali

*et al.* 2020). Karbon aktif mempunyai sifat penyerapan yang baik karena luas permukaannya yang besar dengan struktur pori internal (Herlandien 2013). Karbon aktif dapat diperoleh dengan memanfaatkan limbah organik seperti tempurung kelapa (Moelyaningrum dan Ellyke 2022), tongkol jagung (Rokhati *et al.* 2023), ampas tebu (Tasanif *et al.* 2020), sekam padi (Sobhanardakani *et al.* 2013), tempurung kemiri (Nasruddin *et al.* 2017), kulit salak (Utama *et al.* 2016), cangkang buah karet (Zulfadhli 2017), kulit pisang (Shafirinia *et al.* 2016), kulit durian (Herlina *et al.* 2023) dan polong akasia (Dewi *et al.* 2018).

Pada tempurung kelapa (*Cocos nucifera*), diperoleh karbon aktif yang memiliki luas permukaan penyerapan sekitar (500 m<sup>2</sup>/g). Hal ini memungkinkan karbon aktif yang terdapat pada tempurung kelapa dapat mengikat dan mereduksi kandungan logam kromium pada air limbah melalui kombinasi reaksi fisika dan kimia yang kompleks (Lasindrang 2014). Karbon aktif pada tongkol jagung (*Zea mays*) diperoleh dari selulosa. Tongkol jagung diketahui mengandung selulosa 40-44%, hemiselulosa 31-33%, lignin 31-33% serta abu sekitar 3-5%. Kandungan selulosa yang tinggi menjadi salah satu potensi pemanfaatan tongkol jagung sebagai adsorben (Widowati *et al.* 2008). Semakin besar luas permukaan penyerapan, semakin besar pula massa tongkol jagung yang ditambahkan (Guiza 2017).

Ampas tebu (*Saccharum officinarum L.*) mengandung selulosa dan juga dapat digunakan sebagai bahan karbon aktif (Asbahani 2013). Ampas tebu terutama mengandung ligno-cellulose. Ampas tebu mengandung sekitar 45% selulosa, sekitar 48 - 52% air atau kelembaban, rata-rata 3,3% gula dan rata-rata 47,7% serat (Santosa *et al.* 2003). Fraksi selulosa ini dapat digunakan sebagai adsorben logam berat dengan kemampuan yang baik dalam mengikat ion logam berat (Kaur *et al.* 2008). Karbon aktif pada sekam padi (*Oriza sativa L.*) diperoleh dari selulosa. Dalam sekam padi terdapat 20% lignin, 25% hemiselulosa, dan 35% selulosa. Selain itu, terdapat 3% protein kasar dan 17% silika. Konsentrasi selulosa yang tinggi pada sekam padi dapat digunakan sebagai salah satu adsorben untuk menghilangkan logam berat (Dadhich *et al.* 2004).

Tempurung kemiri (*Aleurites moluccana*) memiliki struktur pori. Porositas ini memberikan luas permukaan yang besar, yang sangat penting untuk menyerap dan menyaring zat-zat kimia dari lingkungan. Proses aktivasi tempurung kemiri dengan panas tinggi dapat meningkatkan porositasnya, menjadikannya efektif sebagai karbon

aktif untuk adsorpsi berbagai senyawa organik dan kimia (Nasruddin *et al.* 2017). Karbon aktif pada kulit buah salak (*Salacca zalacca*) diperoleh dari selulosa (Utama *et al.* 2016). Kandungan selulosa pada kulit buah salak sebesar 25,8483% (Nugroho 2020). Kulit buah salak dapat dimanfaatkan sebagai adsorben logam berat karena kandungan selulosanya yang tinggi. Cangkang salak mengandung selulosa dan karena adanya gugus OH pada struktur kimia selulosa, maka dapat berperan sebagai adsorben dan berikatan dengan adsorbat (Shinta dan Indah 2012). Adanya gugus OH pada selulosa menyebabkan adsorben dari kulit buah salak ini mempunyai sifat polar, sehingga dapat mengadsorpsi zat polar seperti logam (Indah dan Joko 2013).

Kulit buah karet (*Hevea brasiliensis*) dapat dijadikan karbon aktif karena mempunyai struktur pori dan luas permukaan yang relatif besar. Pori-pori ini memungkinkan karbon aktif untuk menyerap dan menyaring berbagai zat kimia, gas, dan partikel dari lingkungan sekitarnya. Sifat ini membuat cangkang buah karet efektif dalam berbagai aplikasi, seperti penyaringan air dan udara (Zulfadhli 2017). Karbon aktif dalam kulit pisang (*Musa paradisiaca*) diperoleh dari selulosa dan galakturonat. Selulosa dapat bertindak sebagai pengikat logam berat dan asam galakturonat sebagai zat yang memastikan kulit pisang mengikat ion logam dengan kuat sebagai fungsi dari gula karboksil (Shafirinia *et al.* 2016).

Kulit durian (*Durio zibethinus* L.) dapat dijadikan karbon aktif karena mengandung komponen yang dapat menyerap logam berat seperti bahan selulosa organik dengan gugus hidroksil, gugus amina dan gugus karbonil (Herlina *et al.* 2023). Buah akasia (*Acacia mangium*) dapat digunakan sebagai karbon aktif karena mengandung selulosa dan lignin yang dapat mempengaruhi kinerja karbon aktif yaitu proses adsorpsi (Dewi *et al.* 2018).

Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui dan meninjau potensi pada sampah organik tempurung kelapa, ampas tebu, tongkol jagung, sekam padi, tempurung kemiri, kulit salak, cangkang buah karet, kulit pisang, kulit durian dan polong akasia dengan efektivitas tertinggi sebagai adsorben untuk mengurangi kandungan logam berat Cr dalam air limbah tekstil, sehingga dapat dilakukan proses pengurangan logam berat Cr dengan biaya rendah dan efisien. Selain dapat mengurangi kandungan logam berat pada limbah cair industri tekstil, pemanfaatan karbon aktif pada limbah organik sebagai adsorben juga dapat membantu mengurangi limbah organik, sehingga dapat

terwujud limbah cair industri yang terbebas dari logam berat Cr dan aman bagi lingkungan.

## **2. METODOLOGI**

### **2.1. Lokasi kajian dan waktu penelitian**

Artikel revidu ini ditulis pada bulan Oktober 2023 di Kota Bandung, Jawa Barat dengan menggunakan metode pencarian literatur *Google Scholar* dan *Science Direct*. Penelusuran literatur dilakukan dalam bentuk jurnal dan artikel penelitian dalam bahasa Inggris atau bahasa Indonesia dengan menggunakan kata kunci karbon aktif, adsorben dan logam berat kromium (Cr) selama 21 tahun terakhir, yaitu dari tahun 2002 hingga 2023. Melalui penelusuran literatur, teridentifikasi 160 jurnal dan artikel yang dipilih berdasarkan relevansinya dengan publikasi ini. Terdapat 10 artikel relevan yang mendukung dalam tahap diskusi dan saran.

### **2.2. Prosedur analisis data**

Data yang dianalisis dalam artikel sistematik revidu ini mengenai kapasitas serapan karbon aktif limbah organik pada logam berat Cr dalam limbah cair industri tekstil. Analisis data yang digunakan adalah pendekatan sederhana. Pendekatan sederhana merupakan suatu analisis yang mengumpulkan data yang diperoleh untuk setiap artikel dan menyederhanakan hasil penelitian.

## **3. HASIL DAN PEMBAHASAN**

### **3.1. Efektivitas tempurung kelapa sebagai adsorben logam Cr**

Karbon aktif pada tempurung kelapa dapat mengikat dan menurunkan cemaran logam kromium dalam limbah cair. Semakin banyak karbon aktif tempurung kelapa yang berikatan dengan air limbah, maka semakin efektif mengikat dan menurunkan kandungan logam Cr (Moelyaningrum dan Ellyke 2022). Perbandingan massa karbon aktif pada penelitian ini dilakukan sebanyak 3 variasi massa di antaranya: 35 mg/0,5 L; 40 mg/0,5 L dan 45 mg/0,5 L dengan efektivitas penurunan logam berat Cr dalam air limbah berturut-turut sebagai berikut: 25,45%; 49,93% dan 73,52%. Penurunan signifikan logam berat Cr dalam air limbah yaitu pada saat massa karbon aktif tempurung kelapa sebesar 45 mg/0,5 L dengan efektivitas sebesar 73,52% (**Tabel 1**).

Hal ini menunjukkan semakin banyak karbon aktif yang dikontakkan, maka semakin tinggi pula proses adsorpsinya.

**Tabel 1.** Efektivitas karbon aktif pada tempurung kelapa sebagai adsorben logam Cr.

Jenis sampah organik	Massa karbon aktif	Jenis logam	Efektivitas	Sumber
Tempurung kelapa ( <i>Cocos nucifera</i> )	3,5mg/0,5L	Cr	25,45%	Moelyaningrum dan Ellyke (2022)
	40mg/0,5L		49,93%	
	45mg/0,5L		73,52%	

Kemampuan penyerapan karbon aktif terhadap logam dalam air memiliki peranan yang cukup besar dalam menurunkan dan mengikat logam yang terdapat dalam air. Karbon aktif pada tempurung kelapa (*Cocos nucifera*) mempunyai luas permukaan serapan kurang lebih ( $500\text{m}^2/\text{g}$ ), sehingga memiliki potensi dan daya adsorpsi tinggi terhadap logam-logam dalam air (Lasindrang 2014). Aktivasi karbon aktif tempurung kelapa terjadi baik secara fisik dan kimia. Aktivasi dilakukan dengan merendam tempurung kelapa dengan zat aktif  $\text{Na}_2\text{CO}_3$  selama 20 sampai dengan 24 jam. Kemudian dipanaskan dalam oven dengan suhu pemanasan  $110^\circ\text{C}$ , pemanasan dilakukan selama 3,5 jam. Hasil proses pemanasan kemudian diayak pada filter dengan ukuran 100 mesh sehingga diperoleh karbon aktif yang dapat mengikat logam Cr lebih optimal (Moelyaningrum dan Ellyke 2022).

### 3.2. Efektivitas tongkol jagung sebagai adsorben logam Cr

Perbandingan massa karbon aktif tongkol jagung dilakukan sebagai 4 variasi massa di antaranya: 2g/100mL; 3g/100mL; 4g/100mL dan 5g/100mL dengan efektivitas penurunan logam berat Cr dalam air limbah berturut-turut sebagai berikut: 52%, 60%, 72% dan 82,33%. Penurunan signifikan logam berat Cr dalam air limbah dengan karbon aktif tongkol jagung terjadi pada massa karbon aktif sebesar 5 g/100 mL dengan efektivitas sebesar 82,33% (**Tabel 2**). Hal ini menunjukkan bahwa semakin besar massa karbon aktif, maka semakin besar pula luas permukaan adsorbennya (Guiza 2017). Peningkatan sisi aktif penyerap pada tongkol jagung meningkatkan laju adsorpsi dan meningkatkan efisiensi penyerapan logam Cr dalam air limbah (Liu *et al.* 2015).

**Tabel 2.** Efektivitas karbon aktif pada tongkol jagung sebagai adsorben logam Cr.

Jenis sampah organik	Massa karbon aktif	Jenis logam	Efektivitas	Sumber
Tongkol jagung ( <i>Zea mays</i> )	2g/100mL	Cr	52%	Rokhati <i>et al.</i> (2023)
	3g/100mL		60%	
	4g/100mL		72%	
	5g/100mL		82,33%	

Tongkol jagung (*Zea mays*) diketahui mengandung selulosa 40-44%, hemiselulosa 31-33%, lignin 31-33% serta abu sekitar 3-5%. Kandungan selulosa yang tinggi menjadi salah satu potensi pemanfaatan tongkol jagung sebagai adsorben (Widowati *et al.* 2008). Adsorpsi pada adsorben berbahan dasar selulosa dipengaruhi oleh beberapa faktor seperti hidrofobisitas, polaritas, gaya van der Waals, interaksi sterik dan ikatan hidrogen (Hokkanen *et al.* 2016). Aktivasi karbon aktif pada tongkol jagung dilakukan secara kimia. Pada proses aktivasi, tongkol jagung yang digunakan dibersihkan terlebih dahulu, kemudian dipotong seperti dadu dan dikeringkan. Setelah kering, 10 g ditimbang dan direndam dalam larutan NaOH 0,1 N. Larutan NaOH berperan sebagai aktivator sehingga terjadi proses dekomposisi yang meningkatkan kemurnian selulosa dan memungkinkan luas permukaan selulosa meningkatkan kapasitas serapan logamnya. Proses perendaman dilakukan pada suhu 28°C dan 90°C selama 4 jam (Rokhati *et al.* 2023).

### 3.3. Efektivitas ampas tebu sebagai adsorben logam Cr

Perbandingan massa karbon aktif dalam publikasi ini dilakukan dengan menggunakan empat variasi perubahan massa: 0,5g; 1g; 1,5g dan 2,5g dengan efektivitas penurunan logam berat Cr dalam air limbah berturut-turut sebagai berikut: 1,59mg/g; 0,8mg/g; 0,6mg/g dan 0,4mg/g. Penurunan kandungan logam berat Cr yang signifikan dalam air limbah dengan karbon aktif dari ampas tebu terjadi pada saat massanya sebesar 0,5g dengan efektivitas sebesar 1,59mg/g (**Tabel 3**). Proses adsorpsi logam berat Cr oleh karbon aktif ampas tebu berbeda dengan karbon aktif lainnya. Pengurangan logam berat yang optimal dan signifikan terjadi ketika massa karbon aktif yang bersentuhan rendah. Hal ini dapat disebabkan oleh beberapa faktor, seperti proses aktivasi kurang sempurna atau terjadinya penyumbatan pada situs penyerapan.

**Tabel 3.** Efektivitas karbon aktif pada ampas tebu sebagai adsorben logam Cr.

Jenis sampah organik	Massa karbon aktif	Jenis logam	Efektivitas	Sumber
Ampas tebu ( <i>Saccharum officinarum</i> )	0,5g	Cr	1,59mg/g	Tasanif <i>et al.</i> (2020)
	1g		0,8mg/g	
	1,5g		0,6mg/g	
	2,5g		0,4mg/g	

Ampas tebu (*Saccharum officinarum* L.) mengandung selulosa yang cukup tinggi dan juga dapat digunakan sebagai bahan karbon aktif (Asbahani 2013). Ampas tebu terutama mengandung ligno-cellulose. Ampas tebu mengandung sekitar 45% selulosa, sekitar 48 - 52% air atau kelembaban, rata-rata 3,3% gula dan rata-rata 47,7% serat (Santosa *et al.* 2003). Selulosa adalah senyawa hidrofilik karena adanya gugus hidroksil pada setiap unit polimer. Selulosa dapat menjadi adsorben logam berat karena permukaannya dapat berinteraksi secara fisika maupun kimia dengan logam berat (Santosa *et al.* 2003). Aktivasi karbon aktif pada ampas tebu terjadi secara kimia dan fisika. Ampas tebu terlebih dahulu direndam dalam larutan HCl 0,1; 0,2 dan 0,3 M selama satu hari. Hal ini dilakukan untuk membuka permukaan pada ampas tebu yang tertutup. Ampas tebu kemudian disaring melalui kertas saring dan dicuci dengan air suling sampai diperoleh pH netral, kemudian dikeringkan dalam oven pada suhu 75°C selama satu hari. Setelah dikeringkan, selanjutnya dilakukan pengayakan pada karbon aktif ampas tebu dengan ukuran 80 mesh (Tasanif *et al.* 2020).

### 3.4. Efektivitas sekam padi sebagai adsorben logam Cr

Perbandingan massa karbon aktif sekam padi dilakukan sebagai 5 variasi massa di antaranya: 1g/200mL; 2g/200 mL; 3g/200 mL; 4g/200mL dan 5g/200mL dengan efektivitas penurunan logam berat Cr dalam air limbah berturut-turut sebagai berikut; 20%, 43%, 70%, 83% dan 98%. Penurunan signifikan logam berat Cr dalam air limbah dengan karbon aktif sekam padi terjadi pada massa karbon aktif sebesar 5 g/200mL dengan efektivitas sebesar 98% (**Tabel 4**). Hal ini menunjukkan bahwa semakin besar massa karbon aktif, maka semakin besar pula luas permukaan dan volume pori adsorben yang tersedia untuk proses adsorpsi logam berat (Ho and McKay 2003; Martin-Dupont *et al.* 2002).

**Tabel 4.** Efektivitas karbon aktif pada sekam padi sebagai adsorben logam Cr.

Jenis sampah organik	Massa karbon aktif	Jenis logam	Efektivitas	Sumber
Sekam padi ( <i>Oriza sativa</i> L.)	1g/200mL	Cr	20%	Sobhanardakani <i>et al.</i> (2013)
	2g/200mL		43%	
	3g/200mL		70%	
	4g/200mL		83%	
	5g/200mL		98%	

Kemampuan adsorpsi pada sekam padi (*Oriza sativa* L.) diperoleh dari selulosa. Dalam sekam padi terdapat 20% lignin, 25% hemiselulosa, dan 35% selulosa. Selain itu, terdapat 3% protein kasar dan 17% silika. Tingginya konsentrasi selulosa dalam sekam padi dapat digunakan serta dimanfaatkan sebagai adsorben untuk menurunkan logam berat (Dadhich *et al.* 2004). Aktivasi karbon aktif pada sekam padi dilakukan secara fisika. Sekam padi dicuci dengan air deionisasi lalu dilakukan proses pengeringan selama satu sampai dua hari pada suhu 60°C dan disimpan pada suhu kamar. Selanjutnya, sekam padi digiling lalu diayak dengan menggunakan saringan 1 mm (Sobhanardakani *et al.* 2013).

### 3.5. Efektivitas cangkang buah karet sebagai adsorben logam Cr

Massa karbon aktif pada cangkang buah karet dilakukan sebanyak 1 variasi massa yaitu 150mg/L dengan efektivitas penurunan logam berat Cr dalam air limbah yaitu 96,67% (**Tabel 5**). Tidak dapat dilakukan perbandingan massa karbon aktif cangkang buah karet yang digunakan, karena dalam referensi, massa karbon aktif tidak dibuat sebagai variabel bebas, melainkan sebagai variabel terikat.

**Tabel 5.** Efektivitas karbon aktif pada cangkang buah karet sebagai adsorben logam Cr.

Jenis sampah organik	Massa karbon aktif	Jenis logam	Efektivitas	Sumber
Cangkang buah karet ( <i>Hevea brasiliensis</i> )	150mg/L	Cr	96,67%	Zulfadhli (2017)

Kemampuan adsorpsi pada cangkang buah karet (*Hevea brasiliensis*) diperoleh dari luas permukaan serta struktur pori yang cukup besar. Aktivasi karbon aktif pada cangkang buah karet dilakukan secara fisika dan kimia. Cangkang buah karet mula-mula dicuci sampai bersih dan dikeringkan, lalu dikecilkan ukurannya menjadi 100 mesh. Diaktivasi oleh H<sub>3</sub>PO<sub>4</sub> dan dikarbonisasi selama 60 menit dengan suhu 500°C, lalu dilakukan pencucian dengan akuades sampai diperoleh pH netral dan dilakukan pengeringan 100°C dengan oven (Zulfadhli 2017).

### 3.6. Efektivitas tempurung kemiri sebagai adsorben logam Cr

Perbandingan massa karbon aktif tempurung kemiri dilakukan sebanyak 2 variasi massa di antaranya: 100 mg/L dan 200 g/L dengan efektivitas penurunan logam berat Cr dalam air limbah berturut-turut sebagai berikut; 2,5mg/g dan 3,6mg/g. Penurunan signifikan logam berat Cr dalam air limbah dengan karbon aktif sekam padi terjadi pada massa karbon aktif sebesar 200g/L dengan efektivitas sebesar 3,6mg/g (**Tabel 6**). Hal ini menunjukkan bahwa semakin besar massa karbon aktif, maka luas permukaan maupun volume pori adsorben yang tersedia untuk proses adsorpsi logam berat semakin besar (Martin-Dupont *et al.* 2002).

**Tabel 6.** Efektivitas karbon aktif pada tempurung kemiri sebagai adsorben logam Cr.

Jenis sampah organik	Massa karbon aktif	Jenis logam	Efektivitas	Sumber
Tempurung kemiri ( <i>Aleurites moluccana</i> )	100mg/L	Cr	2,5 mg/g	Nasruddin <i>et al.</i> (2017)
	200mg/L		3,6 mg/g	

Kemampuan adsorpsi pada tempurung kemiri (*Aleurites moluccana*) diperoleh dari struktur pori. Porositas ini memberikan luas permukaan yang besar (Nasruddin *et al.* 2017). Karbon aktif di dalam tempurung kemiri diaktifkan secara fisika dan kimia. Cangkang kemiri yang digunakan dicuci, dijemur dihancurkan menjadi bagian kecil dan dilakukan proses pengeringan di dalam oven. Karbonisasi dalam *furnace* dengan suhu 400°C selama 90 menit menggunakan gas N<sub>2</sub>. Didinginkan arang lalu haluskan sampai menjadi serbuk berukuran ± 120 mesh dengan menggunakan grinder.

Aktivasi kimia dilakukan dengan cara impregnasi arang dengan larutan NaOH 1 M dilanjutkan dengan pengeringan pada suhu 120°C. Arang kemudian dilakukan proses pirolisis kembali dalam *furnace* bersuhu 700°C selama 60 menit, kemudian didinginkan. Karbon aktif kemudian dilakukan pencucian dengan HCl 0,1 M dan sisa asam dihilangkan dengan air suling sampai dengan pH netral. Kemudian, karbon aktif dikeringkan kembali dengan suhu pengeringan sekitar 120°C. Proses aktivasi tempurung kemiri dengan panas tinggi dapat meningkatkan porositasnya, menjadikannya efektif sebagai karbon aktif untuk adsorpsi berbagai senyawa organik dan kimia (Nasruddin *et al.* 2017).

### 3.7. Efektivitas kulit buah salak sebagai adsorben logam Cr

Perbandingan massa karbon aktif kulit salak dilakukan sebanyak 3 variasi massa di antaranya: 0,3 g/500 mL; 0,6 g/500 mL dan 0,9 g/500 mL dengan efektivitas penurunan logam berat Cr dalam air limbah berturut-turut sebagai berikut; 34,83%; 55,16%; 69,45%. Penurunan signifikan logam berat Cr dalam air limbah dengan karbon aktif sekam padi terjadi pada massa karbon aktif sebesar 0,9 g/500 mL dengan efektivitas sebesar 69,45% (**Tabel 7**). Hal ini menunjukkan bahwa semakin besar massa karbon aktif, akan menyebabkan semakin luasnya permukaan pada adsorben (Guiza 2017).

**Tabel 7.** Efektivitas karbon aktif pada kulit buah salak sebagai adsorben logam Cr.

Jenis sampah organik	Massa karbon aktif	Jenis logam	Efektivitas	Sumber
Kulit salak ( <i>Salacca zalacca</i> )	0,3g/500mL	Cr	34,83%	Utama <i>et al.</i> (2016)
	0,6g/500mL		55,16%	
	0,9g/500mL		69,45%	

Kandungan selulosa pada kulit buah salak sebesar 25,8483% (Nugroho 2020). Kulit buah salak mempunyai kemampuan sebagai adsorben dan dapat berikatan dengan adsorbat karena pada struktur kimia selulosa memiliki gugus OH (Shinta dan Indah 2012). Aktivasi karbon aktif pada kulit buah salak dilakukan secara fisika dan kimia. Kulit buah salak yang akan digunakan mula-mula dibersihkan dengan air bersih kemudian dilakukan pengeringan di dalam oven. Selanjutnya, dibuat berukuran 100-200 mesh. Kulit salak diaktivasi oleh KOH lalu dikarbonisasi pada suhu 800°C yang kemudian dibilas dengan HCl sampai pH berkisar antara 6-7 lalu dilakukan pengeringan kembali dengan oven (Utama *et al.* 2016).

### 3.8. Efektivitas kulit pisang sebagai adsorben logam Cr

Massa karbon aktif pada kulit pisang dilakukan sebanyak satu variasi massa yaitu 2 g dengan efektivitas penurunan logam berat Cr dalam air limbah yaitu 34,9% (**Tabel 8**). Tidak dapat dilakukan perbandingan massa karbon aktif kulit pisang yang digunakan, karena dalam referensi, massa karbon aktif tidak dibuat sebagai variabel bebas, melainkan sebagai variabel terikat. Namun, pada kesimpulan artikel yang ditulis oleh Shafirinia *et al.* (2016) dikemukakan bahwa semakin besar berat karbon aktif yang ditambahkan, maka akan semakin besar reduksi logam Cr dalam air limbah.

**Tabel 8.** Efektivitas karbon aktif pada kulit pisang sebagai adsorben logam Cr.

Jenis sampah organik	Massa karbon aktif	Jenis logam	Efektivitas	Sumber
Kulit pisang ( <i>Musa paradisiaca</i> )	2g	Cr	34,9%	Shafirinia <i>et al.</i> (2016)

Kemampuan adsorpsi karbon aktif dalam kulit pisang (*Musa paradisiaca*) diperoleh dari selulosa dan galakturonik. Selulosa dapat berperan sebagai pengikat logam berat dan asam. Asam galakturonat sebagai zat yang memastikan kulit pisang mengikat ion logam dengan kuat sebagai fungsi dari gula karboksil. Aktivasi karbon aktif pada kulit pisang dilakukan secara fisika maupun kimia. Mula-mula kulit pisang dicuci dan dikeringkan kemudian dikarbonisasi pada suhu 400°C yang kemudian diayak dengan ukuran yang berbeda-beda dan diaktivasi dengan NaOH selama satu hari, lalu karbon aktif dilakukan pencucian dengan akuades sampai diperoleh pH netral dan dilakukan proses pengeringan pada suhu 105°C (Shafirinia *et al.* 2016).

### 3.9. Efektivitas kulit durian sebagai adsorben logam Cr

Perbandingan massa karbon aktif kulit durian dilakukan sebanyak 6 variasi massa di antaranya: 0,2g; 0,3g; 0,4g; 0,5g; 0,6g dan 0,7g dengan efektivitas penurunan logam berat Cr dalam air limbah berturut-turut sebagai berikut; 8,8964mg/g; 5,9856mg/g, 5,1862mg/g; 4,3458mg/g; 4,2502mg/g, dan 3,6118mg/g. Penurunan signifikan logam Cr dalam air limbah dengan karbon aktif kulit durian terjadi pada massa karbon aktif sebesar 0,2g dengan efektivitas sebesar 8,8964mg/g (**Tabel 9**).

Pada dasarnya, berat adsorben akan mempengaruhi peningkatan serapan yang sebanding dengan peningkatan jumlah partikel dan luas permukaan kulit durian (Chairunnisa 2021). Ketika massa adsorben antara 0,2g sampai 0,7g, ion logam Cr (VI) dalam larutan akan diserap seluruhnya oleh gugus aktif, dan konsentrasi gugus aktif dalam sampel menjadi jenuh, sehingga terjadi penurunan penyerapan. Sehingga tidak dapat lagi terserap serta tidak dapat menyerap molekul dari luar. Selain itu, berkurangnya daya serap juga disebabkan oleh adanya penggumpalan pada biosorben kulit durian (*Durio zibethinus* L.) yang mengakibatkan berkurangnya luas permukaan biosorben kulit durian (Adriansyah *et al.* 2018).

**Tabel 9.** Efektivitas karbon aktif pada kulit durian sebagai adsorben logam Cr.

Jenis sampah organik	Massa karbon aktif	Jenis logam	Efektivitas	Sumber
Kulit durian ( <i>Durio zibethinus L.</i> )	0,2g	Cr	8,8964 mg/g	Herlina <i>et al.</i> (2023)
	0,3g		5,9856 mg/g	
	0,4g		5,1862 mg/g	
	0,5g		4,3458 mg/g	
	0,6g		4,2502 mg/g	
	0,7g		3,6118 mg/g	

Kemampuan adsorpsi karbon aktif kulit durian (*Durio zibethinus L.*) diperoleh dari komponen yang dapat menyerap logam berat, seperti bahan selulosa organik dengan gugus hidroksil, gugus amina dan gugus karbonil. Aktivasi karbon aktif kulit durian dilakukan secara fisik. Kulit durian dibersihkan terlebih dahulu dengan air lalu dilakukan proses pengeringan di bawah sinar matahari, kemudian dikeringkan dalam oven dan diblender sehingga berbentuk serbuk. Setelah itu, dilakukan proses penyaringan menggunakan saringan dengan ukuran 180  $\mu\text{m}$  (Herlina *et al.* 2023).

### 3.10. Efektivitas polong akasia sebagai adsorben logam Cr

Perbandingan massa karbon aktif polong akasia dilakukan sebanyak 3 variasi massa di antaranya: 6g, 7g dan 8g dengan efektivitas penurunan logam berat Cr dalam air limbah berturut-turut sebagai berikut; 82,15%, 82,65%, dan 82,95%. Penurunan signifikan logam berat Cr dalam air limbah dengan karbon aktif polong akasia terjadi pada massa karbon aktif sebesar 8 g dengan efektivitas sebesar 82,95% (**Tabel 10**). Hal ini dikarenakan semakin tingginya kontak antara adsorben dengan ion Cr (VI). Semakin tinggi luas permukaan yang dimiliki oleh suatu karbon aktif, maka semakin tinggi pula kemampuannya untuk mengadsorpsi adsorbat (Dewi *et al.* 2018).

**Tabel 10.** Efektivitas karbon aktif pada polong akasia sebagai adsorben logam Cr.

Jenis sampah organik	Massa karbon aktif	Jenis logam	Efektivitas	Sumber
Polong akasia ( <i>Acacia mangium</i> )	6g	Cr	82,15%	Dewi <i>et al.</i> (2018)
	7g		82,65%	
	8g		82,95%	

Kemampuan adsorpsi karbon aktif pada polong akasia (*Acacia mangium*) diperoleh dari selulosa dan lignin yang berpengaruh dalam kinerja karbon aktif yaitu adsorpsi (Dewi *et al.* 2018). Aktivasi dapat dilakukan baik secara fisika maupun kimia. Saat proses aktivasi fisika, karbon diaktivasi menggunakan suhu 200°C, 300°C dan 400°C dengan menggunakan *furnace*. Sedangkan untuk aktivasi karbon secara kimia

menggunakan zat  $\text{Na}_2\text{CO}_3$  sebagai aktivator melalui proses perendaman dalam larutan  $\text{Na}_2\text{CO}_3$  selama satu hari.

Berdasarkan **Tabel 1** hingga **Tabel 10**, pengaplikasian karbon aktif pada berbagai limbah organik cukup efektif dalam mereduksi logam berat kromium (Cr) yang terdapat dalam limbah cair industri tekstil. Karbon aktif merupakan bahan yang sifat fisik dan kimianya telah diubah melalui proses aktivasi. Melalui aktivasi fisika dan kimia, kapasitas adsorpsi dan luas permukaan partikel karbon aktif dapat meningkat, sehingga kemampuan karbon aktif dalam mengadsorpsi logam menjadi semakin tinggi (Ramadhani *et al.* 2020).

Aktivasi fisika dilakukan dengan memutus ikatan karbon senyawa organik dengan bantuan gas dan  $\text{CO}_2$  pada suhu tinggi. Proses aktivasi secara fisika akan menghasilkan gas yang dapat memperluas struktur pori-pori, menghilangkan zat-zat yang mudah menguap, meningkatkan luas permukaan karbon, serta menghilangkan pengotor hidrokarbon pada arang. Proses aktivasi kimia karbon aktif terjadi dengan menggunakan senyawa untuk memutus ikatan karbon senyawa organik (Meisrilestari *et al.* 2013). Senyawa kimia yang biasa digunakan sebagai aktivator antara lain  $\text{ZnCl}_2$ ,  $\text{H}_3\text{PO}_4$ ,  $\text{Na}_2\text{CO}_3$ ,  $\text{KCl}$ ,  $\text{CaCl}_2$ ,  $\text{NaCl}$ ,  $\text{MgCl}_2$ , dan garam mineral (Pambayun *et al.* 2013).

Meningkatnya kemampuan karbon aktif dalam penyerapan logam Cr ditentukan oleh beberapa faktor, salah satunya massa karbon aktif. Semakin tinggi jumlah karbon aktif, maka proses adsorpsi semakin cepat karena luas permukaan adsorben yang semakin besar (Guiza 2017). Hal ini disebabkan oleh meningkatnya laju adsorpsi akibat bertambahnya sisi aktif pada adsorben (Liu *et al.* 2015).

#### 4. KESIMPULAN DAN SARAN

Sampah organik dapat dimanfaatkan sebagai adsorben logam berat. Berdasarkan literatur dari beberapa penelitian yang telah dijelaskan, karbon aktif pada sampah organik tempurung kelapa, tongkol jagung, ampas tebu, sekam padi, tempurung kemiri, kulit salak, cangkang buah karet, kulit pisang, kulit durian dan polong akasia mempunyai efektivitas yang signifikan dalam menyerap dan mengurangi konsentrasi logam berat Cr dalam air limbah industri tekstil. Karbon aktif pada sampah organik yang memiliki efektivitas tinggi dalam menyerap logam berat Cr adalah karbon aktif yang terdapat dalam tempurung kelapa dengan kemampuan serapan logam Cr sebesar 73,52%, dengan massa karbon aktif sebesar 45 mg dalam 500 mL limbah cair industri.

Efektivitas karbon aktif dalam menurunkan kadar logam berat dipengaruhi oleh beberapa faktor, salah satunya massa karbon aktif. Semakin besar massa karbon aktif yang bersentuhan, maka semakin tinggi pula efek adsorpsi logam berat Cr. Hal ini disebabkan bertambahnya situs aktif, luas permukaan dan volume pori adsorben.

Penelitian lebih lanjut diperlukan untuk menguji kapasitas adsorpsi maksimum karbon aktif terhadap logam berat, dan kelemahan serta tantangan perlu dipertimbangkan dan penentuan standar karbon aktif sebagai adsorben sebelum diaplikasikan dalam skala besar oleh industri tekstil.

## 5. DAFTAR PUSTAKA

- Adriansyah R, Restiasih EN dan Meileza N. 2018. Biosorpsi ion logam berat Cu (II) dan Cr (VI) menggunakan biosorben kulit kopi terxanthasi. *Alotrop* 2(2):114-121. <https://doi.org/10.33369/atp.v2i2.7478>
- Ahmad M, Ahmed S, Swami BL and Ikram S. 2015. Adsorption of heavy metal ions: role of chitosan and cellulose for water treatment. *International Journal of Pharmacognosy* 2(6):280-289. [http://dx.doi.org/10.13040/IJPSR.0975-8232.IJP.2\(6\).280-89](http://dx.doi.org/10.13040/IJPSR.0975-8232.IJP.2(6).280-89)
- Ali RM, Hendrawati TY, Ismiyati I dan Fithriyah NH. 2020. Pengaruh jenis adsorben terhadap efektivitas penurunan kadar timbal limbah cair recycle aki bekas. *Jurnal Teknologi* 12(1):87-92. <https://doi.org/10.24853/jurtek.12.1.87-92>
- Apriyani N. 2018. Industri batik: kandungan limbah cair dan metode pengolahannya. *Media Ilmiah Teknik Lingkungan* 3(1):21-29. <https://doi.org/10.33084/mitl.v3i1.640>
- Asbahani. 2013. Pemanfaatan limbah ampas tebu sebagai karbon aktif untuk menurunkan kadar besi pada air sumur. *Jurnal Teknik Sipil Untan* 13(1):105-114. <https://doi.org/10.26418/jtsft.v13i1.2019>
- Asmadi dan Suharno. 2012. *Dasar-dasar teknologi pengolahan air limbah*. Gosyen Publishing. Yogyakarta.
- Asmadi, Khayan dan Kasjono. 2011. *Teknologi pengolahan air minum*. Gosyen Publishing. Yogyakarta.
- Chairunnisa C. 2021. Adsorpsi ion logam Cr (VI) menggunakan adsorben karbon aktif kulit durian dengan metode batch (Disertasi). Jurusan Kimia, Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam, Universitas Negeri Padang. Padang.

- Dadhich AS, Beebi SK and Kavitha GV. 2004. Adsorption of Ni (II) using agrowaste, rice husk. *Journal of Environmental Science and Engineering* 46(3):179-185.
- Dewi RB, Yusnimar Y dan Irianty RS. 2018. Penentuan daya jerap karbon aktif dari polong akasia terhadap ion Cr (VI). *Jurnal Online Mahasiswa (JOM) Bidang Teknik dan Sains* 5:1-6.
- Guiza S. 2017. Biosorption of heavy metal from aqueous solution using cellulosic waste orange peel. *Ecological Engineering* 99(2017):134-140. <https://doi.org/10.1016/j.ecoleng.2016.11.043>
- Herlandien. 2013. Pemanfaatan arang aktif sebagai adsorben logam berat dalam air lindi di TPA Pakusari Jember [Skripsi]. Jurusan Kimia, Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam, Universitas Jember. Jember.
- Herlina R, Nasra E, Zainul R dan Sari TK. 2023. Pengaruh massa adsorben pada biosorpsi ion logam Cr (VI) menggunakan biosorben selulosa dari kulit durian (*Durio zibethinus* L.). *Periodic* 12(2):87-91.
- Ho YS and McKay G. 2003. Sorption of dyes and copper ions onto adsorbents. *Process Biochemistry* 38:1047-1061. [https://doi.org/10.1016/S0032-9592\(02\)00239-X](https://doi.org/10.1016/S0032-9592(02)00239-X)
- Hokkanen S, Bhatnagar A and Sillanpää M. 2016. A review on modification methods to cellulose-based adsorbents to improve adsorption capacity. *Water Research* 91:156-173. <https://doi.org/10.1016/j.watres.2016.01.008>
- Indah N dan Joko S. 2013. Pengaruh konsentrasi dan waktu aktivasi terhadap karakteristik karbon aktif ampas tebu dan fungsinya sebagai adsorben pada limbah cair laboratorium. *Jurnal Teknik Waktu* 16(1):62-71. <https://doi.org/10.36456/waktu.v16i1.1491>
- Kaur S, Walia TPS and Mahajan RK. 2008. Comparative studies of zinc, cadmium, lead and copper on economically viable adsorbents. *Journal of Environmental Engineering and Science* 7(1):83-90. <https://doi.org/10.1139/S07-031>
- Lasindrang M. 2014. Adsorpsi pencemaran limbah cair industri penyamakan kulit oleh kitosan yang melapisi arang aktif tempurung kelapa. *Jurnal Teknosains* 3(2):81-166. <https://doi.org/10.22146/teknosains.6026>
- Li J, Wang X, Zhao G, Chen C, Chai Z, Alsaedi A, Hayat T and Wang X. 2018. Metal-organic framework-based materials: superior adsorbents for the capture of toxic and

- radioactive metal ions. *Chemical Society Reviews* 47(7):2322-2356.  
<https://doi.org/10.1039/C7CS00543A>
- Liu L, Gao ZY, Su XP, Chen X, Jiang L and Yao JM. 2015. Adsorption removal of dyes from single and binary solutions using a cellulose-based bioadsorbent. *ACS Sustainable Chemistry and Engineering* 3(3):432-442.  
<https://doi.org/10.1021/sc500848m>
- Martin-Dupont F, Gloaguen V, Granet R, Guilloton M, Morvan H and Krausz P. 2002. Heavy metal adsorption by crude coniferous barks: a modelling study. *Journal of Environmental Science and Health Part A* 37(6):1063-1073.  
<https://doi.org/10.1081/ESE-120004523>
- Meisrilestari Y, Khomaini R dan Wijayanti H. 2013. Pembuatan arang aktif dari cangkang kelapa sawit dengan aktivasi secara fisika, kimia dan fisika-kimia. *Konversi* 2(1):45-50. <http://dx.doi.org/10.20527/k.v2i1.136>
- Moelyaningrum AD dan Ellyke E. 2022. Pemanfaatan arang aktif tempurung kelapa (*Cocos nucifera*) untuk mengikat Kromium (Cr) (study pada limbah cair batik). *Jurnal Kesehatan Lingkungan Indonesia* 21(1):93-98.  
<https://doi.org/10.14710/jkli.21.1.93-98>
- Nasruddin M, Rosnelly CM dan Mulana F. 2017. Adsorpsi ion logam Cr (VI) dengan menggunakan karbon aktif dari tempurung kemiri (*Aleurites moluccana*). *Jurnal Ilmu Kebencanaan: Program Pascasarjana Unsyiah* 4(4):117-125.
- Nugroho SCW. 2020. Kemampuan serbuk kulit salak (*Salacca zalacca*) dalam menurunkan kadar Fe pada inlet limbah cair rumah tangga IPAL Sewon Bantul (Disertasi). Program Studi Biologi, Fakultas Teknobiologi, Universitas Atma Jaya. Yogyakarta.
- O'Connell DW, Birkinshaw C and O'Dwyer TF. 2008. Heavy metal adsorbents prepared from the modification of cellulose: a review. *Bioresource Technology* 99(15):6709-6724. <https://doi.org/10.1016/j.biortech.2008.01.036>
- Pambayun GS, Yulianto RY, Rachimoellah M dan Putri EM. 2013. Pembuatan karbon aktif dari arang tempurung kelapa dengan aktivator  $ZnCl_2$  dan  $Na_2CO_3$  sebagai adsorben untuk mengurangi kadar fenol dalam air limbah. *Jurnal Teknik ITS* 2(1):116-120. <http://dx.doi.org/10.12962/j23373539.v2i1.2437>

- Ramadhani LF, Nurjannah IM, Yulistiani R dan Saputro EA. 2020. Teknologi aktivasi fisika pada pembuatan karbon aktif dari limbah tempurung kelapa. *Jurnal Teknik Kimia* 26(2):42-53. <https://doi.org/10.36706/jtk.v26i2.135>
- Rokhati N, Prasetyaningrum A, Hamada NA, Utomo ALC, Kurniawan HB, dan Nugroho IH. 2023. Pemanfaatan tongkol jagung sebagai adsorben limbah logam berat. *Jurnal Inovasi Teknik Kimia* 6(2):89-94. <http://dx.doi.org/10.31942/inteka.v6i2.5508>
- Santosa SJ, Jumina dan Sri S. 2003. Sintesis membran bio urai selulosa asetat dan adsorben super karboksi metil selulosa dari selulosa ampas tebu limbah pabrik gula. Repository UGM. Yogyakarta.
- Shafirinia R, Wardhana IW dan Oktiawan W. 2016. Pengaruh variasi ukuran adsorben dan debit aliran terhadap penurunan khrom (Cr) dan tembaga (Cu) dengan arang aktif dari limbah kulit pisang pada limbah cair industri pelapisan logam (elektroplating) krom. *Jurnal Teknik Lingkungan* 5(1):1-9.
- Shinta D dan Indah N. 2012. Sabut kelapa sebagai penyerap Cr (IV) dalam air limbah. *Jurnal Teknik Waktu* 10(1):23-27.
- Sobhanardakani S, Parvizimosaed H and Olyaie EJES. 2013. Heavy metals removal from wastewaters using organic solid waste – rice husk. *Environmental Science and Pollution Research* 20:5265-5271. <https://doi.org/10.1007/s11356-013-1516-1>
- Sudarmaji, Mukono J dan Prasasti CI. 2006. Toksikologi logam berat B3 dan dampaknya terhadap kesehatan. *Jurnal Kesehatan Lingkungan Unair* 2(2):129-142.
- Tasanif R, Isa I dan Kunusa WR. 2020. Potensi ampas tebu sebagai adsorben logam berat Cd, Cu dan Cr. *Ambura Journal of Chemistry* 2(1):34-44.
- Utama S, Kristianto H, dan Andreas A. 2016. Adsorpsi ion logam kromium (Cr (VI)) menggunakan karbon aktif dari bahan baku kulit salak. Seminar Nasional Teknik Kimia “Kejuangan”.
- Wang J, Liu M, Duan C, Sun J and Xu Y. 2019. Preparation and characterization of cellulose-based adsorbent and its application in heavy metal ions removal. *Carbohydrate Polymers* (206):837-843. <https://doi.org/10.1016/j.carbpol.2018.11.059>

- Widowati W, Sastiono A dan Jusuf R. 2008. Efek toksik logam pencegahan dan penanggulangan pencemaran. Penerbit Andi. Yogyakarta.
- Zulfadhli M. 2017. Pembuatan karbon aktif dari cangkang buah karet (*Hevea brasiliensis*) dengan aktivator  $H_3PO_4$  dan aplikasinya sebagai penjerap Cr (VI). Jurnal Teknik Kimia USU 6(1):23-28. <https://doi.org/10.32734/jtk.v6i1.1561>

# Analisis bibliometrik tentang tren penerapan kebijakan kota hijau (*green city*)

## *Bibliometric analysis of green city policy implementation trends*

Bias Vilosa<sup>1</sup>, Imam Yuadi<sup>2\*</sup>

<sup>1</sup>Departemen Administrasi Publik, Universitas Airlangga, Surabaya, Indonesia

<sup>2</sup>Departemen Informasi dan Perpustakaan, Universitas Airlangga, Surabaya, Indonesia

### **Abstrak.**

Pencemaran lingkungan terus terjadi akibat perkembangan zaman, sehingga perlu dilakukan perbaikan melalui pembangunan berkelanjutan yang ramah lingkungan. Salah satu bentuk dukungan pembangunan berkelanjutan dapat diwujudkan dalam penerapan kebijakan kota hijau (*policy green city*). Untuk mengetahui lebih lanjut bagaimana penerapan kebijakan kota hijau (*policy green city*), dapat dilakukan melalui analisis tren penerapan kebijakan kota hijau tahun 2013 - 2023 pada penelitian kajian literatur yang telah dipublikasikan di *database Web of Science (WoS)* dan *Scopus* dengan menggunakan analisis bibliometrik. Dari pencarian artikel ilmiah tentang kebijakan kota hijau, kemudian data tersebut divisualisasikan dengan aplikasi *VOSviewer* dan *RStudio* menggunakan metode *biblioshiny*. Hasil analisis penelitian berupa; lingkup topik paling populer dengan 6 (enam) bahasan kota hijau, tren topik yakni *urban planning*, *sustainability*, dan *policy green city*, tinggi jumlah rata-rata sitasi pada tahun 2015 karena adanya komitmen dunia dan fenomena *green city*, dan negara terbanyak yang melakukan publikasi yakni USA, China, dan UK. Tren penelitian penerapan kebijakan kota hijau menghasilkan data yang positif dan saling berkolaborasi.

### **Abstract.**

*Environmental pollution continues to occur due to the times, so it is necessary to make improvements through sustainable development that is environmentally friendly. One form of support for sustainable development can be realized in the implementation of green city policies. To find out more about the implementation of green city policies, it can be done through analyzing trends in the application of green city policies from 2013 - 2023 in literature review research that has been published in the Web of Science (WoS) and Scopus databases using bibliometric analysis. From the search for scientific articles on green city policies, the data was visualized with the VOSviewer and RStudio applications using the biblioshiny method. The results of the research analysis are; the scope of the most popular topics with 6 (six) green city discussions, topic trends namely urban planning, sustainability, and green city policy, the high average number of citations in 2015 due to world commitment and the green city phenomenon, and the most countries that publish the USA, China, and the UK. Research trends in the implementation of green city policies produce positive data and collaborate with each other.*

*Keywords: trends, topics, policies, green cities, bibliometrics*

Kata kunci: tren, topik, kebijakan, kota hijau, bibliometrik

## **1. PENDAHULUAN**

Aktivitas perkotaan membuat tingkat pemanasan global terus meningkat karena kadar emisi karbon yang dihasilkan tinggi (Yang *et al.* 2022). Hal ini terjadi akibat dari pencemaran, seperti asap kendaraan yang mengandung karbon monoksida (CO) sehingga emisi gas tidak terurai dengan sempurna dalam pembakaran (Primastusi dan Puspitasari 2021). Aktivitas produksi pabrik juga menghasilkan asap yang mengandung zat polutan berbahaya, yakni hidrokarbon dan karbon monoksida. Selain itu, limbah yang tidak terurai dengan baik dan tumpukan sampah yang menggunung juga menjadi penyebab lingkungan tercemar (Darza 2020).

---

\* Korespondensi penulis  
Email : [imam.yuadi@fisip.unair.ac.id](mailto:imam.yuadi@fisip.unair.ac.id)

Untuk menjaga keberlanjutan kota, diperlukan perencanaan tata kelola kota masa depan yang sehat dan ramah lingkungan (Tarek 2023) yang berpedoman pada fungsi dan prinsip pembangunan berkelanjutan atau *sustainable development goals* (SDGs) (Rodrigues *et al.* 2023) guna meningkatkan kesejahteraan masyarakat secara menyeluruh dalam mengatasi permasalahan lingkungan di masa depan (Lombardia and Gomez-Villarino 2023). Pembangunan lingkungan berkelanjutan dengan prinsip universal, integrasi, dan inklusif dengan komitmen terdapat pada SDGs pilar nomor 11 (sebelas) yang berfokus pada pembangunan kota, pemukiman ramah lingkungan, dan berkelanjutan (Jung and Awad 2023).

Konsep kota hijau atau *green city* tepat menjadi acuan pembangunan berkelanjutan (Wallis *et al.* 2022). Dalam menjaga keberlanjutan perlu dilakukan pengawasan dan perbaikan juga peningkatan sebagai evaluasi secara berkala terhadap kebijakan kota hijau (*green city*) yang diterapkan. Adapun 8 (delapan) indikator yang menjadi penyusun konsep kota hijau yaitu *green planning and design, green open space, green building, green water, green community, green transportation, green energy, dan green waste* agar menciptakan kota yang berkualitas ramah lingkungan (Mugni 2021).

Pada penelitian Fuady (2021) menjelaskan tentang konsep kota hijau dan pentingnya konsep tersebut dalam meningkatkan ketahanan kota di Indonesia. Melalui analisis literatur dan studi kasus di beberapa kota di Indonesia, ditemukan bahwa konsep kota hijau dapat membantu meningkatkan kualitas lingkungan, kesehatan masyarakat, dan keamanan pangan. Selain itu, konsep kota hijau juga dapat membantu mengurangi risiko bencana dan mengurangi emisi gas rumah kaca yang menjadi penyebab perubahan iklim (Fuady 2021). Penelitian ini juga didukung dengan penelitian lain yang dilakukan di Kota Manado, dibahas oleh Riogilang (2015) tentang tantangan yang dihadapi oleh Kota Manado dalam mencapai status kota hijau pada peningkatan kesadaran masyarakat terhadap pentingnya menjaga kelestarian lingkungan hidup sekitar. Isu strategis mengenai kebijakan kota hijau pada pembangunan berkelanjutan menjadi hal yang menarik untuk diteliti dan dilakukan kajian guna mendukung pemanfaatan dalam penerapannya.

Dalam rangka mengetahui lebih lanjut mengenai penerapan kebijakan kota hijau, penelitian tentang tren publikasi penerapan kebijakan kota hijau (*green city policy*) dilakukan dengan menggunakan analisis bibliometrik sebagai pendukung kajian literatur. Kebijakan kota hijau menjadi strategi yang bertujuan untuk mempromosikan penerapan pembangunan berkelanjutan dan mengurangi dampak kerusakan lingkungan daerah perkotaan (Wang *et al.* 2023). Tujuan kebijakan kota hijau mengantisipasi agar warga *techno-moral*, efisiensi energi, dan implementasi infrastruktur hijau telah menjadi salah satu strategi penting untuk membentuk dan mencapai pembangunan berkelanjutan (Joga 2017).

Oleh karena itu, untuk mengetahui promosi kebijakan kota hijau, salah satunya dapat dilihat melalui tren penelitian artikel ilmiah pada penerapan kebijakan kota hijau (*green city*) tahun 2013 – 2023, dengan menghasilkan visualisasi data yang menggambarkan informasi mengenai penelitian penerapan kebijakan kota hijau (*green city policy*) yang telah dipublikasikan pada *database* internet. Analisis bibliometrik dilakukan melalui 2 (dua) *software* dari hasil pengumpulan 2 (dua) *database*, yakni melalui *software VOSviewer* dan *RStudio*, dari *database* yang ditemukan melalui *Web of Science* (WoS) dan *Scopus*. Penelitian ini diharapkan dapat bermanfaat untuk kepentingan publik sebagai tambahan wawasan terhadap tren penerapan kebijakan kota hijau (*green city*).

## 2. METODOLOGI

### 2.1. Lokasi kajian dan waktu penelitian

Penelitian ini dilakukan pada dua situs *database* literatur ilmiah terkemuka yang dikenal luas sebagai sumber rujukan utama bagi para peneliti di berbagai disiplin ilmu, yaitu *Web of Science* (WoS) dan *Scopus* dengan cakupan sumber literatur dari berbagai sumber jurnal, termasuk jurnal-jurnal dengan reputasi tinggi dan faktor dampak signifikan, sehingga memberikan gambaran yang komprehensif mengenai tren penelitian global. Kedua *database* ini juga menyediakan alat analisis bibliometrik yang canggih, sehingga memungkinkan peneliti untuk mengevaluasi kinerja publikasi, identifikasi topik penelitian yang sedang berkembang, serta mengukur dampak akademis dari berbagai karya ilmiah.

Penelitian ini dilaksanakan dengan menganalisis literatur ilmiah dari kedua *database* tersebut dalam rentang waktu satu dekade terakhir, yaitu tahun 2013 sampai dengan tahun 2023. Rentang waktu ini mencakup periode di mana isu-isu keberlanjutan dan pembangunan kota ramah lingkungan semakin mendapat perhatian internasional, sehingga memungkinkan peneliti untuk mengeksplorasi bagaimana respons akademis terhadap kebijakan ini berkembang seiring waktu. Pemilihan rentang tahun penelitian yang dianalisis ini juga memberikan waktu yang cukup untuk mengamati tren jangka panjang, termasuk perubahan dalam topik penelitian yang diangkat, kolaborasi antarnegara, dan pengaruh kebijakan global seperti kebijakan kota hijau.

## 2.2. Pengumpulan data

Penelitian dilakukan dengan analisis bibliometrik yang merupakan metode untuk mengukur literatur secara statistik (Wang *et al.* 2023). Metode ini dapat digunakan untuk mengidentifikasi tren publikasi, tingkat kolaborasi antar penulis dan kreativitas dalam suatu bidang penelitian (Wang *et al.* 2023) sehingga dapat mengidentifikasi topik penelitian populer melalui perkembangan kerja sama antar penelitian (Utami dan Karlina 2022).

Data dikumpulkan dari hasil pencarian menggunakan *website Web of Science (WoS)* dan *Scopus*. WoS adalah *database* yang paling tua, paling luas, dan paling otoritatif yang digunakan dalam publikasi dan kutipan penelitian (Zein *et al.* 2023) juga menyediakan data yang akurat untuk studi bibliometrik (Marditaputri and Handriana 2023). *Scopus* adalah salah satu *database* literatur ilmiah yang diakurasi dengan kualitas tinggi dalam menyediakan data bibliometrik untuk penelitian akademik dalam berbagai topik penelitian (Utami dan Karlina 2022). Proses analisis data dilakukan menggunakan aplikasi *VOSviewer* dan *RStudio*. *VOSviewer* adalah perangkat lunak untuk melakukan analisis bibliometrik dan membuat visualisasi *database* terpilih (Soraya *et al.* 2023).

*VOSviewer* menggunakan teknik pemetaan VOS (*Visualisation of Similarity*) untuk membuat visualisasi yang memperlihatkan kesamaan antara objek yang dianalisis (Gloria 2022). *RStudio* adalah sebuah *Integrated Development Environment (IDE)* yang digunakan untuk analisis data dan pemrograman dalam bahasa R (Ariyanto dan Rachmadiarti 2023). *RStudio* membantu pengguna dalam menulis kode, melihat

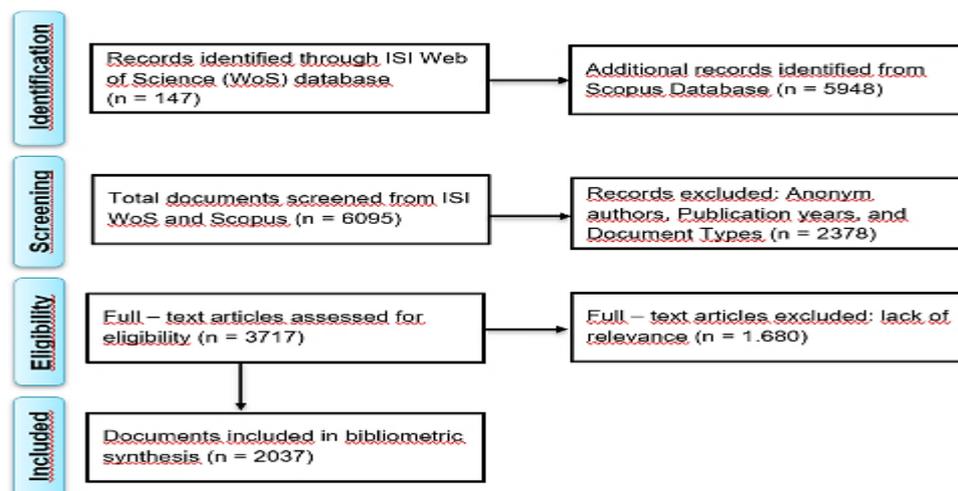
gambar, mengorganisir data, variabel, dan *file*, serta melihat jendela bantuan (Hafidz dan Rizal 2022). Untuk mengetahui hasil persebaran dan klasifikasi yang dihasilkan dari olah data, dilakukan pada tanggal 29 Maret 2023. Adapun skema *flowchart* proses pengumpulan data digambarkan pada **Gambar 1**. Proses pengumpulan data dimulai dari menentukan topik penelitian, yaitu kebijakan kota hijau atau dalam bahasa Inggris disebut sebagai *green city policy*.



**Gambar 1.** Flowchart pengumpulan data bibliometrik.

Pencarian menggunakan bahasa Inggris berguna untuk mendapatkan cakupan data yang lebih luas untuk mendapatkan literatur internasional. Kedua, menggunakan database *Web of Science* (WoS) dan *Scopus* sebagai platform pencarian data bibliometrik. Ketiga, pada website tersebut memasukkan kata kunci topik dalam *searching documents* pilih *search within all fields* dan masukkan kata *policy* lalu *add row*, pilih *and* sebagai penghubung kalimat pencarian untuk mendapatkan cakupan data yang luas tanpa adanya pembatasan pencarian pada bidang tertentu, dengan menuliskan "*Green City*" ditambahkan tanda petik dua atas (""") sebagai fokus penelitian pada kota hijau.

Penambahan petik dua atas (""") dilakukan agar hasil pencarian yang muncul juga dapat sesuai dan tanpa ada bahasan topik yang lain. Pada kolom pencarian yang kedua dapat klik *search* untuk memunculkan hasil pencarian data yang diinginkan pada masing-masing website sesuai pada bagian *identification* **Gambar 2**.



Gambar 2. The PRISMA flow diagram.

Pada langkah ke-4 pada **Gambar 1**, dilakukan pembatasan data dengan tidak mengikutsertakan penelitian yang anonim agar lebih kredibel. Pembatasan tahun publikasi dilakukan pada rentang 2013 – 2023, karena pada tahun 2013 terdapat agenda *Urban Greening Forum 2* yang dilaksanakan pada tanggal 26-27 Juni 2013 bertempat di Kantor Kementerian Pekerjaan Umum dan Perumahan Rakyat (PUPR) dalam rangka mewujudkan kota hijau sebagai kota berkelanjutan dengan mengintegrasikan “*blue and green network*” sesuai dengan ide *green city* dunia dengan memberikan pendampingan dan dukungan terhadap kota/kabupaten di Indonesia melalui penandatanganan MoU antara sektor swasta dan pemerintahan kota/kabupaten peserta Program Pengembangan Kota Hijau (P2KH) (PUPR 2013).

Rentang penelitian 11 tahun tersebut digunakan untuk melihat perkembangan publikasi terkini agar menemukan kebaharuan, relevansi, dan korelasi yang sesuai dengan keadaan saat ini dari adanya dukungan-dukungan yang telah diberikan terhadap penerapan kebijakan kota hijau tersebut. Pembatasan data berikut sebagai bentuk tahap *screening* **Gambar 2**. Kemudian, pembatasan dilakukan terhadap hasil sumber data seperti jenis artikel atau jurnal ilmiah saja, agar hasil klasifikasi penelitiannya lebih spesifik terhadap data tren yang diharapkan.

Langkah ke-5 pada **Gambar 1** dan penjabaran dari tahap *eligibility* pada **Gambar 2** dengan melakukan pembacaan manual melalui abstrak lalu mencari relevansi data dengan topik yang diinginkan. Kemudian, hasil akhir *database* atau *included* data pada setiap *website* diekspor 2 (dua) kali dengan format yang berbeda, *RIS* dan *BibTeX*. Format data *RIS* digunakan untuk visualisasi data pada aplikasi *VOSviewer* dan format

data *BibTeX* digunakan untuk visualisasi data pada aplikasi *RStudio*. Ekspor data dengan memilih *full record all on page*. Hasil pengumpulan data yang dihasilkan dari proses pengumpulan secara ringkas digambarkan pada **Gambar 2**.

### 2.3. Prosedur analisis data

Sebanyak 2039 data yang dihasilkan melalui pengumpulan 2 (dua) *database*; WoS dan *Scopus* dengan penyimpanan format data (.Ris) dan (.bib) dapat digabungkan menggunakan *mendeley.com*, kemudian data diekspor kembali ke dua format data RIS dan format data *BibTeX*. Proses olah data pada aplikasi *VOSviewer* versi 1.6.19 untuk mengetahui hasil berdasarkan persebaran penulis dalam hubungan penelitian sitasi dan subjek area penelitian sebagai topik bahasan paling populer. Aplikasi *RStudio* dibantu dengan instalasi *download* aplikasi *RData* dengan jenis *Rworkspace* melalui *run coding* berupa *install packages library* ("*bibliometrix*") dan *website biblioshiny*. Pada analisis bibliometrik menggunakan *biblioshiny* melalui aplikasi *RStudio* dihasilkan data rata-rata sitasi penelitian pada publikasi setiap tahun, negara asal penelitian yang melakukan publikasi di setiap tahunnya, klasifikasi penelitian berdasarkan kata yang sering muncul pada *tree map*, serta tren topik penelitian yang telah dilakukan dan dipublikasikan pada *database* WoS dan *Scopus*.

## 3. HASIL DAN PEMBAHASAN

### 3.1. Analisis *VOSviewer*

#### 3.2.1. *Map authors*

Persebaran penulis dari antar penelitian yang saling melakukan sitasi secara berkesinambungan dalam topik kebijakan kota hijau ini terbilang cukup saling mempengaruhi jika dilihat dari **Gambar 3** berikut. Berdasarkan **Gambar 3** terdapat 8 (delapan) warna pembeda atau klasifikasi yakni kuning, toska, merah, ungu, hijau, oranye, coklat dan biru. Hasil analisis *authors* ini memiliki tingkat sama rata atau tidak ada dominasi frekuensi sitasi dari beberapa peneliti jurnal, karena ukuran besar kotak nama dan jaringan yang sama besar serta saling terhubung. Bahkan, garis jaringan antar peneliti dapat terlihat jelas menggunakan klasifikasi warna tertentu. Pembeda klasifikasi warna ini dikarenakan perbedaan nama penulis, organisasi penulis, negara asal penulis atau area pembahasan yang diteliti (Rahayu dan Hadi

2023). Peta *map authors* pada penelitian kebijakan kota hijau membuktikan adanya kolaborasi penulis dalam melakukan penelitian pada topik ini.



Gambar 3. Map authors.

### 3.2.2. Map subject area

Ruang lingkup penelitian pada kebijakan kota hijau dapat tergambar persebarannya pada **Gambar 4**. Terdapat kesamaan penelitian ide pokok atau ruang lingkup penelitian yang menonjol atau sering dilakukan dalam kebijakan kota hijau dengan 6 (enam) klasifikasi. Warna hijau merupakan jenis-jenis kebijakan tentang kota hijau, seperti *urban planning*, *sustainability*, *governance approach*, dan yang lainnya (**Gambar 4**). Lalu warna merah merupakan lingkup penataan kota, seperti *sustainable development*, *economics*, *smart city*, dan yang lainnya.

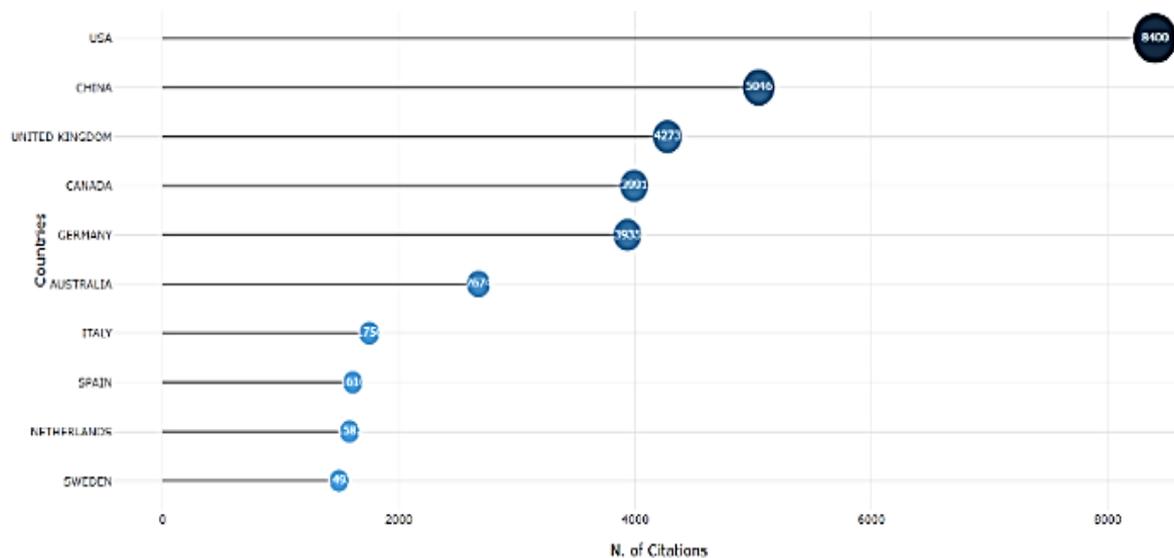
Warna kuning adalah ruang lingkup penelitian mengenai analisis kebijakan kota hijau, seperti *spatial analysis*, *metropolitan area*, *mitigation*, *urban growth*, dan yang lainnya. Warna biru muda merupakan lingkup sumber daya, seperti *human* dan *city planning*. Warna biru tua yaitu tentang pelayanan kebijakan kota hijau, seperti *green space*, *ecosystem service*, *urban ecosystem*, dan yang lainnya. Warna ungu meliputi perkembangan kota, seperti *infrastructure* dan *climate change*.



tahun 2015 dilansir oleh Mongabay (2016), situs berita lingkungan, bahwa pada tahun 2015 dunia berkomitmen menangani perubahan iklim. Melalui *Paris Agreement 2015*, hampir 200 negara sepakat membatasi emisi gas rumah kaca agar kenaikan suhu global menjadi 2°C relatif sesuai terhadap tingkat industri (Mongabay 2016). Adanya gerakan hemat energi, mengurangi pembakaran bahan bakar fosil, dan mengurangi deforestasi juga degradasi membuat tingkat penelitian tentang *green city* mengalami kenaikan dalam jumlah hasil publikasi penelitian dilihat dari banyaknya sitasi tahun 2015.

### 3.3.2. Negara asal penelitian

Terletak pada *authors* bagian *countries* dengan menjabarkan hasil analisis negara yang sering melakukan publikasi artikel tentang kebijakan kota hijau. Berdasarkan **Gambar 6**, dihasilkan bahwa negara USA (*United States of America*) melakukan publikasi artikel sebanyak 8400 kali dalam kurun 11 tahun, kemudian negara terbanyak kedua China sebanyak 5046 kali, dan negara UK (*United Kingdom*) sebanyak 4273 kali.



**Gambar 6.** Negara asal penelitian.

Menurut riset *The Cross Dependency Initiative (XDI)*, China dan USA merupakan negara yang rentan terkena dampak perubahan iklim, sehingga kebutuhan yang mendesak dalam mengambil keputusan diperlukan sebagai langkah-langkah dekarbonisasi dan adaptasi dalam mengatasi bencana iklim, yang dapat serius dan meluas serta mengganggu ekonomi global akibat dari infrastruktur yang terus

dibangun, seperti bahaya panas atau angin ekstrem, pergerakan tanah, kebakaran hutan, dan pencairan es. Hal ini membuat para ilmuwan yang berasal dari negara tersebut terdorong melakukan penelitian terhadap kebijakan kota hijau (*green city policy*) (DW 2023).

### 3.3.3. Tree map and trend topics

Pembagian *tree map* dilakukan berdasarkan ruang lingkup penelitian (**Gambar 7**). Bentuk persenan tertinggi yang didapatkan ada pada angka 8% dicapai oleh kumpulan topik *Urban Planning* dengan 501 kali publikasi, lalu 7% dari keseluruhan penelitian topik kebijakan lingkungan hijau, membahas mengenai *Sustainability* sebanyak 430 kali publikasi. Alasan *Urban Planning* dan *Sustainability* menjadi pokok bahasan pada tren global kota berkelanjutan karena lebih dari setengah populasi dunia yang tinggal di perkotaan mengalami perubahan sosial dan ekonomi yang signifikan, sehingga mendorong potensi pertumbuhan dan kemajuan lingkungan berkelanjutan yang membuat ketidaksetaraan sosial dan terjadi *Urban Planning* (Mardiansjah *et al.* 2018).

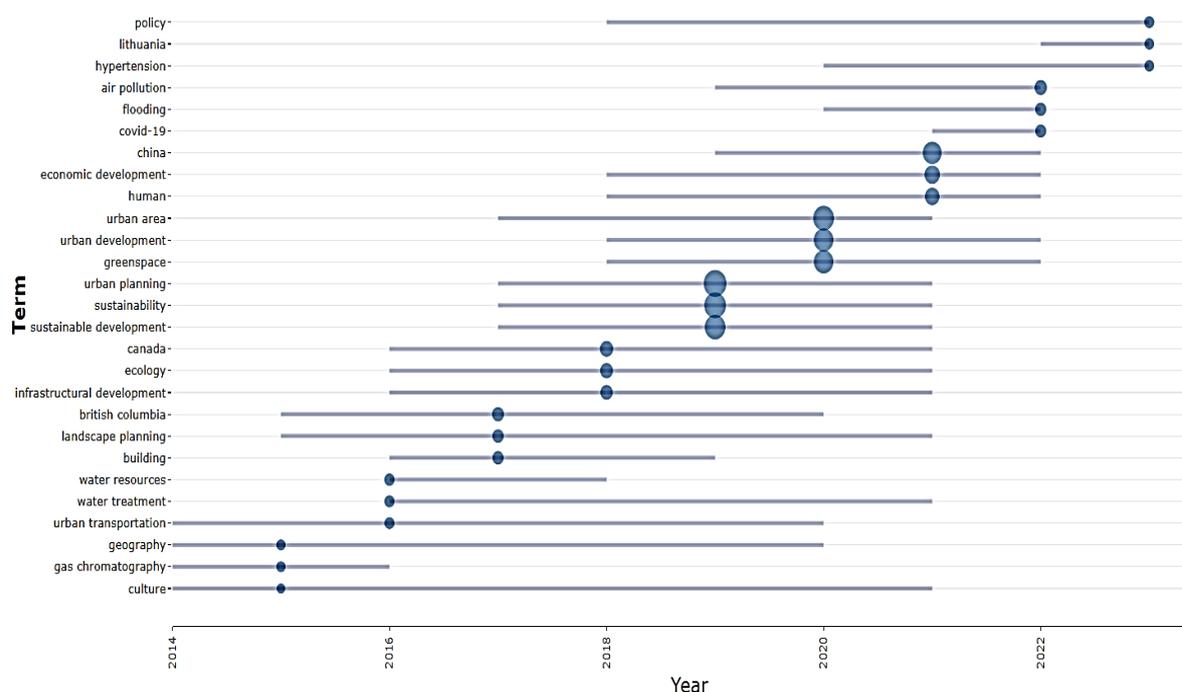


**Gambar 7.** Tree map.

Peran lingkungan yang inklusif dibutuhkan agar tercipta kota berkelanjutan atau *Sustainability* melalui perencanaan dan pendekatan yang komprehensif melalui keterlibatan masyarakat dalam pembangunan ramah lingkungan, pemanfaatan

integrasi digital teknologi dan penetapan kebijakan yang efektif dalam mengatasi tantangan pembangunan berkelanjutan di masa depan (Khalidy *et al.* 2024).

*Trend* topik penelitian kebijakan kota hijau mulai dari tahun 2017 hingga 2023 bergeser menjadi *policy green city* dengan *terms* frekuensi 200 publikasi (**Gambar 8**). Indikator Pertumbuhan Ekonomi Hijau tahun 2017, mencatat perkembangan yang telah dicapai pada penekanan peningkatan produktivitas dan peran terhadap tindakan kebijakan, dengan analisis yang melibatkan evaluasi pajak dan subsidi, teknologi serta inovasi, dan aliran keuangan internasional yang berhubungan dengan lingkungan sebagai langkah-langkah dalam mengatasi perubahan iklim ke dalam kebijakan kota hijau menghasilkan dampak positif pada pertumbuhan ramah lingkungan (OECD 2017). Oleh karena itu, tren topik mulai bergeser menjadi penelitian mengenai kebijakan kota hijau.



**Gambar 8.** Trends topics.

#### 4. KESIMPULAN DAN SARAN

Penelitian kajian literatur berbasis bibliometrik ini menjawab tentang tren penerapan kebijakan kota hijau (*green city policy*) meliputi subjek area pembahasan paling populer pada publikasi, terdapat 6 (enam) bahasan, yakni jenis-jenis kebijakan kota hijau, bentuk penataan ruang kota hijau, ruang lingkup analisis kebijakan kota hijau, sumber daya komponen kota hijau, bentuk pelayanan atau fasilitas dari kota hijau, dan perkembangan kebijakan kota hijau melalui evaluasi berkelanjutan. Tren topik kebijakan kota hijau seperti *Urban Planning* dan *Sustainability* menjadi pembahasan terkini dalam percepatan pembangunan berbasis ramah lingkungan. Namun, pada tahun 2017-2023 terjadi pergeseran pembahasan topik populer menjadi *Policy Green City*, karena diperlukan pencatatan evaluasi penerapan kebijakan yang telah atau sedang dilakukan sebagai perbaikan dengan penyesuaian zaman.

Rata-rata sitasi tertinggi menduduki puncak publikasi pada tahun 2015, karena adanya komitmen dunia dalam menciptakan *green city*, yakni Perjanjian Prancis 2015. Penerapan *green city* merupakan suatu solusi pengurangan dampak kerusakan lingkungan. Negara yang menjadi penyumbang publikasi terbanyak dalam penelitian *Policy Green City* yakni USA, China dan UK karena negara-negara tersebut tergolong rentan terjadi bencana iklim, tetapi juga menjadi pusat ekonomi dunia, sehingga mendorong pemantauan keadaan lingkungan melalui penelitian lingkungan berkelanjutan secara berkala.

Hal ini menjadikan tren pada penerapan kebijakan kota hijau, menyajikan data hasil positif. Artinya, adanya tren ini membuat kebijakan kota hijau menjadi topik yang kritis dan penuh pembaharuan dalam setiap keadaan, sehingga terus berbenah dan menyesuaikan sesuai dengan cita-cita kota masa depan agar dapat terwujud. Melalui penelitian tren penerapan kebijakan kota hijau terdapat tingkat kolaborasi antar penulis yang saling berkolaborasi meskipun berasal dari organisasi, negara, dan area pembahasan penelitian yang berbeda. Namun, hal ini sebagai bentuk dukungan kreativitas dalam suatu bidang penelitian pada keberagaman penerapan promosi pembangunan berkelanjutan melalui kebijakan kota hijau (*policy green city*).

## 5. UCAPAN TERIMAKASIH

Terima kasih kepada Bapak Imam Yuadi selaku dosen pada mata kuliah *Sains Data* yang telah membimbing saya dalam penelitian ini sehingga memiliki pengetahuan mengenai analisis *big data* dan persebarannya sebagai suatu tren penelitian. Terima kasih juga pada Departemen Administrasi Fakultas Ilmu Sosial dan Politik Universitas Airlangga yang telah menyarankan kami mahasiswa untuk mempelajari mata kuliah *Sains Data* sehingga dapat menerbitkan karya ini.

## 6. DAFTAR PUSTAKA

- Ariyanto D dan Rachmadiarti F. 2023. Peningkatan kemampuan analisis statistik menggunakan aplikasi RStudio berbasis open source untuk kebutuhan penelitian dosen di Fakultas Mipa Universitas Negeri Surabaya. *Jurnal Umum Pengabdian Masyarakat* 2(1):13-20.
- Darza SE. 2020. Dampak pencemaran bahan kimia dari perusahaan kapal Indonesia terhadap ekosistem laut. *Jurnal Ilmiah Manajemen, Ekonomi, dan akuntansi (MEA)* 4(3):1831-1852. <https://doi.org/10.31955/mea.v4i3.753>
- [DW] Alam dan Lingkungan. 2023. Cina dan AS paling rentan terkena dampak perubahan iklim [internet]. Tersedia di: <https://www.dw.com/id/cina-dan-as-paling-rentan-terkena-dampak-perubahan-iklim/a-64764275>
- Fuady M. 2021. Konsep kota hijau dan peningkatan ketahanan kota di Indonesia. *Region: Jurnal Pembangunan Wilayah dan Perencanaan Partisipatif* 16(2):266-276. <https://doi.org/10.20961/region.v16i2.47698>
- Gloria GK. 2022. Analisis bibliometrik perkembangan penelitian kerja laboratorium fisika [Skripsi]. Departemen Pendidikan Fisika, Fakultas Pendidikan MIPA dan Teknologi, IKIP PGRI Pontianak. Pontianak.
- Hafidz F dan Rizal MF. 2022. Analisis efisiensi fasilitas kesehatan: aplikasi menggunakan software R. UGM Press. Yogyakarta.
- Joga N. 2017. Gerakan kota hijau 2.0: kota cerdas berkelanjutan. Gramedia Pustaka Utama. Jakarta.
- Jung C and Awad J. 2023. Sharjah sustainable city: an analytic hierarchy process approach to urban planning priorities. *Sustainability* 15(10):8217. <https://doi.org/10.3390/su15108217>

- Khalidy F, Saifudin F, Yanti W, Bangki R and Mualim I. 2024. Revolusi hijau dalam pembangunan: integrasi teknologi ramah lingkungan dalam proyek infrastruktur. *Kerja Praktek Teknik Lingkungan* 1(1):46-52.
- Lombardía A and Gómez-Villarino MT. 2023. Green infrastructure in cities for the achievement of the un sustainable development goals: a systematic review. *Urban Ecosystems* 26:1693-1707. <https://doi.org/10.1007/s11252-023-01401-4>
- Mardiansjah FH, Handayani W and Setyono JS. 2018. Pertumbuhan penduduk perkotaan dan perkembangan pola distribusinya pada kawasan metropolitan Surakarta. *Jurnal Wilayah dan Lingkungan* 6(3):215-233. <https://doi.org/10.14710/jwl.6.3.215-233>
- Marditaputri LS and Handriana T. 2023. Evaluating of accounting information system literature on Web of Science (WoS) database. *Jurnal Ilmiah Manajemen, Ekonomi, dan Akuntansi (MEA)* 7(1):426-440. <https://doi.org/10.31955/mea.v7i1.2844>
- [Mongabay] Akhyari H. 2016. 15 berita lingkungan utama dunia di 2015 [internet]. Tersedia di: <https://www.mongabay.co.id/2016/01/14/15-berita-lingkungan-utama-dunia-di-2015/>
- Mugni PAN. 2021. Evaluasi penerapan konsep “green city” di Kecamatan Moncongloe Kabupaten Maros [Skripsi]. Departemen Perencanaan Wilayah dan Kota, Fakultas Teknik, Universitas Bosowa. Makassar.
- [OECD] Organization for Economic Co-operation and Development. 2017. Tinjauan kebijakan pertumbuhan hijau [internet]. Tersedia di: [https://www.oecd.org/environment/countryreviews/Green\\_Growth\\_Policy\\_Review\\_Indonesia\\_BAHASA](https://www.oecd.org/environment/countryreviews/Green_Growth_Policy_Review_Indonesia_BAHASA)
- Primastuti NA dan Puspitasari AY. 2022. Studi literature: penerapan green transportation untuk mewujudkan kota hijau dan berkelanjutan. *Jurnal Kajian Ruang* 1(1):62-77.
- [PUPR] Kementerian Pekerjaan Umum dan Perumahan Rakyat. 2013. Laporan Akhir Program Pengembangan Kota Hijau [internet]. Tersedia di: <https://simantu.pu.go.id/personal/img-post/autocover>
- Rahayu NS dan Hadi MS. 2023. Pembelajaran berdiferensiasi dan berpikir kreatif matematis: penggunaan VOSviewer dalam pemetaan literatur analisis

- bibliometrik: the use of VOSviewer in literature mapping bibliometric analysis. *Union. Jurnal Ilmiah Pendidikan Matematika* 11(1):35-40.
- Riogilang H. 2015. Tantangan Manado menuju kota hijau. *Jurnal LPPM Bidang Sains dan Teknologi* 2(2):103-112.  
<https://doi.org/10.35801/jlppmsains.2.2.2015.10697>
- Rodrigues BN, Junior VEM and Canteras FB. 2023. Green infrastructure as a solution to mitigate the effects of climate change in a coastal area of social vulnerability in fortaleza (Brazil). *Environmental Advances* 13:100398.  
<https://doi.org/10.1016/j.envadv.2023.100398>
- Soraya SM, Kurjono K dan Muhammad I. 2023. Analisis bibliometrik: penelitian literasi digital dan hasil belajar pada database Scopus (2009-2023). *Edukasia: Jurnal Pendidikan dan Pembelajaran* 4(1):387-398.  
<https://doi.org/10.62775/edukasia.v4i1.270>
- Tarek S. 2023. Smart eco-cities conceptual framework to achieve UN-SDGs: a case study application in Egypt. *Civil Engineering and Architecture* 11(3):1383-1406.  
<https://doi.org/10.13189/cea.2023.110322>
- Utami SB dan Karlina N. 2022. Analisis bibliometrik: perkembangan penelitian dan publikasi mengenai koordinasi program menggunakan VOSviewer. *Jurnal Pustaka Budaya* 9(1):1-8.
- Wallis AK, Westerveld MF and Burton P. 2022. Ensuring communication-friendly green and public spaces for sustainable cities: sustainable development goal 11. *International Journal of Speech-Language Pathology* 25(1):27-31.  
<https://doi.org/10.1080/17549507.2022.2138544>
- Wang D, Dong L and Di S. 2023. Data-driven comparison of urban sustainability towards sustainable urban development under sustainable development goals (SDGs): a review based on bibliometric analysis. *Frontier Energy Research* 11:1168126. <https://doi.org/10.3389/fenrg.2023.1168126>
- Yang S, Ding D and Sun C. 2022. Does innovative city policy improve green total factor energy efficiency? Evidence from China. *Sustainability* 14(19):12723.  
<https://doi.org/10.3390/su141912723>

Zein MHM, Meiyenti I dan Agustina I. 2023. Analisis bibliometrik tentang pengembangan keuangan berkelanjutan: identifikasi tren, konsep kunci, dan kolaborasi dalam literatur akademis. *Jurnal Akuntansi dan Keuangan West Science* 2(3):150-160. <https://doi.org/10.58812/jakws.v2i03.654>

## Evaluasi hidrolis distribusi air minum di Samanea Hill, Kecamatan Parung Panjang, Kabupaten Bogor

### *Hydraulic evaluation of drinking water distribution of Samanea Hill, Parung Panjang District, Bogor Regency*

Muhammad Husni Kusaeri<sup>1\*</sup>, Mohamad Rangga Sururi<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Jurusan Teknik Lingkungan, Institut Teknologi Nasional, Bandung, Indonesia

#### **Abstrak.**

Pembangunan jaringan pipa distribusi air minum pelayanan SPAM kawasan perumahan Samanea Hill, Kecamatan Parung Panjang, Kabupaten Bogor memiliki total kebutuhan air sebesar 34,53 liter/detik, dengan tingkat kebocoran air sebesar 21,18% dan faktor  $Q_{max}$  sebesar 1,2. Kondisi ini mengalami beberapa masalah terkait pengaliran air minum yang tidak sesuai dengan kriteria desain yang mempengaruhi distribusi terhadap tekanan, kecepatan dan *headloss* pada saluran air minum di perumahan Samanea Hill. Evaluasi hidrolis pendistribusian air minum perlu dilakukan untuk mengoptimalkan sistem jaringan pipa distribusi *eksisting*. Metode yang dilakukan untuk mengevaluasi jaringan distribusi yaitu menggunakan *software* EPANET 2.0 pada jaringan distribusi. Hasil evaluasi hidrolis menunjukkan terdapat beberapa titik pipa yang memiliki kecepatan aliran < 0,3 m/detik. Selain itu, hasil simulasi juga menunjukkan bahwa beberapa *nodes* memiliki *headloss* yang lebih dari 10 m/km. Kondisi ini menjadi salah satu penyebab kurang optimalnya pengaliran air minum yang terjadi pada sistem distribusi di perumahan Samanea Hill, sehingga perlu dilakukan perbaikan dengan cara mengganti diameter pipa pada beberapa titik dari hasil yang sudah disimulasikan. Oleh karena itu, dibutuhkan penyesuaian diameter pipa dan pemerataan kecepatan serta *headloss* pada hasil simulasi untuk mencapai kondisi optimal pada distribusi air minum di perumahan Samanea Hill.

Kata kunci: evaluasi hidrolis, EPANET 2.0, jaringan distribusi, air minum

#### **Abstract.**

*The construction of drinking water pipe for SPAM services at the Samanea Hill residence, Parung Panjang District, Bogor Regency, required 34.53 liters/second, with a water leakage rate of 21.18 percent and a  $Q_{max}$  factor of 1.2. This condition experiences problems regarding the flow of drinking water which does not comply with the design criteria which affects the distribution of pressure, velocity and headloss in the Samanea Hill. Hydraulic evaluation of the water supply of the Samanea Hill must be carried out to optimize the existing supply system. The method used to start a network distribution is to use EPANET 2.0 software on the network. The hydraulic evaluation results show that several pipe points have a flow rate < 0.3 m/sec. In addition, simulation results also show that the headloss of several nodes exceeds 10m/km. This condition is one of the reasons for a lack of drinking water flow in the Samana Hill distribution system, so improvements must be made by changing the pipe diameter to several points of the simulation results. Therefore, it is necessary to adjust the pipe diameter and equalize the velocity and headloss in the simulation results to achieve optimal conditions for drinking water distribution.*

*Keywords: hydraulic evaluation, EPANET 2.0, distribution network, drinking water*

---

\* Korespondensi Penulis  
Email : [mkusaeri@gmail.com](mailto:mkusaeri@gmail.com)

## 1. PENDAHULUAN

Skema yang dilaksanakan untuk pemenuhan kebutuhan air minum di antaranya hak masyarakat untuk mendapatkan pelayanan air minum berkualitas mengacu pada Peraturan Pemerintah Republik Indonesia Nomor 122 Tahun 2015 tentang Sistem Penyediaan Air Minum (SPAM). Salah satu komponen SPAM, yaitu subsistem penyaluran atau distribusi SPAM, menjadi suatu hal yang selalu diperhatikan untuk pelaksanaan SPAM di wilayah pelayanan. Selain itu, sistem distribusi harus mampu memenuhi kebutuhan pelanggan mengenai persyaratan kualitas, kuantitas dan kontinuitas (3K). Syarat keterjangkauan pada SPAM juga menjadi suatu persyaratan penting menurut Direktorat Jendral Cipta Karya untuk menunjang 100% tercapainya pelayanan air minum (Nugraha *et al.* 2017).

Kegiatan untuk pemenuhan air minum di Kabupaten Bogor dilakukan oleh PERUMDA Tirta Kahuripan. PERUMDA Tirta Kahuripan memiliki pelanggan sebanyak 193.996, di antaranya terdiri dari 169.676 pelanggan aktif dan 24.320 pelanggan nonaktif. Dari jumlah pelanggan tersebut, sebanyak 5.233 SR pelanggan berasal dari pemasangan regular PERUMDA Tirta Kahuripan. Berdasarkan data BPS, Jumlah pelanggan wilayah pelayanan administrasi Kabupaten Bogor yaitu 722.867 jiwa atau 13,17% dari jumlah penduduk keseluruhan, yaitu 5.489.536 jiwa. Pelanggan di wilayah teknis yang dilayani saat ini 785.456 jiwa atau sebesar 28,01% dari jumlah penduduk yang terdapat jaringan pipa perusahaan sebanyak 2.803.766 jiwa. Data tersebut diperoleh dari Badan Pengawas Keuangan dan Pembangunan Perwakilan Provinsi Jawa Barat Tahun 2021 melalui laporan hasil evaluasi kinerja Perusahaan Umum Daerah Air Minum Tirta Kahuripan Kabupaten Bogor.

Menurut laporan akhir perencanaan teknis rinci (DED) pembangunan jaringan pipa distribusi pelayanan SPAM Kawasan Perumahan Samanea Hill yang dijalani oleh PT. X, proyek ini dilakukan oleh salah satu pengembang yang ada yaitu Y sebanyak 2800 rumah. Total kebutuhan air domestik untuk perumahan Samanea sebesar 34,59 liter/detik, dengan kebocoran air sebesar 21,18% dan faktor  $Q_{max}$  sebesar 1,2. Proyek ini mengalami masalah di antaranya beberapa pengaliran yang tidak sesuai kriteria desain sehingga mempengaruhi distribusi tekanan, kecepatan dan *headloss* pada saluran air minum.

Sistem Penyediaan Air Minum (SPAM) merupakan seperangkat sarana prasarana penyaluran air minum dari suatu sumber air ke suatu wilayah pelayanan. Dalam memenuhi kebutuhan masyarakat, jaringan perpipaan distribusi merupakan salah satu infrastruktur penting yang memiliki fungsi untuk mengaliri air minum dari unit produksi ke pelanggan (Sukmawardani *et al.* 2020). Umumnya, sistem distribusi air minum terdiri dari pipa, pompa, tangki dan komponen lain sesuai kebutuhan. SPAM selalu mengalami masalah pada distribusi, seperti debit dan tekanan yang saling berkaitan dengan standar kriteria hidrolis yang perlu dipenuhi dalam sistem penyediaan air minum.

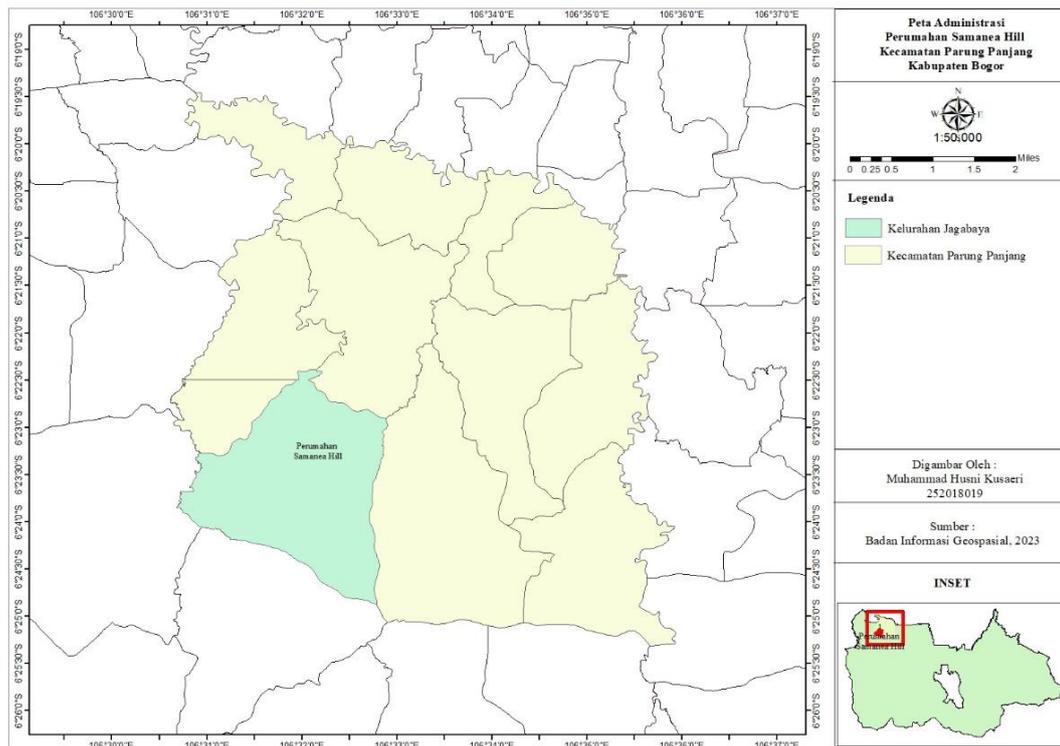
Untuk menilai kinerja jaringan distribusi air yang melibatkan evaluasi efisiensi dan efektivitas sistem, pemodelan simulasi jaringan menjadi sangat penting (Awe *et al.* 2019). Pemodelan simulasi menggunakan *software* seperti EPANET telah menjadi salah satu pendekatan yang dapat digunakan (Miseno *et al.* 2022). EPANET tidak hanya dapat memberikan gambaran tentang status *real-time* sistem distribusi air (Agunwamba *et al.* 2018), tetapi juga memainkan peran penting dalam perencanaan dan peningkatan kinerja hidrolis sistem (Ramana *et al.* 2016).

Namun di samping itu, saat ini faktor-faktor hidrolis jaringan distribusi SPAM Parung Panjang belum optimal sehingga perlu ditangani terkait identifikasi secara rinci oleh perusahaan. Berdasarkan faktor tersebut, maka jaringan distribusi perlu disimulasikan terkait kondisi *eksisting* untuk mengidentifikasi permasalahan tersebut. Hasil simulasi *eksisting* lalu dibandingkan dengan kriteria desain PerMenPUPR Nomor 27 Tahun 2016 sebagai landasan meningkatkan distribusi air minum.

## 2. METODOLOGI

### 2.1. Lokasi kajian dan waktu penelitian

Perumahan Samanea Hill merupakan lokasi yang menjadi wilayah penelitian. Waktu penelitian dilakukan pada November 2022 sampai dengan Februari 2023. Menurut laporan akhir perencanaan teknis rinci (DED) pembangunan jaringan pipa distribusi pelayanan SPAM kawasan perumahan Samanea Hill, Kecamatan Parung Panjang, Kabupaten Bogor, perumahan yang dibangun terletak di Desa Lumpang, Kecamatan Parung Panjang Kabupaten Bogor. Perumahan Samanea Hill memiliki luas lahan  $\pm$  24 Ha (**Gambar 1**). Data geospasial yang ditampilkan bersumber dari BIG (2023).



**Gambar 1.** Peta administrasi Kecamatan Parung Panjang, Kabupaten Bogor.

## 2.2. Evaluasi kuantitas air minum

Dalam mengidentifikasi air minum yang diproduksi oleh PERUMDA Tirta Kahuripan maka perlu dilakukan evaluasi kuantitas air minum terlebih dahulu untuk mengidentifikasi apakah dapat memenuhi kebutuhan air minum pelanggan. Evaluasi kuantitas air minum untuk sektor domestik mengacu pada Direktorat Jendral Cipta Karya Tahun 1996 dan untuk sektor non-domestik mengacu pada Direktorat Jendral Cipta Karya Tahun 1998. Input dan output pada evaluasi kuantitas air minum adalah sebagai berikut:

- a. Input dalam kapasitas air minum dievaluasi pada sistem distribusi pada sektor domestik dan sektor non-domestik mengenai kapasitas air minum yang diproduksi untuk dipenuhi; dan
- b. Output dalam kapasitas air minum dievaluasi untuk mengidentifikasi penggunaan air minum yang dimanfaatkan konsumen.

Data yang diperlukan untuk evaluasi kuantitas air minum yaitu data debit produksi, debit pemakaian air *eksisting* dan sambungan langganan.

### 2.2.1. Evaluasi kapasitas air minum perumahan Samanea Hill

Perhitungan yang digunakan untuk evaluasi kapasitas air minum dijelaskan sebagai berikut:

#### 2.2.1.1. Persentase pelayanan

Dalam menghitung persentase pelayanan dapat dilakukan menggunakan **Persamaan 1** dan **Persamaan 2** sebagai berikut:

$$\% \text{ sektor domestik} = \frac{\Sigma D}{\Sigma SL} \times 100\% \dots \dots \dots (1)$$

$$\% \text{ sektor non – domestik} = \frac{\Sigma ND}{\Sigma SL} \times 100\% \dots \dots \dots (2)$$

Keterangan:

$\Sigma D$  = Jumlah total sambungan pada sektor domestik

$\Sigma ND$  = Jumlah total sambungan pada sektor non-domestik

$\Sigma SL$  = Jumlah total sambungan pada sektor domestik dan non-domestik

Setelah itu, kapasitas sektor domestik diperkirakan agar dilakukan pengecekan dalam menghitung banyak air yang tersedia untuk setiap satu orang dalam satu hari (Twort *et al.* 1994).

#### 2.2.1.2. Ketersediaan air minum sektor domestik

Dalam menghitung ketersediaan air minum domestik dapat dilakukan menggunakan **Persamaan 3** sebagai berikut:

$$a = \frac{Q_{am} \times \% \text{ domestik}}{\Sigma P} \dots \dots \dots (3)$$

Keterangan:

$a$  = Ketersediaan air minum untuk setiap jiwa (Liter/jiwa/hari)

$Q_{am}$  = Debit air minum yang di produksi (Liter/detik)

$\Sigma P$  = Jumlah jiwa yang dilayani (jiwa)

% domestik = Persentase jumlah sambungan langganan yang dilayani

Nilai  $a$  yang diperoleh dibandingkan dengan standar kebutuhan air minum domestik yang berlandaskan pada PermenDagri Nomor 71 Tahun 2016, yaitu sebanyak 60 liter/jiwa/hari.

#### 2.2.1.3. Ketersediaan air minum sektor non-domestik

Dalam menghitung ketersediaan air minum non-domestik dapat dilakukan menggunakan **Persamaan 4** sebagai berikut:

$$a = Q_{am} \times \% \text{ non – domestik} \dots \dots \dots (4)$$

Keterangan:

- $a$  = Ketersediaan air minum untuk setiap jiwa (Liter/jiwa/hari)  
 $Q_{am}$  = Debit air minum yang di produksi (L/detik)  
 % non-domestik = Persentase jumlah sambungan langganan yang dilayani

### 2.2.2. Evaluasi penggunaan air minum perumahan Samanea Hill

Jumlah penggunaan air minum sektor domestik berasal dari pemakaian air pada DRD Kabupaten Bogor. Jumlah penggunaan sektor non-domestik ditentukan dengan menjumlahkan penggunaan air minum setiap sistem. Rumus matematis untuk sektor domestik disampaikan pada **Persamaan 5** sebagai berikut:

$$a = \frac{Q_{sl}}{\Sigma P} \dots \dots \dots (5)$$

Keterangan:

- $a$  = Ketersediaan air minum setiap jiwa (Liter/jiwa/hari)  
 $Q_{SL}$  = Pemakaian air minum pelanggan (Liter/detik)  
 $\Sigma P$  = Jumlah jiwa yang dilayani (jiwa)

### 2.3. Evaluasi kontinuitas air minum

Ketersediaan air minum selama 24 jam dihitung guna mengevaluasi kontinuitas air minum. Pengaliran air minum dalam SPAM harus mampu melayani kebutuhan air minum di wilayah pelayanan selama 24 jam supaya pelanggan mendapatkan pelayanan air minum secara kontinu (PerMenPUPR Nomor 27 Tahun 2016).

Pola penggunaan air minum di sistem Samanea Hill ditentukan dengan menghitung faktor penggunaan air minum berdasarkan waktu setiap jam. Data yang diteliti dalam pelaksanaan ini yaitu data meter induk yang dilaksanakan dalam satu hari per setiap jam dari dokumen PERUMDA Tirta Kahuripan. Faktor penggunaan air setiap jam dapat menggunakan **Persamaan 6** sebagai berikut.

$$F_p = \frac{\%P}{\%S} \dots \dots \dots (6)$$

Keterangan:

- $F_p$  = Faktor penggunaan air minum setiap jam  
 $\%P$  = Persentase penggunaan air minum setiap jam  
 $\%S$  = Persentase ketersediaan air minum setiap jam ( $\frac{100\%}{24 \text{ jam}} = 4,17\%$ )

Nilai persentase pemakaian air dihitung menggunakan **Persamaan 7** berikut:

$$\%P = \frac{Q_{c-x}}{Q_{c-harian}} \times 100\% \dots \dots \dots (7)$$

Keterangan:

- $Q_{c-x}$  = Banyaknya penggunaan air minum pada jam ke-x ( $m^3$ )  
 $Q_{c-harian}$  = Banyaknya penggunaan air minum dalam satu hari ( $m^3$ )

Nilai faktor penggunaan air berdasarkan waktu setiap jam dibentuk menjadi diagram garis, sehingga fluktuasi penggunaan air minum dapat ditinjau. Selanjutnya, dilakukan identifikasi mengenai fluktuasi karena kebutuhan air ini dipengaruhi oleh konsumsi air dan perbedaan konsumsi air disebabkan oleh perbedaan pola kebiasaan masyarakat di dalam suatu wilayah permukiman (Oktavianto dan Rosariawari 2023).

#### 2.4. Simulasi hidrolis jaringan distribusi eksisting

*Software* EPANET 2.0 merupakan aplikasi untuk simulasi hidrolis. Kebutuhan data pada langkah ini yaitu berupa diameter pipa, panjang pipa dan jenis pipa yang digunakan untuk mengetahui nilai koefisien dalam pipa sebagai penunjang *link* atau pipa dalam EPANET 2.0, data penunjang *node* dan *junction* kali ini menggunakan data dari perhitungan kebutuhan air dari Laporan DED Samanea Hill. Selain data *link* dan *node*, jam puncak penggunaan air minum digunakan untuk mengetahui pola penggunaan air atau dikenal dengan *demand pattern*. Dari hasil simulasi lalu dilihat kriteria hidrolis, seperti sisa tekan, kecepatan dan kehilangan tekanan pipa. **Persamaan 8** adalah formula Hazen-William yang merupakan rumus yang digunakan dalam simulasi hidrolis (Twort *et al.* 1994):

$$Q = 0,2785 \times C \times D^{2,63} \times \left(\frac{H_f}{L}\right)^{0,54} \dots\dots\dots(8)$$

Keterangan:

- Q = Debit air (m<sup>3</sup>/detik)
- C = Koefisien Hazen William
- D = Diameter pipa (m)
- H<sub>f</sub> = Kehilangan tekanan air dalam meter kolom air (mka)
- L = Panjang pipa (m)

Hasil simulasi yang dilakukan kemudian dibandingkan dengan PerMenPUPR Nomor 27 Tahun 2016 di antaranya yaitu:

- a. Sisa tekan 10 meter – 80 meter  
Sisa tekan dipantau untuk memastikan bahwa air cukup sampai ke daerah pelayanan yang berada di titik terjauh;
- b. Kecepatan dalam pipa 0,3 meter/detik – 3,0 meter/detik  
Kecepatan dipantau untuk memastikan supaya pipa tidak cepat rusak, karena dapat menyebabkan endapan jika kecepatan di bawah syarat minimum dan dapat menyebabkan pipa pecah jika kecepatan di atas syarat maksimum;

c. Kehilangan tekanan  $< 10$  m/km,

Kehilangan tekanan atau *headloss* dipantau supaya kehilangan energi dalam pengaliran pada jaringan distribusi tidak terjadi.

### 3. HASIL DAN PEMBAHASAN

#### 3.1. Evaluasi kuantitas air minum

##### 3.1.1. Sektor domestik

Jumlah kebutuhan air minum di perumahan Samanea Hill direncanakan mencukupi untuk seluruh rumah yang akan dibangun oleh PT. X, yaitu 2.800 rumah. Total kebutuhan air domestik untuk perumahan Samanea Hill sebesar 33,93 liter/detik, dengan kebocoran air sebesar 21,18% dan faktor  $Q_{\max}$  sebesar 1,2.

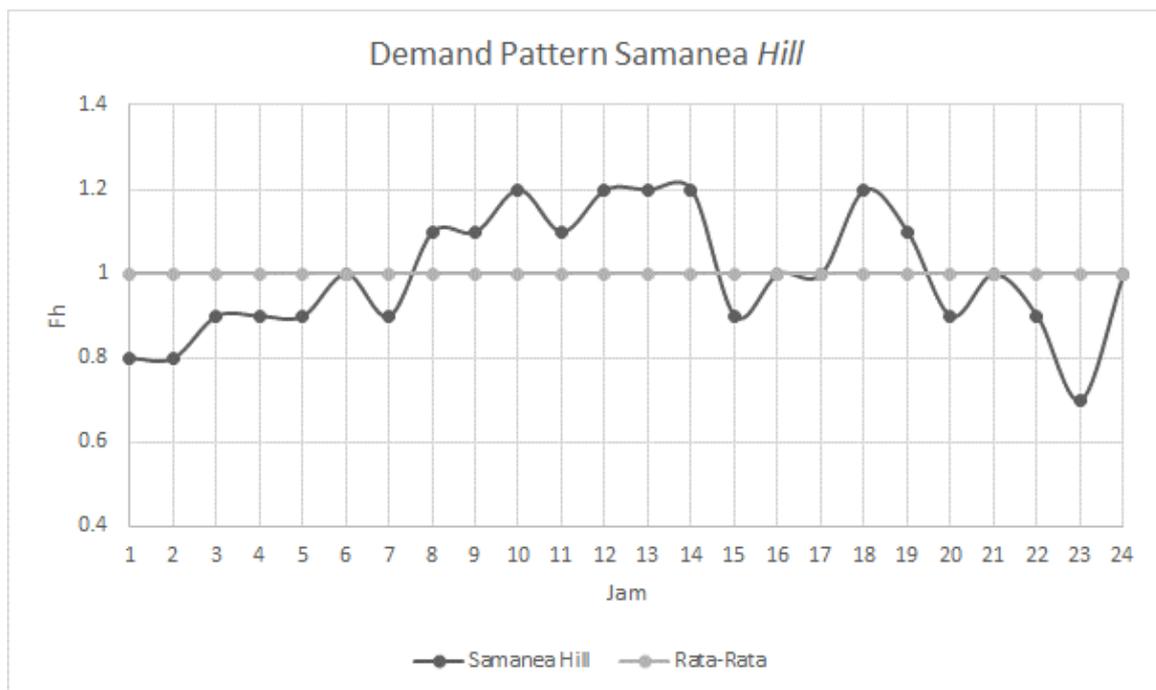
##### 3.1.2. Sektor non-domestik

Kebutuhan air untuk perumahan Samanea Hill perlu mempertimbangkan kebutuhan air pada sektor non-domestik. Kebutuhan air non-domestik di perumahan Samanea Hill yaitu 4 tempat komersial dan 1 *club house*. Standar kebutuhan air yang digunakan untuk area komersial mengacu pada Direktorat Jenderal Cipta Karya Departemen Pekerja Umum (2000) dengan kebutuhan air minum untuk pasar sebesar 12.000 liter/hari/hektar sedangkan kebutuhan air *club house* mengacu kepada Proyek Peningkatan Sarana Air Bersih, Jawa Barat dengan kebutuhan air untuk gedung olah raga adalah 1200 liter/unit/hari.

#### 3.2. Evaluasi kontinuitas air minum

IPA Paket Baja merupakan reservoir yang menampung air baku untuk perumahan Samanea Hill. Selain perumahan Samaena Hill, IPA Paket Baja juga melayani air minum untuk perumahan *The River*, perumahan *Setra Land*, perumahan *Forest Hill* dan Kampung Rabak Cikuda. IPA Paket Baja melayani masyarakat sekitar secara kontinu atau selama 24 jam dalam sehari. Dari data kontinuitas air minum diketahui jika IPA Paket Baja telah sesuai dengan PerMenPUPR Nomor 27 Tahun 2016 karena kontinuitas air di wilayah pelayanan sudah memenuhi syarat kontinuitas air minum selama 24 jam.

Fluktuasi penggunaan air minum adalah pola penggunaan air setiap jam berdasarkan meter induk pelayanan. Fluktuasi penggunaan air dilakukan guna mengetahui penggunaan air minum di setiap jam wilayah penelitian dan untuk mengetahui penggunaan jam puncak air minum ataupun pada jam terendah air minum yang kemudian data tersebut digunakan untuk *demand pattern* pada simulasi EPANET 2.0. Fluktuasi penggunaan air minum didapat melalui meter induk wilayah pelayanan selama 24 jam. Pendistribusian air minum di perumahan Samanea Hill terdapat jam puncak pada jam 10.00, jam 12.00, jam 14.00 dan jam 18.00. Faktor puncak (*peak hour*) pada wilayah pelayanan tersebut yaitu 1,2. Perbedaan kebutuhan air minum ini dipengaruhi oleh konsumsi air dan perbedaan konsumsi air disebabkan oleh perbedaan pola kebiasaan masyarakat di dalam suatu wilayah permukiman (Oktavianto dan Rosariawari 2023). Fluktuasi penggunaan air minum dapat ditinjau pada **Gambar 2**.



**Gambar 2.** Fluktuasi penggunaan air minum di Samanea Hill.

Fluktuasi penggunaan air minum seperti yang terlampir pada **Tabel 1** terdapat perbedaan yang dikarenakan pola penggunaan air minum masyarakat selalu berbeda di setiap jamnya. Pola penggunaan air minum selalu berbeda-beda karena dalam menggunakan air minum memiliki pola aktivitas yang berbeda pada jam tersebut, di mana pada jam 12.00 – 14.00, aktivitas pemakaian air minum lebih banyak digunakan untuk ibadah, mencuci, kegiatan di dapur, mandi dan minum, karena pada jam tersebut merupakan jam tengah hari aktivitas yang dilakukan sebagian besar orang. Penggunaan air jam 01.00 – 02.00 lebih sedikit dibandingkan pada jam 10.00 – 11.00, hal ini karena pada jam tersebut masyarakat tidak banyak beraktivitas dengan menggunakan air.

**Tabel 1.** Fluktuasi penggunaan air minum di Samanea Hill.

Jam	Q (L/d)	Factor hour	Jam	Q (L/d)	Factor hour	Jam	Q (L/d)	Factor hour
1	15.784	0.8	9	21.703	1.1	17	19.73	1
2	15.784	0.8	10	23.676	1.2	18	23.676	1.2
3	17.757	0.9	11	21.703	1.1	19	21.703	1.1
4	17.757	0.9	12	23.676	1.2	20	17.757	0.9
5	17.757	0.9	13	23.676	1.2	21	19.73	1
6	19.73	1	14	23.676	1.2	22	17.757	0.9
7	17.757	0.9	15	17.757	0.9	23	13.811	0.7
8	21.703	1.1	16	19.73	1	24	19.73	1

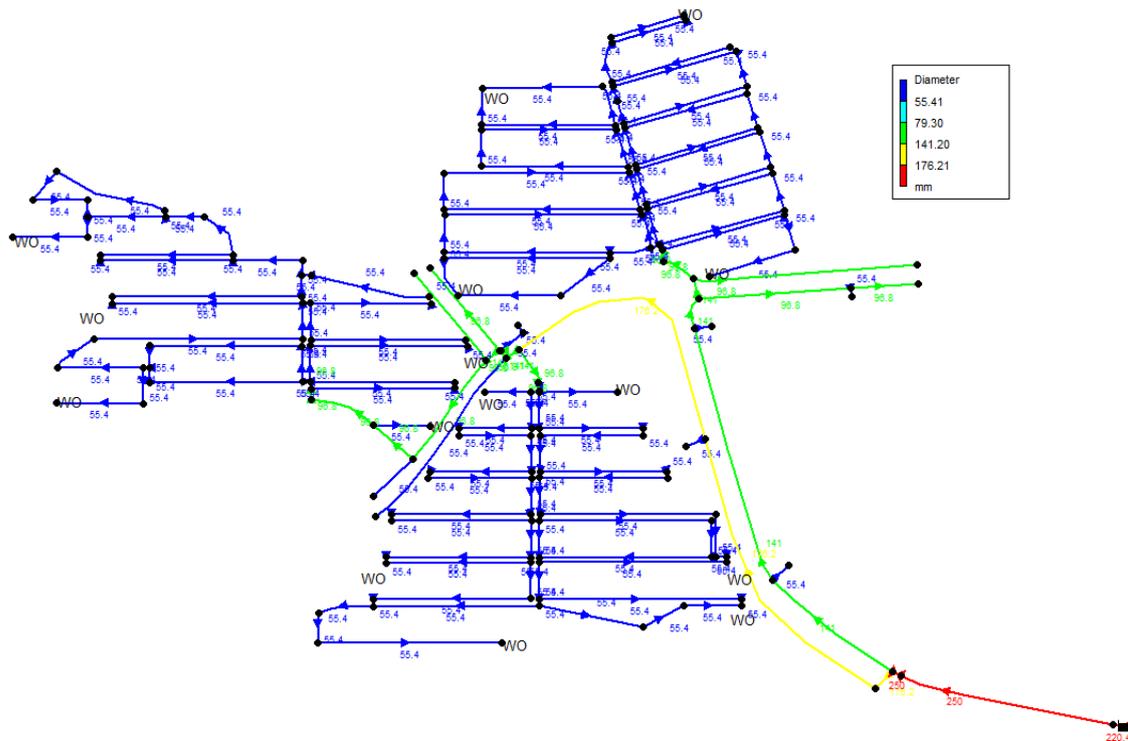
### 3.3. Hasil simulasi hidrolis jaringan distribusi eksisting di perumahan

#### Samanea Hill

Hasil simulasi hidrolis *eksisting* dilakukan menggunakan *software* EPANET 2.0. Data yang diinput untuk simulasi hidrolis yaitu data elevasi wilayah penelitian dan data pemakaian air minum setiap *nodes*, diameter pipa, panjang pipa dan nilai koefisien untuk mengetahui kekasaran pipa pada setiap *link*. Hasil simulasi nantinya dibandingkan, yaitu parameter sisa tekan pada setiap *node*, kecepatan aliran dan hilang tekan (*headloss*) pada setiap *link* atau pipa yang kemudian dievaluasi dengan mengacu ke kriteria desain PerMenPUPR Nomor 27 Tahun 2016.

Hasil simulasi yang diperlihatkan pada **Gambar 3** menunjukkan dalam simulasi menggunakan sistem gabungan, digunakan 1 reservoir dan 1 *pressure reducing valve* (PRV) dengan 1 jalur utama pendistribusian air di perumahan Samanea Hill. Selain itu,

dibuat 176 node dan 203 pipa yang mencakup seluruh pelanggan yang ada di perumahan Samanea Hill.

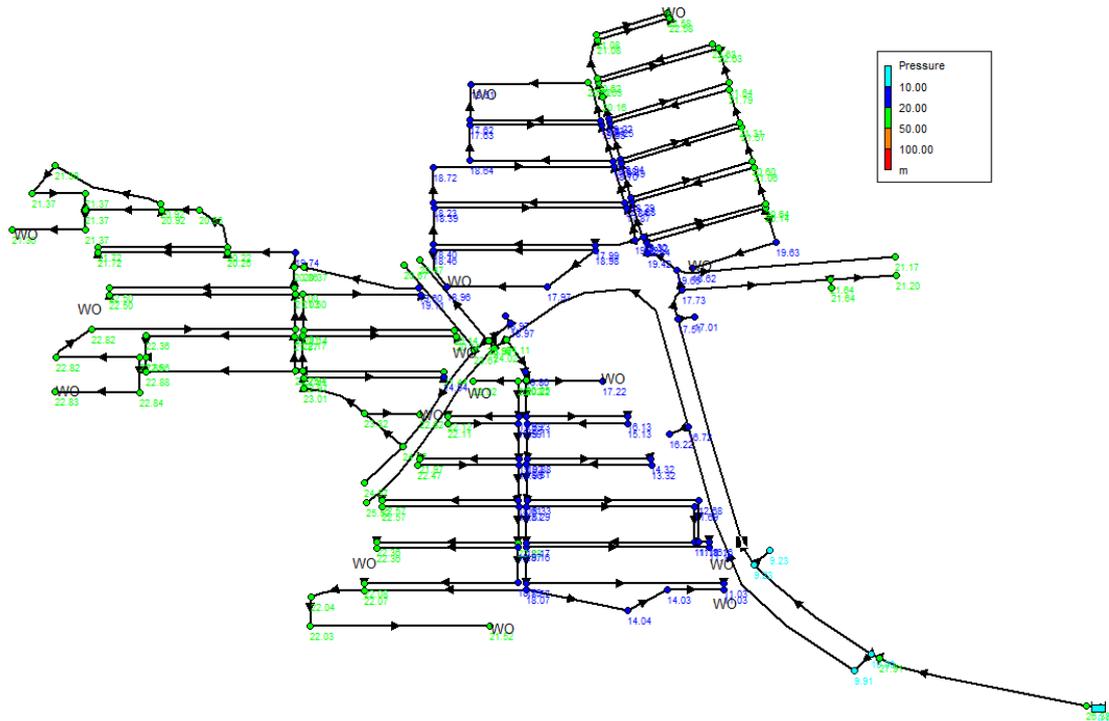


**Gambar 3.** Network map perumahan Samanea Hill.

### 3.3.1. Evaluasi sisa tekan

Evaluasi hidrolis dengan keterangan *residual head* atau sisa tekan memiliki nilai kriteria desain sebesar minimal 10 meter dan maksimal 80 meter, tekanan air yang rendah dalam pipa merupakan masalah yang dapat mempengaruhi kemampuan pengiriman air pada konsumen (Khalfan *et al.* 2018). Apabila terdapat sisa tekan < 10 meter di titik pemakaian air, hal ini dapat mengganggu pengaliran airnya. Di mana *node* atau titik pemakaian air yang memiliki sisa tekan < 10 meter air yang sampai di tangan konsumen tersebut tidak akan cukup kuat. Adapun jika tekanan > 80 meter memiliki hubungan langsung dengan tekanan, maka tekanan tinggi dalam jaringan dapat secara signifikan meningkatkan frekuensi kebocoran (Mathye *et al.* 2022).

Sisa tekan di dalam pipa pada jam puncak sudah memenuhi kriteria desain dengan sisa tekan terendah terdapat pada kluster 1 dengan sisa tekan 11,03 m. Hasil simulasi sisa tekan air yang sesuai kriteria desain dapat dilihat pada **Gambar 4**.

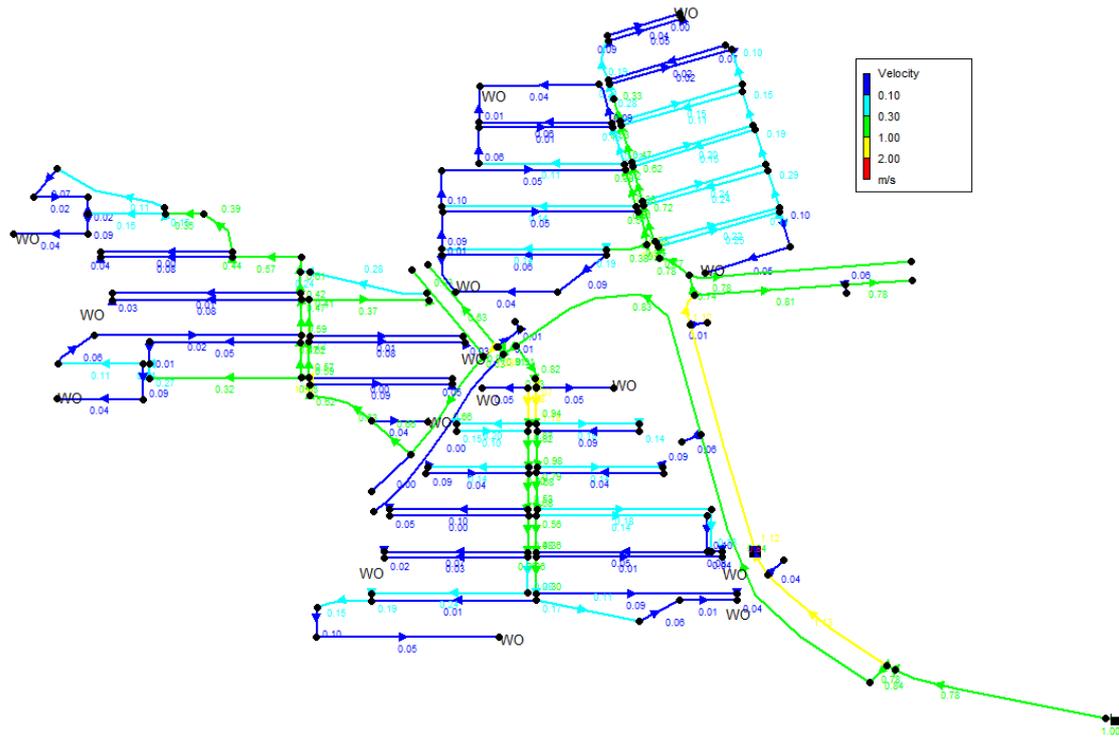


**Gambar 4.** Sisa tekan perumahan Samanea Hill.

### 3.3.2. Evaluasi kecepatan

Kriteria desain yang digunakan untuk evaluasi mengenai kecepatan memiliki nilai minimum sebesar 0,3 meter/detik – 0,6 meter/detik, rentang kriteria ini dipertimbangkan sebagai kriteria evaluasi jaringan distribusi sistem pipa pelayanan di Samanea Hill karena dalam kondisi *eksisting* jaringan perpipaan. Jenis pipa yang banyak digunakan merupakan jenis pipa HDPE, di mana menurut PerMenPUPR Nomor 27 Tahun 2016, kecepatan maksimum adalah sebesar 3,0 – 4,5 meter/detik. Kecepatan minimum pipa didesain supaya tidak terjadi endapan dalam pipa, sedangkan kecepatan maksimum pipa didesain supaya pipa tidak mudah pecah akibat kecepatan yang besar. Kecepatan dalam pipa pada jam puncak terdapat beberapa titik yang kurang dari kriteria desain, yaitu < dari 0,3 meter/detik.

Nilai kecepatan yang didapat berada pada rentang 0,00 – 1,29 meter/detik. Penyebab kecepatan aliran di dalam pipa menjadi tidak sesuai dengan kriteria desain karena diameter pipa yang digunakan terlalu besar. Kecepatan yang kurang dari 0,3 meter/detik dapat menyebabkan stagnasi air, penumpukan sedimen dan pertumbuhan bakteri dalam pipa (Zlatanović *et al.* 2017). Hasil simulasi kecepatan aliran dapat dilihat pada **Gambar 5**.

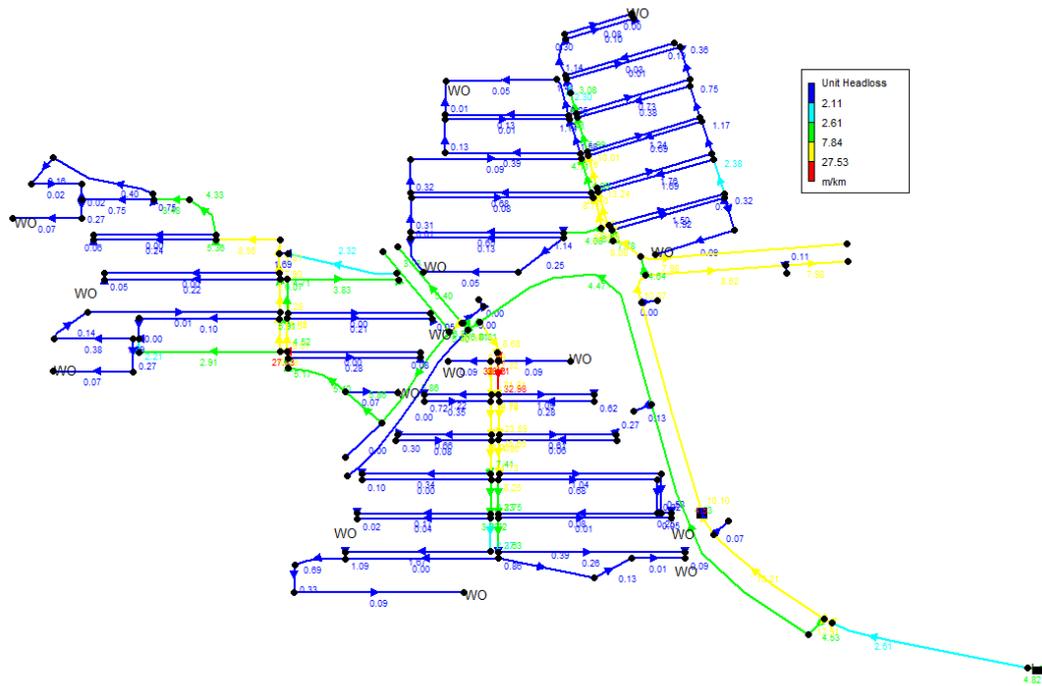


**Gambar 5.** Kecepatan aliran perumahan Samanea Hill.

### 3.3.3. Evaluasi *headloss*

Pada evaluasi jaringan ditinjau dari kehilangan tekanan (*headloss*), kriteria desain untuk mengevaluasi nilai *headloss* yang digunakan adalah sebesar  $< 10$  m/km. *Headloss* merupakan berkurangnya energi akibat gesekan air dalam pipa. Nilai *headloss* yang tinggi akan mengurangi energi statis di titik pengambilan air atau *node*. Semakin kecil diameter pipa akan memperbesar nilai kehilangan tekanannya. Sehingga, tingginya nilai *headloss* akan mempengaruhi sisa tekan di setiap titik pengambilan air.

Berdasarkan hasil evaluasi, ditinjau dari kecepatan aliran terdapat beberapa titik yang tidak sesuai kriteria desain. Dalam *headloss* terdapat pipa yang memiliki kehilangan tekanan lebih besar dari 10 m/km, nilai *headloss* yang tidak sesuai kriteria berada pada rentang 10,07 - 38,21 m/km. *Headloss* yang melebihi kriteria desain dapat menyebabkan masalah *water hammer*, yaitu fenomena di mana lonjakan tiba-tiba terjadi dalam pipa dan dapat merusak sistem perpipaan (Tefera and Dananto 2022). Hasil simulasi yang menunjukkan *headloss* yang tidak sesuai kriteria desain ditunjukkan pada **Gambar 6**.



**Gambar 6.** *Headloss perumahan Samanea Hill.*

Berdasarkan hasil simulasi, jaringan distribusi *eksisting* yang tidak memenuhi syarat kriteria desain merupakan kecepatan dan *headloss*, agar jaringan sistem distribusi air minum di perumahan Samanea Hill memenuhi kriteria desain seperti yang terlampir pada PerMenPUPR Nomor 27 Tahun 2016. Perbaikan ini perlu dilakukan agar sistem jaringan distribusi air minum di perumahan Samanea Hill dapat memenuhi persyaratan teknis sistem distribusi dan mampu melayani kebutuhan air minum ke seluruh daerah pelayanan selama 24 jam. Adapun hal yang dapat dilakukan untuk mengurangi nilai hilang tekan ini yaitu dengan memperbesar diameter pipa dengan maksud memperbesar luas penampang pipa sehingga mengurangi gesekan fluida terhadap dinding pipa (Rahayu *et al.* 2021).

Perbaikan sistem perpipaan dapat dilakukan dengan berbagai cara. Untuk pipa yang memiliki kecepatan aliran  $< 0,3$  m/detik, dapat dilakukan perbaikan dengan mengganti ukuran diameter pipa menjadi lebih kecil. Begitu juga dengan nilai *headloss* yang tinggi dalam pipa, dapat diturunkan dengan mengganti diameter pipa, karena *headloss* dan kecepatan pipa saling berhubungan dengan luas penampang yang didapat.

#### 4. KESIMPULAN DAN SARAN

Sistem perumahan Samanea Hill memiliki total kapasitas sebanyak 34,59 liter/detik, jumlah tersebut harus mampu memenuhi kebutuhan pelanggan yaitu sebanyak 177,59 liter/jiwa/hari di pelayanan perumahan Samanea Hill. Mengingat total kebocoran air minum dari jaringan distribusi *eksisting* perumahan Samanea Hill mencapai 21,18% dan faktor  $Q_{\max}$  1,2, maka kondisi jaringan distribusi air minum yang diproduksi saat ini belum cukup untuk terdistribusi sepenuhnya ke pelanggan.

Dari hasil evaluasi simulasi hidrolis menggunakan *software* EPANET 2.0 menunjukkan bahwa pendistribusian sebanyak 203 *junction* sudah sesuai dengan standar kriteria desain untuk sisa tekan, di mana wilayah pelayanan memiliki sisa tekan tidak kurang dari 10 meter pada wilayah klaster 1 – klaster 3. Namun, pada wilayah pelayanan terdapat beberapa titik mengenai kecepatan aliran yang <0,3 m/detik. Faktor yang mempengaruhi kecepatan ini karena diameter pipa yang terlalu besar yang menyebabkan kecepatan aliran di bawah standar kriteria desain, yaitu 0,3 m/detik. Untuk parameter kecepatan yang tidak memenuhi standar kriteria desain dapat dilakukan dengan mengganti diameter pipa *eksisting* menjadi lebih kecil dari pipa *eksisting*. Hasil evaluasi hidrolis ini dapat dijadikan sebagai dasar acuan untuk memperbaiki permasalahan parameter hidrolis pada jaringan distribusi *eksisting* supaya jaringan distribusi dapat lebih optimal. Penelitian selanjutnya dapat mempertimbangkan pengukuran langsung pada sistem distribusi air, pengukuran langsung akan memberikan validasi empiris terhadap model dan memastikan representasi yang lebih akurat terhadap kondisi lapangan.

#### 5. UCAPAN TERIMAKASIH

Penulis mengucapkan terima kasih pertama kepada Kang Iftikar Rizkia Nugraha, S.T. yang sudah banyak memberikan data dan juga membantu penulis dalam mengolah data, memberi ilmu mengenai permasalahan hidrolis. Terima kasih juga kepada teman-teman Teknik Lingkungan yang tidak dapat penulis sebutkan satu persatu yang telah memberi dukungan serta *support* kepada penulis sehingga naskah ini dapat diselesaikan.

## 6. DAFTAR PUSTAKA

- Agunwamba JC, Ekwule OR and Nnaji CC. 2018. Performance evaluation of a municipal water distribution system using waterCAD and Epanet. *Journal of Water Sanitation and Hygiene for Development* 8(3):459-467. <https://doi.org/10.2166/washdev.2018.262>
- Awe OM, Okolie STA and Fayomi OSI. 2019. Review of water distribution systems modelling and performance analysis softwares. *Journal of Physics: Conference Series* 1378:022067. <https://doi.org/10.1088/1742-6596/1378/2/022067>
- Badan Pengawas Keuangan dan Pembangunan Perwakilan Provinsi Jawa Barat. 2021. Laporan hasil evaluasi kinerja Perusahaan Umum Daerah Air Minum Tirta Kahuripan Kabupaten Bogor.
- [BIG] Badan Informasi Geospasial. 2023. Peta per wilayah Provinsi Jawa Barat [internet]. Tersedia di: <https://tanahair.indonesia.go.id/portal-web/>
- Direktorat Jenderal Cipta Karya Departemen Pekerjaan Umum. 1996. Kriteria perencanaan air bersih. Departemen Pekerjaan Umum. Jakarta.
- Direktorat Jenderal Cipta Karya Departemen Pekerjaan Umum. 1998. Petunjuk teknis perencanaan rancangan teknik sistem penyediaan air minum perkotaan. Departemen Pekerjaan Umum. Jakarta.
- Direktorat Jenderal Cipta Karya Departemen Pekerjaan Umum. 2000. Kriteria penyediaan air bersih. Departemen Pekerjaan Umum. Jakarta.
- Khalfan K, Nassri A and Yahia HAM. 2018. Problem of low pressure in water distribution system in Barka [Proceeding]. *Proceedings of the 8<sup>th</sup> National Symposium on Engineering Final Year Projects*.
- Mathye RP, Scholz M and Nyende-Byakika S. 2022. Optimal pressure management in water distribution systems: efficiency indexes for volumetric cost performance, consumption and linear leakage measurements. *Water (Switzerland)* 14(5):805. <https://doi.org/10.3390/w14050805>
- Miseno BGB, Samadikun BP and Sarminingsih A. 2022. Analysis and evaluation of West Semarang distribution pipe network system municipal waterworks in Semarang City. *Jurnal Presipitasi* 19(1):199-207. <https://doi.org/10.14710/presipitasi.v19i1.199-207>

- Nugraha IR, Sururi MR, Sulistiowati LA. 2017. Evaluasi sistem distribusi air minum PDAM Tirta Kerta Raharja Cabang Teluknaga Kabupaten Tangerang. *Jurnal Teknik Lingkungan* 23(1):87-89.
- Oktavianto AA dan Rosariawari F. 2023. Analisis fluktuasi pemakaian air bersih di pemukiman desa. *Jurnal Sains dan Teknologi* 2(3):543-549. <https://doi.org/10.55123/insologi.v2i3.1940>
- PerMenDagri (Peraturan Menteri Dalam Negeri) Nomor 71 Tahun 2016 tentang perhitungan dan penetapan tarif air minum.
- PerMenPUPR (Peraturan Menteri Pekerjaan Umum dan Perumahan Rakyat) Nomor 27 Tahun 2016 tentang Penyelenggaraan Sistem Penyediaan Air Minum.
- PP (Peraturan Pemerintah) Nomor 122 Tahun 2015 tentang sistem penyediaan air minum.
- Rahayu P, Kemala PD dan Indriyani N. 2021. Pengaruh diameter pipa pada aliran fluida terhadap nilai head loss. *Jurnal Agitasi* 2(1):23-32.
- Ramana GV, Sudheer VSS and Prasad LVN. 2016. Hydraulic simulation of existing water distribution system using EPANET at Dire Dawa City, Ethiopia. *Indian Journal of Science and Technology* 9(1):1-9. <https://doi.org/10.17485/ijst/2016/v9iS1/106859>
- Sukmawardani M, Sururi MR and Sutadian AD. 2020. Evaluasi hidrolis jaringan distribusi air minum sistem beber PDAM Tirta Jati Kabupaten Cirebon. *Jurnal Teknologi Lingkungan* 22(1):58-67.
- Tefera TZ and Dananto M. 2022. Evaluating the hydraulic performance of existing water supply distribution system: the case of Tebela Town of Wolaita Zone, Southern Ethiopia. *International Journal of Advanced Multidisciplinary* 1(3):181-198. <https://doi.org/10.38035/ijam.v1i3.62>
- Twort AC, Law FM, Crowley FW and Ratnayaka DD. 1994. *Water supply* (4<sup>th</sup> edition). Edward Arnold (Publisher) Ltd. London.
- Zlatanović L, van der Hoek JP and Vreeburg JHG. 2017. An experimental study on the influence of water stagnation and temperature change on water quality in a full-scale domestic drinking water system. *Water Research* 123:761-772. <https://doi.org/10.1016/j.watres.2017.07.019>

# Analisis daya dukung air tanah dengan metode statis di bentang lahan pesisir Kapanewon Temon, Kabupaten Kulon Progo

## *Analysis of groundwater carrying capacity with static method in Kapanewon Temon coastal landscape, Kulon Progo Regency*

Diah Retno Wati<sup>1\*</sup>, Tjahyo Nugroho Adji<sup>2</sup>, Noorhadi Rahardjo<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Magister Pengelolaan Lingkungan, Sekolah Pascasarjana, Universitas Gadjah Mada, Yogyakarta, Indonesia

<sup>2</sup>Fakultas Geografi, Universitas Gadjah Mada, Yogyakarta, Indonesia

### **Abstrak.**

Pemanfaatan air bersih secara cerdas dalam ekosistem diperlukan untuk menjaga keseimbangan sumber daya air agar ketersediaannya tidak menurun. Hal tersebut perlu dilakukan terutama pada air tanah yang menjadi salah satu sumber air bersih. Kapanewon Temon terletak di bentang lahan pesisir yang saat ini memiliki bandara baru yaitu Bandara Yogyakarta International Airport (YIA), dengan keberadaan bandara tersebut berpotensi meningkatkan kebutuhan akan air bersih. Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui status daya dukung air tanah di Kapanewon Temon, Kabupaten Kulon Progo. Metode yang digunakan dalam penelitian ini adalah metode survei melalui data primer dengan didukung data sekunder terhadap berbagai objek kajian tentang air tanah untuk kebutuhan air bersih. Hasil survei kemudian dianalisis secara deskriptif kuantitatif. Dalam hal ini, status daya dukung ekosistem bentang lahan pesisir Kapanewon Temon termasuk dalam kategori aman.

Kata kunci: daya dukung, air tanah, pesisir, Kapanewon Temon

### **Abstract.**

*In order to keep the ecosystem's water resources in balance and prevent a decline in their availability, wise use of clean water is essential. In particular, since groundwater is one of the sources of clean water, this needs to be done. Kapanewon Temon which is located on a coastal stretch that currently has a new airport, namely Yogyakarta International Airport (YIA), which has the potential to increase the need for clean water. This study aims to determine the status of groundwater carrying capacity in Kapanewon Temon, Kabupaten Kulon Progo. The method used in this research is a survey method with primary data supported by secondary data on various study objects regarding groundwater for clean water needs. The survey results were then analyzed descriptively qualitatively and quantitatively. In this case, the status of the carrying capacity of the Kapanewon Temon coastal ecosystem is in the safe category.*

*Keywords: carrying capacity, groundwater, coastal, Kapanewon Temon*

## **1. PENDAHULUAN**

Lingkungan adalah segala sesuatu yang mencakup keberadaan fisik sumber daya alam baik tanah, air, udara, flora dan fauna. Fungsi lingkungan adalah untuk menopang kehidupan makhluk hidup dan aktivitas manusia. Menurut Effendi *et al.* (2018), lingkungan merupakan komponen biologi dan abiotik yang mengelilingi organisme individual atau spesies, yang memiliki kontribusi dalam kesejahteraan manusia. Ekosistem dimaknai sebagai tatanan kesatuan antara komponen lingkungan hidup yang saling berinteraksi dan membentuk suatu kesatuan yang tertata. Ekosistem dapat dikatakan bagian dari lingkungan hidup. Keseimbangan ekosistem dapat terjadi seiring dengan kondisi lingkungan yang tidak terganggu.

---

\* Korespondensi Penulis  
Email : [diahretno97@mail.ugm.ac.id](mailto:diahretno97@mail.ugm.ac.id)

Salah satu keseimbangan ekosistem yang perlu dijaga adalah ekosistem bentang lahan. Bentang lahan adalah permukaan bumi yang di dalamnya terdapat hubungan yang saling berkaitan dan saling ketergantungan antara berbagai komponen lingkungan, seperti tanah, air, udara, batuan serta tumbuhan dan hewan yang mempengaruhi keberlangsungan kehidupan masyarakat yang tinggal di dalamnya (Verstappen 1983 dalam P3E Sumatera 2015). Ekosistem bentang lahan mencakup komponen biotik, abiotik dan kultural pada suatu bentangan permukaan bumi.

Kebijakan penggunaan air bersih perlu diterapkan dalam mempertahankan keseimbangan ekosistem sumber daya agar ketersediaannya tidak semakin menurun. Kebutuhan air bersih bagi masyarakat merupakan suatu hal yang penting untuk keberlangsungan hidup setiap hari. Keseimbangan makhluk hidup dengan lingkungan berkaitan erat dengan ketersediaan daya dukung lingkungan yang ada. Daya dukung lingkungan sebagai salah satu faktor penentu kesejahteraan bagi masyarakat (KLHK 2019).

Penentuan daya dukung lingkungan hidup dilakukan dengan memahami kemampuan lingkungan hidup dalam menunjang dan memudahkan aktivitas manusia sebagai pengguna ekosistem agar dapat berkelanjutan untuk keberlangsungan kehidupan (Setyaningrum dan Prasetya 2017). Daya dukung pada kebutuhan air bersih adalah salah satu faktor penting penunjang kehidupan. Pada kondisi saat ini, terjadi ketidakseimbangan antara jumlah ketersediaan air dengan kebutuhan air di lingkungan (Haryanto *et al.* 2013; Santosa 2015). Kebutuhan air terus meningkat sedangkan ketersediaan air terus berkurang. Dalam hal sumber daya air, pengelolaan air harus dilakukan secara efisien berdasarkan ketersediaan dan kebutuhan air.

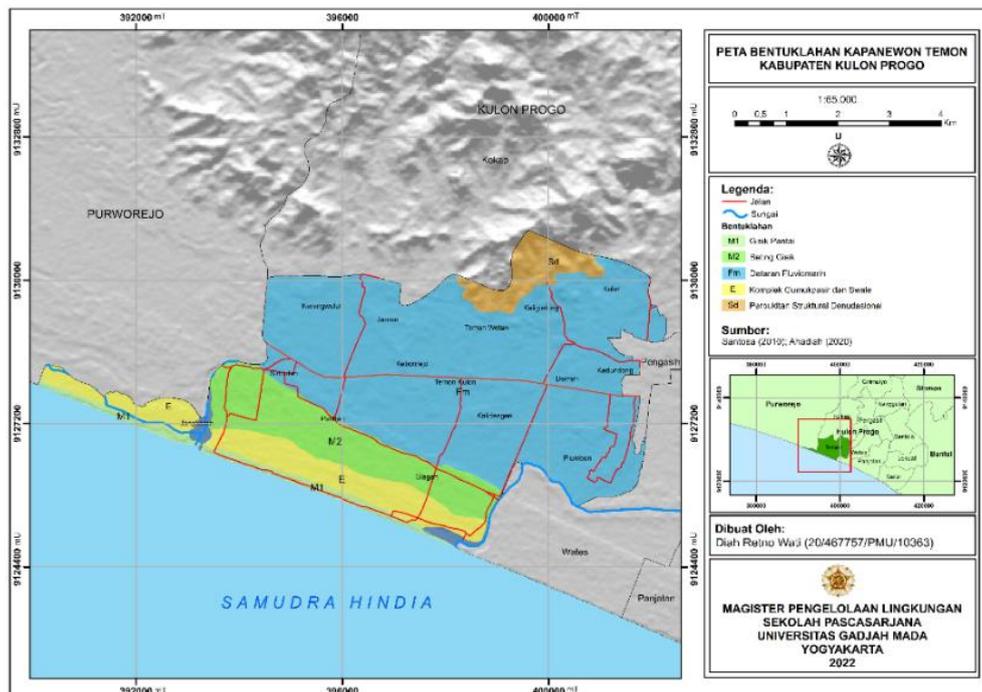
Kabupaten Kulon Progo direncanakan menjadi kota metropolitan untuk melangkah menjadi kota maju (Widiyanto 2019). Hal tersebut didukung dengan adanya Bandara Yogyakarta International Airport yang terletak di pesisir Kapanewon Temon, Kabupaten Kulon Progo. Perkembangan kawasan bandara juga dapat berisiko pada eksploitasi air tanah, sehingga dapat menyebabkan terjadinya intrusi air laut (Solekhan 2016). Bandara tersebut juga berpotensi meningkatkan jumlah penduduk dan kebutuhan air bersih. Potensi daya dukung air di Kapanewon Temon untuk saat ini perlu dikaji agar dapat diketahui kemampuan dari lingkungannya. Tujuan

penelitian ini adalah untuk mengetahui daya dukung air tanah di Kapanewon Temon, Kabupaten Kulon Progo.

## 2. METODOLOGI

### 2.1. Lokasi kajian dan waktu penelitian

Metode yang digunakan dalam penelitian ini yaitu metode survei yang mengutamakan data primer didukung dengan data sekunder terhadap berbagai objek kajian tentang air tanah untuk kebutuhan air bersih. Data diamati dan diukur secara *sampling*. Metode penentuan sampel yaitu *purposive sampling* dengan pertimbangan tertentu (Sugiyono 2016). Data primer pada penelitian ini adalah data kebutuhan air tanah domestik yang didapatkan melalui wawancara langsung dengan responden terkait jumlah penggunaan air tanah setiap orang setiap harinya pada masing-masing bentuk lahan. Data sekunder yang diperlukan yaitu kebutuhan air tanah Bandara YIA (Yogyakarta International Airport), data kependudukan, data karakteristik air tanah, serta peta bentang lahan di Kapanewon Temon (**Gambar 1**).



**Gambar 1.** Peta bentuk lahan Kapanewon Temon, Kabupaten Kulon Progo.

Analisis data dilakukan secara deskriptif kuantitatif untuk mengetahui gambaran secara nyata terkait sumber air bersih dan jumlah penggunaan air bersih masyarakat di setiap satuan bentang lahan yang berbeda. Analisis daya dukung air tanah

didapatkan dengan menghitung rasio perbandingan ketersediaan air tanah dan kebutuhan air tanah pada setiap bentuk lahan.

Perhitungan ketersediaan dan kebutuhan air tanah akan dibandingkan untuk mengetahui status daya dukung air tanah di masing-masing bentuk lahan pada ekosistem bentang lahan di Kapanewon Temon, Kabupaten Kulon Progo. Ketersediaan air tanah dihitung dengan metode statis (Todd and Mays 2005) menggunakan rumus yang terdapat pada **Persamaan 1** dan **Persamaan 2**.

$$V_{at} = S_y \times V_{ak} \dots\dots\dots(1)$$

$$V_{ak} = A \times D \dots\dots\dots(2)$$

Keterangan:

$V_{at}$  = Volume air tanah aman ( $m^3$ )

$S_y$  = Specific yield

$V_{ak}$  = Volume akuifer ( $m^3$ )

$D$  = Ketebalan akuifer (m)

$A$  = Luas penampang akuifer ( $m^2$ )

Kebutuhan air tanah pada penelitian ini dengan menghitung kebutuhan air rumah tangga dan kebutuhan air Bandara Yogyakarta International Airport (YIA). Kebutuhan air rumah tangga (**Persamaan 3**) diacu berdasarkan Peraturan Menteri Negara Lingkungan Hidup Nomor 17 tahun 2009 tentang Pedoman Penentuan Daya Dukung Lingkungan Hidup dalam Penataan Ruang Wilayah, sebagai berikut:

$$D_A = N \times KHL_A \dots\dots\dots(3)$$

Keterangan:

$D_A$  = Total kebutuhan air ( $m^3$ /tahun)

$N$  = Jumlah penduduk (orang)

$KHL_A$  = Kebutuhan air untuk hidup layak (liter/hari)

Kebutuhan air Bandara YIA diperoleh melalui survei lapangan dan wawancara langsung dengan pihak bandara YIA. Penggunaan air di Bandara umumnya digunakan di beberapa fasilitas bandara seperti terminal, kantor, masjid, taman, *landside*, pemanas/pendingin sentral, *power house (operated functions)*, dan kantor pemadam kebakaran (Vurmaz and Boyacioglu 2018). Analisis status daya dukung lingkungan dengan pendekatan air (SDDL-Air) dilakukan dengan membandingkan antara kondisi ketersediaan air dengan kebutuhan air yang ada di ekosistem bentang lahan pesisir Kapanewon Temon. Berdasarkan PerMenLH Nomor 17 Tahun 2009, perbandingan jumlah ketersediaan air dengan kebutuhan air pada wilayah penelitian ini menjadi acuan dalam penentuan status daya dukung lingkungan. Kriteria penetapan status

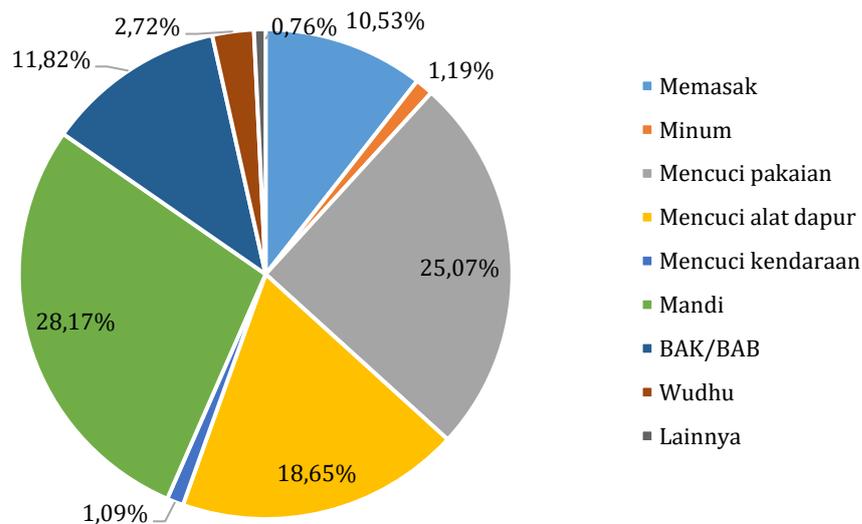
DDL-Air yang digunakan berdasarkan Prastowo (2010) dalam Setyaningrum dan Prasetya (2017), yaitu:

1. Perbandingan ketersediaan/kebutuhan dengan nilai  $> 2$  termasuk daya dukung lingkungan aman (*sustain*)
2. Perbandingan ketersediaan/kebutuhan dengan nilai 1-2 termasuk daya dukung lingkungan aman bersyarat (*conditional sustain*)
3. Perbandingan ketersediaan/kebutuhan dengan nilai  $< 1$  termasuk daya dukung lingkungan telah terlampaui (*overshoot*)

### 3. HASIL DAN PEMBAHASAN

#### 3.1. Kebutuhan air

Jumlah kebutuhan air pada penelitian ini dikaji berdasarkan jumlah kebutuhan air rumah tangga dan kebutuhan air Bandara Internasional Yogyakarta. Kebutuhan air yang digunakan untuk memenuhi keperluan domestik berdasarkan jumlah penduduk pada daerah penelitian. Berdasarkan hasil survei di lapangan, penggunaan air rumah tangga di daerah penelitian paling banyak digunakan untuk mandi dan mencuci pakaian (**Gambar 2**). Jumlah penggunaan air yang digunakan untuk mandi sebesar 28,17%, mencuci pakaian 25,07% dan mencuci alat dapur 18,65% dari total jumlah penggunaan air. Sementara itu, rerata penggunaan air didapatkan di setiap bentuk lahannya.



**Gambar 2.** Grafik presentase penggunaan air rumah tangga di bentang lahan pesisir Kapanewon Temon.

Berdasarkan hasil wawancara dengan masyarakat didapatkan bahwa di bentuk lahan dataran fluviomarin memiliki jumlah penggunaan air yang paling banyak sebesar 174,3 liter/orang/hari, penggunaan air di bentuk lahan beting gisik sebesar 138,1 liter/orang/hari, penggunaan air di bentuk lahan kompleks guduk pasir dan swale sebesar 155 liter/orang/hari, sedangkan bentuk lahan gisik pantai memiliki penggunaan air paling sedikit yaitu 122,7 liter/orang/hari. Meningkatnya kebutuhan air disebabkan oleh pertambahan jumlah penduduk, peningkatan taraf hidup penduduk, dan perkembangan kota/wilayah pelayanan, atau faktor-faktor yang berkaitan dengan perbaikan kondisi sosial dan perekonomian (Chaiddir dan Eveline 2015).

Total kebutuhan air rumah tangga di setiap bentuk lahannya memerlukan data jumlah penduduk. Besar kecilnya jumlah penduduk merupakan faktor utama yang mempengaruhi besarnya jumlah kebutuhan air domestik di suatu daerah. Perhitungan jumlah penduduk yang berada di setiap bentuk lahan didapatkan berdasarkan persentase luas setiap kalurahan yang dibandingkan dengan jumlah penduduk masing-masing kalurahannya (**Tabel 1**).

**Tabel 1.** Perhitungan jumlah penduduk di lokasi penelitian.

Bentuk lahan	Kalurahan	Luas kalurahan (Ha)	Luas kalurahan di bentuk lahan (Ha)	Persentase luas kalurahan (%)	Jumlah penduduk kalurahan (jiwa)	Jumlah penduduk di bentuk lahan (jiwa)	Total jumlah penduduk di bentuk lahan (jiwa)
Dataran Fluviomarin	Kaligintung	306,47	198,29	64,7%	1.705	1.103	<b>21.351</b>
	Kulur	231,54	210,87	91,1%	2.777	2.529	
	Karangwuluh	156,08	156,08	100%	1.060	1.060	
	Janten	146,09	146,09	100%	1.415	1.415	
	Temon Kulon	172,68	170,77	98,9%	1.725	1.706	
	Sindutan	277,55	169,37	61,0%	2.171	1.325	
	Temon Wetan	174,85	127,89	73,1%	1.535	1.123	
	Kebonrejo	153,93	153,93	100%	1.485	1.485	
	Kedundang	163,61	163,61	100%	2.442	2.442	
	Palihan	375,92	180,95	48,1%	1.848	890	
	Demem	89,39	89,39	100%	1.463	1.463	
	Jangkar	372,04	14,97	4,0%	1.977	80	
	Kalidengen	152,44	152,44	100%	1.416	1.416	
	Plumbon	311,66	311,66	100%	2.312	2.312	
Glagah	609,87	208,68	34,2%	2.932	1.003		
Beting Gisik	Sindutan	277,55	61,08	22,0%	2.171	478	<b>2.717</b>
	Palihan	375,92	109,90	29,2%	1.848	540	

Bentuk lahan	Kalurahan	Luas kalurahan (Ha)	Luas kalurahan di bentuk lahan (Ha)	Persentase luas kalurahan (%)	Jumlah penduduk kalurahan (jiwa)	Jumlah penduduk di bentuk lahan (jiwa)	Total jumlah penduduk di bentuk lahan (jiwa)
	Jangkaran	372,04	136,80	36,8%	1.977	727	
	Glagah	609,87	202,21	33,2%	2.932	972	
Komplek Gumuk Pasir dan Swale	Sindutan	277,55	37,64	13,6%	2.171	294	2.133
	Palihan	375,92	65,14	17,3%	1.848	320	
	Jangkaran	372,04	152,27	40,9%	1.977	809	
	Glagah	609,87	147,62	24,2%	2.932	710	
Gisik Pantai	Sindutan	277,55	9,45	3,4%	2.171	74	641
	Palihan	375,92	20,24	5,4%	1.848	100	
	Jangkaran	372,04	60,27	16,2%	1.977	320	
	Glagah	609,87	30,72	5%	2.932	148	

Bentuk lahan dataran fluviomarin memiliki luas paling besar dengan jumlah penduduk 21.351 jiwa. Jumlah penduduk pada bentuk lahan beting gisik adalah 2.717 jiwa, sedangkan jumlah penduduk di bentuk lahan kompleks gumuk pasir dan swale 2.133 jiwa. Jumlah penduduk paling sedikit terdapat di bentuk lahan gisik pantai yang memiliki luas bentuk lahan yang paling kecil dibandingkan yang lain dengan jumlah penduduk 641 jiwa. Jumlah penduduk berbanding lurus dengan besarnya luas daerah kajian.

Berdasarkan perhitungan kebutuhan air rumah tangga yang terdapat pada **Tabel 2**, didapatkan jumlah kebutuhan air di ekosistem bentang lahan pesisir sebesar 4.654.989 liter/hari atau 1.699.070.620 liter/tahun. Perhitungan kebutuhan air rumah tangga didapatkan dari perkalian jumlah penggunaan air setiap orang dengan jumlah penduduk yang berada di masing-masing bentuk lahan. Pada bentuk lahan dataran fluviomarin dengan kebutuhan air paling banyak sebesar 473.523 liter/hari. Bentuk lahan beting gisik dengan kebutuhan air setiap harinya 294.706 liter/hari. Bentuk lahan kompleks gumuk pasir dan swale dengan kebutuhan air sebesar 330.615 liter/hari, sedangkan di bentuk lahan gisik pantai dengan kebutuhan air paling kecil sebesar 228.196 liter/hari.

**Tabel 2.** Kebutuhan air rumah tangga di ekosistem bentang lahan Pesisir Kapanewon Temon.

Bentuk lahan	Penggunaan air (L/orang/hari)	Jumlah penduduk	Kebutuhan air (L/Hari)	Kebutuhan air rumah tangga (L/Tahun)
Dataran fluviomarin (Fm)	174	21.351	3.720.869	1.358.117.185
Beting gisik (M2)	138	2.717	375.308	136.987.420
Komplek gumuk pasir dan swale (E)	155	2.133	330.615	120.674.475
Gisik pantai (M1)	356	641	228.196	83.291.540
<b>Jumlah</b>			<b>4.654.989</b>	<b>1.699.070.620</b>

Penggunaan air Bandara Internasional Yogyakarta dikaji pada kebutuhan bandara yang terletak di ekosistem bentang lahan pesisir. Menurut DPMPSTP Kabupaten Kulon Progo (2021), Bandara Internasional Yogyakarta telah memiliki sertifikat “Gold” *GreenShip* dari *Green Building Council Indonesia* (GBCI) dan menjadi bandara pertama di Indonesia yang mendapatkan sertifikat tersebut. Penghargaan tersebut didasari oleh pengelolaan ramah lingkungan dengan tidak menggunakan air tanah untuk memenuhi kebutuhan air di bandara. Hal tersebut memenuhi aspek *water conservation* dan pengelolaan lingkungan bandara. Sumber air yang digunakan di Bandara YIA berasal dari PDAM Tirta Binangun Kulon Progo dan pemanenan air hujan (*rainwater harvesting*).

Jumlah penggunaan air bandara pada tahun 2021 sebesar 65.340.000 liter/tahun. Terdapat 5 (lima) gedung utama di Bandara YIA yang digunakan sebagai fasilitas pelayanan air bersih, yaitu gedung terminal penumpang, gedung administrasi perkantoran, gedung terminal kargo, gedung EMPU (Ekspedisi Muatan Pesawat Udara), dan gedung penunjang lainnya. Gedung-gedung utama tersebut masih terbagi di beberapa fasilitas dalam pelayanan kebutuhan air bersih yang dapat dilihat pada **Tabel 3**. Gedung Terminal Kargo memiliki fasilitas yang paling banyak dan pelayanan air yang baru terdapat pada fasilitas Stasiun Kereta Api Bandara yang pada tahun 2023 sudah mulai beroperasi.

**Tabel 3.** Fasilitas pelayanan air bersih di Bandara YIA.

No	Gedung utama	Fasilitas/komponen
1	Gedung terminal penumpang	-
2	Gedung administrasi perkantoran	Angkasa Pura 1 BMKG Pertamina DPPU Gedung VVIP Pemda DIY
3	Gedung terminal kargo	Workshop GSE Hanggar Gedung catering Krisis center Gedung penghubung, stasiun kereta api bandara, dan parkir TPS (persampahan) STP (Sewerage Treatment Plant)
4	Gedung EMPU	-
5	Gedung penunjang lainnya	Masjid Gedung alat-alat berat (A2B)

Informasi total kebutuhan air yang ditambahkan berdasarkan total kebutuhan rumah tangga dan kebutuhan air Bandara Internasional Yogyakarta terdapat pada **Tabel 4.** Bandara Internasional Yogyakarta menduduki ekosistem bentuk lahan beting gisik. Total kebutuhan air untuk bentuk lahan beting gisik sebesar 202.327.420 liter/tahun, sedangkan untuk total seluruh kebutuhan air sebesar 1.764.410.620 liter/tahun.

**Tabel 4.** Total kebutuhan air.

Bentuk lahan	Kebutuhan air rumah tangga (L/tahun)	Kebutuhan air Bandara YIA 2021 (L/tahun)	Total kebutuhan air (L/tahun)
Dataran fluviomarin (Fm)	1.358.117.185		1.358.117.185
Beting gisik (M2)	136.987.420	65.340.000	202.327.420
Komplek gumuk pasir dan swale (E)	120.674.475		120.674.475
Gisik pantai (M1)	83.291.540		83.291.540
<b>Jumlah</b>	<b>1.699.070.620</b>	<b>65.340.000</b>	<b>1.764.410.620</b>

### 3.2. Ketersediaan air tanah

Ketersediaan air terkait dengan sumber daya air berasal dari sumur dangkal, sumur dalam, mata air, air permukaan, dan sumber air hujan (danau, situ, dan waduk) yang berkaitan dengan siklus air, serta air yang terinfiltrasi ke dalam tanah sebagai pengisian kembali atau *recharge* pada kandungan air tanah yang ada (Sari et al. 2006). Ketersediaan air tanah dalam penelitian ini menggunakan perhitungan potensi air

tanah dengan cadangan statis, yaitu perhitungan berdasarkan volume air tanah. Volume air tanah atau akuifer didapatkan dari perkalian luas akuifer dengan ketebalan akuifer di masing-masing bentuk lahan di ekosistem bentang lahan pesisir.

Perhitungan ketersediaan air tanah terdapat pada **Tabel 5**. Bentuk lahan dataran fluviomarin memiliki ketersediaan air tanah yang paling besar dengan potensi air tanah sebesar 123.847.820,8 m<sup>3</sup> atau 123.847.820.800 liter. Potensi air tanah paling kecil pada bentuk lahan gisik pantai sebesar 19.132.779,6 m<sup>3</sup> atau 19.132.779.600 liter. Besar kecilnya potensi air tanah tersebut berdasarkan luas penampang akuifer dan ketebalan akuifer yang berbeda di setiap bentuk lahan. Selain itu, jenis material akuifer mempengaruhi nilai *specific yield* atau nilai storativitas yang berbeda berdasarkan klasifikasi Todd (1980).

**Tabel 5.** Perhitungan ketersediaan air tanah.

Bentuk lahan	Luas akuifer (m <sup>2</sup> )	Tebal akuifer (m)	Material	S <sub>y</sub>	Ketersediaan air tanah (m <sup>3</sup> )
Dataran fluviomarin (Fm)	24.420.000	31,7	Till, di dominasi pasir	16 %	123.847.820,8
Beting gisik (M2)	5.096.800	46,8	Gemuk pasir	38 %	90.609.211,4
Komplek gumuk pasir dan swale (E)	4.026.700	47,7	Gemuk pasir	38 %	72.942.059,8
Gisik pantai (M1)	1.206.800	41,7	Gemuk pasir	38 %	19.132.779,6
<b>Total potensi ketersediaan air tanah</b>					<b>306.531.872</b>

### 3.3. Daya dukung air tanah

Nilai status daya dukung air tanah didapatkan dari rasio perbandingan antara ketersediaan air tanah dengan kebutuhan air tanah di ekosistem bentang lahan pesisir. Ketersediaan air tanah diestimasi berdasarkan potensi air tanah atau volume air tanah yang telah dihitung sebelumnya, sedangkan untuk kebutuhan air diestimasi dari jumlah kebutuhan air rumah tangga dan jumlah kebutuhan air dari Bandara YIA. Perhitungan status daya dukung air tanah terdapat pada **Tabel 6**. Status daya dukung air tanah menunjukkan bahwa semua daya dukung di ekosistem bentang lahan pesisir memiliki nilai >3 (tergolong baik). Daya dukung pada tahun 2021 didapatkan berdasarkan perbandingan ketersediaan air tanah dengan total kebutuhan air rumah tangga dan kebutuhan *eksisting* bandara tahun 2021.

**Tabel 6.** Perhitungan status daya dukung air tanah.

Bentuk lahan	Ketersediaan air tanah (m <sup>3</sup> )	Total kebutuhan air (liter/tahun)	Status daya dukung air tanah
Dataran fluviomarin (Fm)	123.847.820,8	1.358.117.185	91,2 Baik
Beting gisik (M2)	90.609.211,4	202.327.420	447,8 Baik
Komplek gumuk pasir dan swale (E)	72.942.059,8	120.674.475	604,4 Baik
Gisik pantai (M1)	19.132.779,6	83.291.540	229,7 Baik
<b>Total</b>	<b>306.531.872</b>	<b>1.764.410.620</b>	<b>173,7 Baik</b>

Daya dukung air tanah paling besar pada tahun 2021 terdapat pada bentuk lahan gumuk pasir dan swale dengan nilai 604,4; sedangkan untuk nilai daya dukung paling kecil di tahun 2021 terdapat pada bentuk lahan dataran fluviomarin dengan nilai 91,2. Daya dukung pada bentuk lahan beting gisik yang ditambahkan dengan kebutuhan air Bandara Internasional Yogyakarta memiliki nilai 447,8.

Perbedaan nilai daya dukung air tanah pada masing-masing bentuk lahan berkaitan dengan jumlah ketersediaan air tanah dan kebutuhan air. Di bentuk lahan dataran fluviomarin dengan ketersediaan air tanah paling besar, namun diikuti dengan kebutuhan air yang besar pula. Nilai daya dukung lingkungan di ekosistem bentuk lahan Kapanewon Temon sebesar 173,7 yang menunjukkan kategori baik atau aman.

#### 4. KESIMPULAN DAN SARAN

Total kebutuhan air di ekosistem bentang lahan pesisir Kapanewon Temon berdasarkan penjumlahan kebutuhan air rumah tangga dan kebutuhan air Bandara YIA pada tahun 2021 sebesar 1.764.410.620 liter/tahun. Perhitungan statis ketersediaan air tanah di ekosistem bentang lahan pesisir Kapanewon Temon sebesar 306.531.872 m<sup>3</sup>. Status daya dukung ekosistem bentang lahan pesisir Kapanewon Temon berdasarkan total kebutuhan air dan ketersediaan air termasuk dalam kategori baik atau aman.

#### 5. UCAPAN TERIMAKASIH

Ucapan terima kasih ditujukan kepada Ibu Dekan, Bapak Ketua Program Studi, Bapak Ketua Minat Studi, Bapak Pembimbing beserta rekan-rekan yang telah mendukung penelitian ini terkait daya dukung air tanah di bentang lahan Pesisir Kapanewon Temon, Kabupaten Kulon Progo.

## 6. DAFTAR PUSTAKA

- Chaiddir M dan Eveline M. 2015. Perencanaan sistem penyediaan air bersih di Desa Taratara Kecamatan Tomohon Barat. *Jurnal TEKNO* 13(64):39-40. <https://doi.org/10.35793/jts.v13i64.9741>
- [DPMPTSP] Dinas Penanaman Modal dan Pelayanan Terpadu Satu Pintu Kabupaten Kulon Progo. 2021. YIA jadi bandara pertama di Indonesia yang meraih sertifikat "Gold" *Greenship Building* [Internet]. Tersedia di: <https://dpmppt.kulonprogokab.go.id/detil/1251/yia-jadi-bandara-pertama-di-indonesia-yang-meraih-sertifikat-gold-greenship-building>.
- Effendi R, Salsabila H dan Malik A. 2018. Pemahaman tentang lingkungan berkelanjutan. *Modul* 18(2):75-82. <https://doi.org/10.14710/mdl.18.2.2018.75-82>
- Haryanto TE, Fathurrazie S, Rudy S and Zaenal K. 2013. Actual water availability and water needs in irrigation area of Riam Kanan in South Kalimantan Province. *Academic Research International* 4(6):580-593.
- [KLHK] Kementerian Lingkungan Hidup dan Kehutanan. 2019. Informasi daya dukung dan daya tampung air nasional. Jakarta.
- [P3E Sumatera] Pusat Pengendalian Pembangunan Ekoregion Sumatera. 2015. Daya dukung dan daya tampung lingkungan hidup Ekoregion Sumatera berbasis jasa ekosistem. Pusat Pengendalian Pembangunan Ekoregion Sumatera. Pekanbaru.
- PerMenLH (Peraturan Menteri Negara Lingkungan Hidup) Nomor 17 Tahun 2009 tentang pedoman penentuan daya dukung lingkungan hidup dalam penataan ruang wilayah.
- Prastowo. 2010. Daya dukung lingkungan aspek sumberdaya air. Pusat Pengkajian Perencanaan dan Pengembangan Wilayah - *Working Paper* 1.
- Santosa LW. 2015. Keistimewaan Yogyakarta dari sudut pandang geomorfologi. Gadjah Mada University Press. Yogyakarta.
- Sari IK, Limantara LM dan Priyantoro D. 2006. Analisa ketersediaan dan kebutuhan air pada DAS Sampean. *Jurnal Pengairan* 1(1):3.
- Setyaningrum N dan Prasetya GA. 2017. Analisa ketersediaan dan kebutuhan air untuk daya dukung lingkungan: studi kasus di Kabupaten Bojonegoro. Seminar Nasional Geomatika: Inovasi Teknologi Penyediaan Informasi Geospasial untuk Pembangunan Berkelanjutan, Badan Informasi Geospasial.
- Solekhan M. 2016. Sustainable groundwater resource management. *International Journal of Business, Economic and Law* 10(4):89-93.
- Sugiyono. 2016. Metode penelitian kuantitatif, kualitatif dan R&D. PT Alfabet. Bandung.

- Todd DK and Mays LW. 2005. Groundwater hydrology (*third*). John Wiley & Son Inc. New Jersey.
- Todd DK. 1980. Groundwater hydrology. John Wiley & Sons Inc. New York.
- Verstappen HT. 1983. Applied geomorphology: geomorphological surveys for environmental development. Elsevier Science Publisher. Amsterdam.
- Vurmaz MV and Boyacioglu H. 2018. Airport water consumption footprinting. Environment and Ecology Research 6(6):519-524.
- Widiyanto D. 2019. 2019. Manunggal Fair 2019, presentasikan Kulon Progo sebagai kota metropolitan [internet]. Tersedia di: <https://www.krjogja.com/berita-lokal/diy/kulonprogo/manunggal-fair-2019-presentasikan-kulon-progo-sebagai-kota-metropolitan/>.

## **Kajian plankton paska pembersihan tumpahan minyak di *Tambling Wildlife Nature Conservation (TWNC)*, Provinsi Lampung**

### ***Study of plankton post cleaning of oil spill at Tambling Wildlife Nature Conservation (TWNC), Lampung Province***

Maria Edna Herawati<sup>1\*</sup>, Hefni Effendi<sup>2</sup>, Ani Mardiasuti<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Program Studi Pengelolaan Sumberdaya Alam dan Lingkungan, IPB University, Bogor, Indonesia

<sup>2</sup>Departemen Manajemen Sumberdaya Perairan, IPB University, Bogor, Indonesia

#### **Abstrak.**

Perubahan struktur komunitas plankton dapat menjadi salah satu indikator perubahan lingkungan akibat pencemaran minyak. Pencemaran minyak terjadi di sepanjang pesisir pantai kawasan konservasi *Tambling Wildlife Nature Conservation (TWNC)*. Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui struktur komunitas plankton, kelimpahan, indeks keragaman, indeks keseragaman dan indeks dominansi plankton di TWNC. Terdapat 4 kelas fitoplankton di kawasan perairan yaitu Cyanophyceae, Chlorophyceae, Bacillariophyceae dan Dinophyceae. Terdapat 7 kelas zooplankton di perairan yaitu Protozoa, Rotifera, Crustacea, Nematoda, Polychaeta, Gastropoda dan Diptera. Kelimpahan fitoplankton berkisar antara 708.694 – 14.295.651 sel/m<sup>3</sup>, dengan indeks keragaman 0,38 – 1,64 (sedang), indeks keseragaman 0,14 – 0,75 (sedang sampai tinggi) dan indeks dominansi 0,29 – 0,88. Kelimpahan zooplankton berkisar antara 6.000 – 142.609 sel/m<sup>3</sup>, indeks keragaman 0,9 – 1,77 (sedang), indeks keseragaman 0,5 – 0,91 (sedang sampai tinggi) dan indeks dominansi 0,19 – 0,58. Keberadaan plankton di kawasan TWNC tidak dipengaruhi oleh cemaran limbah minyak karena saat penelitian sudah tidak ditemukan adanya paparan limbah minyak.

#### **Abstract.**

*Changes in plankton community structure can be an indicator of environmental changes due to oil pollution. Oil pollution occurs along the coast of the Tambling Wildlife Nature Conservation (TWNC) area. This research aims to determine the plankton structure community including: abundance, diversity index, evenness index and dominance index in the TWNC area. There are 4 classes of phytoplankton in aquatic areas, namely Cyanophyceae, Chlorophyceae, Bacillariophyceae, and Dinophyceae. There are 7 classes of zooplankton in waters, namely: Protozoa, Rotifera, Crustacea, Nematoda, Polychaeta, Gastropoda and Diptera. Phytoplankton ranged 708,694 – 14,295,651 cells/m<sup>3</sup>, diversity index 0.38 – 1.64 (medium), evenness index 0.14 – 0.75 (medium to high) and a dominance index 0.29 – 0.88. Zooplankton abundance ranged 6000 – 142,609 cells/m<sup>3</sup>, diversity index 0.9 – 1.77 (medium), evenness index 0.5 – 0.91 (medium to high) and dominance index 0.19 – 0.58. The presence of plankton in the TWNC area is not influenced by oil waste contamination because at the time of the research no exposure to oil waste was found.*

*Keywords: plankton, composition, TWNC*

Kata kunci: plankton, komposisi, TWNC

## **1. PENDAHULUAN**

Sumber pencemaran utama yang membahayakan ekosistem laut adalah pencemaran minyak, karena laut dan biota sangat rentan terhadap minyak. Minyak dapat menutupi permukaan air laut, dan secara kimia, minyak mengandung senyawa aromatik hidrokarbon yang bersifat racun dan bisa mematikan bagi organisme laut. Minyak bumi memiliki karakteristik yang tidak mudah menguap. Hal ini dapat menyebabkan penurunan kualitas air laut. Minyak bumi mengandung berbagai senyawa kimia berbahaya seperti hidrokarbon, BTEX (benzena, toluena, etilbenzena dan xilena) serta PAH (polisiklik aromatik hidrokarbon).

---

\* Korespondensi Penulis  
Email :maria.edna91@yahoo.com

Ketika minyak bumi mencemari air laut, zat-zat ini dapat larut dalam air dan mengontaminasi lingkungan. Hal ini dapat menyebabkan penurunan kualitas air dan dapat memiliki efek toksik terhadap organisme laut. Minyak bumi merupakan senyawa yang bersifat karsinogenik dan mutagenik sehingga bisa mengganggu kesehatan makhluk hidup. Pencemaran minyak dapat menyebabkan dampak terhadap lingkungan.

Plankton merupakan salah satu indikator pencemaran (Anggraini *et al.* 2016). Beberapa plankton bersifat toleran dan mempunyai respons yang berbeda terhadap perubahan kualitas laut. Aryawati *et al.* (2021) menyebutkan bahwa kelimpahan fitoplankton dapat digunakan sebagai bioindikator pencemaran organik di perairan dan musim. Fungsi perairan berubah akibat dari perubahan struktur dan nilai kuantitatif dari plankton (Yunandar *et al.* 2020). Adanya plankton secara kuantitatif dan kualitatif dapat digunakan untuk mengetahui kesuburan suatu perairan, yaitu dengan mengukur kelimpahan dan distribusi plankton yang berhubungan dengan keseragaman, keanekaragaman dan dominansi. Selain itu, plankton juga dapat berfungsi sebagai bioindikator untuk mengetahui tingkat pencemaran atas perairan, yaitu dengan mengidentifikasi jenis-jenis atau keanekaragaman plankton.

*Tambling Wildlife Nature Conservation* (TWNC) merupakan kawasan konservasi yang berada di wilayah barat daya Provinsi Lampung. Kawasan ini terdiri atas 48.153 ha kawasan hutan dan 14.089 ha kawasan cagar alam laut. Pada tanggal 24 Agustus 2021 ditemukan pencemaran limbah minyak di area konservasi laut *Tambling Wildlife Nature Conservation* (TWNC). Cemarannya berupa minyak mentah berwarna kehitaman yang mengapung di laut. Saat sudah mendarat di pantai, minyak tersebut berubah bentuk menjadi padatan seperti pasta menggumpal dan memenuhi hampir seluruh pesisir pantai TWNC sepanjang ±22 km. Limbah minyak pertama kali ditemukan di bagian timur TWNC yaitu di Pantai Sekawat kemudian semakin bergeser ke arah barat Pantai Blambangan Danau Sleman, sampai pada tanggal 10 September 2021 ditemukan di pantai Mercusuar. Manajemen TWNC telah melakukan tindakan penanggulangan darurat dengan melakukan pembersihan limbah minyak tersebut. Berdasarkan penjelasan tersebut, perlu diketahui bagaimana potensi, kelimpahan, keanekaragaman, keseragaman dan dominansi biota air setelah dilakukan pembersihan minyak di wilayah pesisir TWNC.

## 2. METODOLOGI

### 2.1. Lokasi kajian dan waktu penelitian

Penelitian ini dilaksanakan di *Tambling Wildlife Nature Conservation* (TWNC), bagian dari Taman Nasional Bukit Barisan Selatan (TNBBS), Provinsi Lampung pada Februari 2022. Wilayah yang menjadi fokus penelitian adalah kawasan pesisir mulai dari Pantai Mercusuar sampai dengan Danau Sleman. Pengambilan data lapangan mencakup 3 ekosistem yang terdampak pencemaran, yaitu ekosistem pantai (4 titik), ekosistem muara sungai (3 titik) dan ekosistem danau (2 titik). Pengambilan data dilakukan dengan penyaringan sejumlah volume air laut menggunakan plankton net dengan ukuran mata jaring 35  $\mu\text{m}$ . Selanjutnya, biota yang tersaring disimpan dalam botol plastik 100 ml dan ditambahkan lugol sebagai bahan preservasi.

### 2.2. Prosedur analisis data

Analisis plankton meliputi identifikasi, klasifikasi jenis, kelimpahan dan dominansi. Parameter yang dijadikan indikator dalam analisis adalah kelimpahan, keanekaragaman, keseragaman dan dominansi jenis. Kelimpahan plankton adalah jumlah sel plankton jenis ke-*i* pada volume air tertentu (**Persamaan 1**). Rumus perhitungan indeks keanekaragaman Shannon-Wiener (**Persamaan 2**), indeks keseragaman (**Persamaan 3**) dan indeks dominansi (**Persamaan 4**) ditampilkan sebagai berikut. Persamaan-persamaan tersebut mengacu pada Krebs (1985).

$$A = \frac{O_i}{O_p} \times \frac{V_t}{V_o} \times \frac{1}{V_s} \times \frac{n}{p} \dots \dots \dots (1)$$

Keterangan

A = Kelimpahan plankton (individu/liter atau individu/m<sup>3</sup>);

O<sub>i</sub> = Luas gelas penutup (mm<sup>2</sup>);

O<sub>p</sub> = Luas satu lapang pandang (mm<sup>2</sup>);

V<sub>t</sub> = volume air contoh yang tersaring (ml);

V<sub>o</sub> = Volume satu tetes air contoh (ml);

V<sub>s</sub> = Volume air sampel yang tersaring (ml);

n = jumlah plankton pada seluruh lapang pandang (individu);

p = Jumlah lapang pandang yang diamati

$$H' = \sum [p_i \ln p_i]; p_i = \frac{n_i}{N} \dots \dots \dots (2)$$

Keterangan

H' = Indeks keanekaragaman Shannon-Wiener;

N<sub>i</sub> = Jumlah individu spesies ke-*i*;

N = Jumlah individu seluruh spesies;

p<sub>i</sub> = Proporsi individu jenis ke-*i*

$$E = \frac{H'}{\ln S} \dots\dots\dots(3)$$

Keterangan

E = Indeks keseragaman;

H' = Indeks keanekaragaman Shannon-Wiener;

S = Jumlah jenis (taksa) dalam komunitas

$$D = \sum (n_i/N)^2 \dots\dots\dots(4)$$

Keterangan

C = Indeks Dominansi Simpson

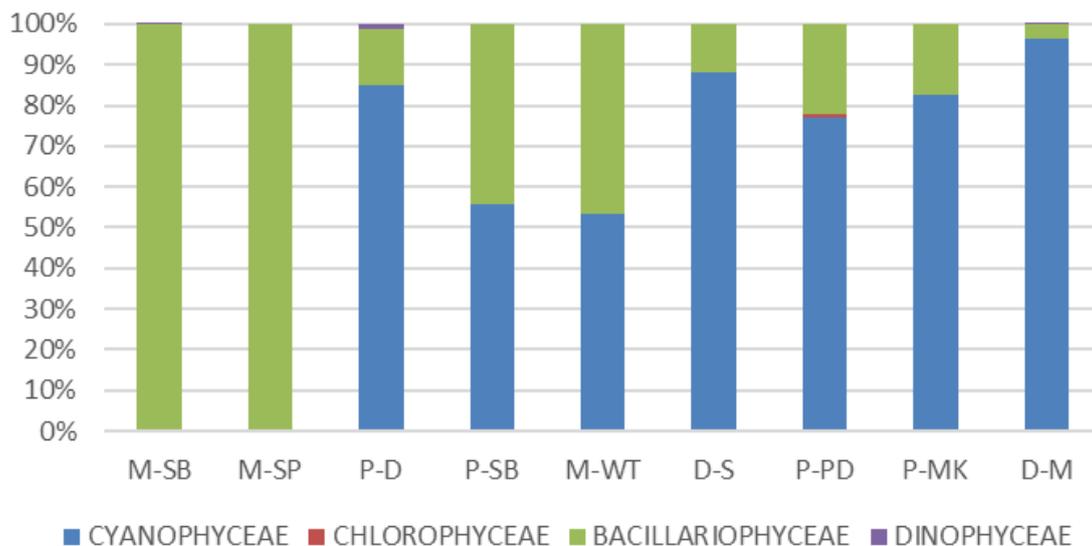
Ni= Jumlah Individu tiap spesies

N = Jumlah Individu seluruh spesies.

### 3. HASIL DAN PEMBAHASAN

Kehadiran plankton bisa menjadi indikasi adanya perubahan kondisi lingkungan (bioindikator). Akmal *et al.* (2021) menyatakan bahwa fitoplankton merupakan salah satu bioindikator kesuburan suatu perairan. Struktur komunitas fitoplankton yang ditemukan di perairan TWNC terdiri atas 4 kelas yaitu: Cyanophyceae, Chlorophyceae, Bacillariophyceae dan Dinophyceae (**Gambar 1**).

Kelas Bacillariophyceae dan Cyanophyceae mendominasi persentase kelimpahan dari total semua fitoplankton. Kelas Bacillariophyceae banyak mendominasi di kawasan danau dan perairan laut, sedangkan Cyanophyceae mendominasi di kawasan muara sungai. Bacillariophyceae umumnya dominan pada perairan yang mengalami *turbulent mixing* yang kuat (Kruk *et al.* 2016).



**Gambar 1.** Komposisi kelimpahan fitoplankton berdasarkan kelas.

Pada perairan dengan *turbulent mixing* yang kuat, Bacillariophyceae terangkat dan tertahan di lapisan permukaan perairan (Omand *et al.* 2015). Dominansi Bacillariophyceae akan meningkat terutama pada bagian perairan yang mengalami pencampuran sempurna yang disebabkan energi pasang surut dan mengalami perubahan, seperti kekeruhan tinggi yang diakibatkan oleh pengaruh pasang surut secara terus menerus (Badylak *et al.* 2014). Cyanobacteria mendominasi perairan yang kaya akan nutrisi (terutama fosfor), berarus lambat atau stagnan dan bersuhu hangat. Keberadaan koloni alga biru yang dominan biasa digunakan sebagai indikator perairan yang kaya akan nutrisi dan sebagai komponen kunci status trofik (Bellinger and Sigeo 2010).

Keberadaan fitoplankton di perairan TWNC berkaitan erat dengan kondisi lingkungan (fisik dan kimia). Jenis yang paling banyak ditemukan di perairan TWNC adalah *Asterionella* sp. (Kelas Bacillariophyceae) dan *Trichodesmium* sp. (Kelas Cyanophyceae). Total kelimpahan *Asterionella* sp. sebanyak 13.689.854 sel/m<sup>3</sup> di Muara Sungai Blimbing, Muara Sungai Pengekahan, Pantai Dermaga, Pantai Saung Bajo dan Danau Sleman. Kelimpahan *Asterionella* sp. paling tinggi ada di stasiun muara Sungai Blimbing. Kelimpahan *Trichodesmium* sp. sebanyak 8.158.842 sel/m<sup>3</sup> di Pantai Dermaga, Pantai Saung Bajo, muara Sungai Way Tinggal danau Sleman, Karang Pelepasan Dua dan Pantai Makam Keramat. Kelimpahan *Trichodesmium* sp. paling tinggi ada di stasiun Pantai Dermaga. Menurut Alianto *et al.* (2018), kelimpahan Bacillariophyceae berkaitan erat dengan nitrat dan salinitas, sedangkan kelimpahan Cyanophyceae bergantung pada ammonia dan pH.

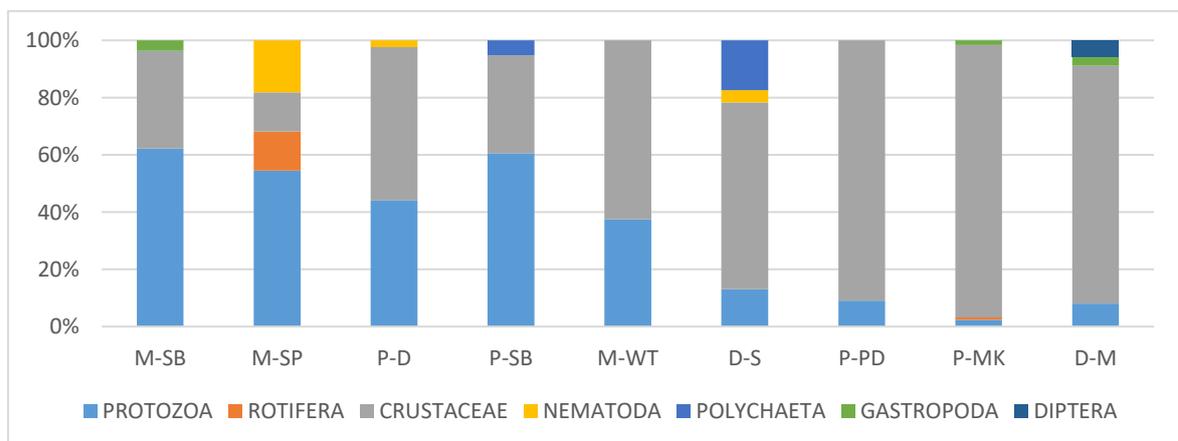
Kelimpahan fitoplankton berkisar antara 708.694 – 14.295.651 sel/m<sup>3</sup> (**Tabel 1**). Meskipun begitu, kelimpahan fitoplankton masih berada di bawah baku mutu berdasarkan lampiran VIII Peraturan Pemerintah Republik Indonesia Nomor 22 Tahun 2021, yaitu sebesar 1.000 sel/ml atau setara dengan 1 milyar sel/m<sup>3</sup>. Nilai indeks keragaman 0,38 – 1,64 termasuk dalam kategori sedang. Indeks keseragaman 0,14 – 0,75 termasuk dalam kategori sedang sampai tinggi. Indeks dominansi 0,29 – 0,88 termasuk kategori rendah hingga tinggi.

**Tabel 1.** Jumlah taksa, kelimpahan, keragaman, keseragaman dan dominansi fitoplankton.

	M-SB	M-SP	P-D	P-SB	M-WT	D-S	P-PD	P-MK	D-M
Jumlah Taksa	16	9	11	12	8	24	24	28	13
Kelimpahan (sel/m <sup>3</sup> )	14.295.651	1.721.740	5.147.825	4.066.088	888.695	1.177.389	708.694	1.204.631	9.486.839
Indeks Keragaman	0,38	1,64	0,73	1,57	1,56	1,11	1,54	1,07	1,14
Indeks Keseragaman	0,14	0,75	0,3	0,63	0,75	0,35	0,48	0,32	0,44
Indeks Dominansi	0,88	0,29	0,72	0,34	0,32	0,55	0,36	0,61	0,37

Keterangan: Muara Sungai Belimbing (M-SB); Muara Sungai Pengekahan (M-SP); Pantai Dermaga (P-D); Pantai Saung bajo (P-SB); Muara Way Tinggal (M-WT); Danau Sleman (D-S); Karang Pelepasan Dua (K-PD); Pantai Makam Keramat (P-MK); Danau Menjukt (D-M)

Struktur penyusun komunitas zooplankton di lokasi penelitian terdiri atas 7 kelas yaitu Protozoa, Rotifera, Crustacea, Nematoda, Polychaeta, Gastropoda dan Diptera (**Gambar 2**). Secara umum, kelas Crustacea dan Protozoa mendominasi struktur komunitas zooplankton. Daerah pesisir merupakan tempat yang sesuai untuk organisme Crustacea atau kelompok udang, terutama pada daerah mangrove. Jenis zooplankton yang paling banyak ditemukan adalah *Globorotalia* sp. dan *Tintinnopsis* sp. (Protozoa) dan Nauplius (stadia) dari Crustacea.

**Gambar 2.** Komposisi kelimpahan zooplankton berdasarkan kelas.

Kelimpahan zooplankton berkisar antara 6.000 – 142.609 sel/m<sup>3</sup> (**Tabel 2**). Indeks keragaman 0,9 – 1,77 termasuk dalam kategori sedang. Indeks keseragaman 0,5 – 0,91 termasuk dalam kategori sedang sampai tinggi. Indeks dominansi 0,19 – 0,58 termasuk kategori rendah hingga sedang. Di perairan TWNC tempat pengambilan sampel fitoplankton dan zooplankton tidak ditemukan lagi adanya cemaran limbah. Maka dari itu, keberadaan fitoplankton dan zooplankton tidak dipengaruhi oleh adanya cemaran limbah minyak. Susammesin *et al.* (2015) menyatakan bahwa adanya

peningkatan paparan minyak akan menurunkan kelimpahan fitoplankton dan zooplankton.

**Tabel 2.** Jumlah taksa, kelimpahan, keragaman, keseragaman dan dominansi zooplankton.

	M-SB	M-SP	P-D	P-SB	M-WT	D-S	P-PD	P-MK	D-M
Jumlah Taksa	8	7	7	8	3	6	4	7	7
Kelimpahan (ind/m <sup>3</sup> )	142.609	57.391	89.740	69.390	14.608	6.000	7.174	22.088	69.010
Indeks Keragaman	1,67	1,77	1,40	1,69	0,90	1,32	0,92	1,00	0,98
Indeks Keseragaman	0,80	0,91	0,72	0,81	0,82	0,74	0,67	0,51	0,50
Indeks Dominansi	0,22	0,19	0,32	0,23	0,47	0,37	0,50	0,50	0,58

Keterangan: Muara Sungai Belimbing (M-SB); Muara Sungai Pengekahan (M-SP); Pantai Dermaga (P-D); Pantai Saung Bajo (P-SB); Muara Way Tinggal (M-WT); Danau Sleman (D-S); Karang Pelepasan Dua (K-PD); Pantai Makam Keramat (P-MK); Danau Menjukur (D-M)

Hasil penelitian menunjukkan bahwa kelimpahan plankton di perairan TWNC masih di bawah 1 miliar sel/m<sup>3</sup>. Hal ini mengindikasikan bahwa tidak adanya *blooming* di perairan. Keberadaan minyak berdampak pada beberapa spesies akan mengalami *blooming*.

Dalam Quigg *et al.* (2021), salah satu jenis yang berpotensi terstimulasi oleh tumpahan minyak adalah *Thalassionema nitzschioides*. Spesies yang paling sensitif adalah *Thalassiosira pseudonana* dan *Isochrysis galbana* (Podkuiko 2013). Tumpahan minyak dapat mempengaruhi fitoplankton, baik secara langsung maupun tidak langsung. Dampak tumpahan minyak terhadap kelompok atau spesies fitoplankton tertentu bergantung pada jenis dan jumlah tumpahan minyak, durasi tumpahan minyak, cuaca, serta kondisi lingkungan dan komposisi fitoplankton pada saat tumpahan terjadi (Taş *et al.* 2010).

Variabilitas toleransi terhadap polusi minyak dapat menyebabkan pergeseran komunitas fitoplankton yang mengakibatkan perubahan jaring makanan melalui mekanisme pengendalian dari bawah ke atas. Perubahan yang terjadi pada fitoplankton akan berpengaruh terhadap zooplankton. Perez *et al.* (2010) menyebutkan bahwa komunitas zooplankton dapat berubah karena pemberian fitoplankton secara selektif, sehingga biomassa hewan laut lainnya juga mungkin terpengaruh. Selain itu, kematian beberapa jenis zooplankton juga bisa terjadi karena paparan PAH yang terkandung dalam minyak. Semakin lama durasi tumpahan, maka akan semakin banyak pula jenis yang mengalami kematian.

#### 4. KESIMPULAN DAN SARAN

Struktur komunitas fitoplankton terdiri dari 4 kelas yaitu Cyanophyceae, Chlorophyceae, Bacillariophyceae dan Dinophyceae. Fitoplankton yang paling banyak ditemukan adalah Bacillariophyceae di kawasan danau dan perairan laut. Struktur komunitas zooplankton terdiri dari 7 kelas yaitu Protozoa, Rotifera, Crustacea, Nematoda, Polychaeta, Gastropoda dan Diptera. Zooplankton yang paling banyak ditemukan adalah Crustacea dan Protozoa pada area perairan yang terdapat mangrove.

Kelimpahan fitoplankton 708.694 – 14.295.651 sel/m<sup>3</sup>, indeks keragaman 0,38 – 1,64 (sedang), indeks keseragaman 0,14 – 0,75 (sedang sampai tinggi) dan indeks dominansi 0,29 – 0,88. Kelimpahan zooplankton 6.000 – 142.609 sel/m<sup>3</sup>, indeks keragaman 0,9 – 1,77 (sedang), indeks keseragaman 0,5 – 0,91 (sedang sampai tinggi) dan indeks dominansi 0,19 – 0,58. Berdasarkan hasil tersebut diketahui bahwa secara umum tidak terjadi *blooming*, hal ini menunjukkan struktur komunitas fitoplankton dan zooplankton yang ada di perairan TWNC merupakan kondisi alami perairan dan tidak terkait dengan tumpahan minyak. Kegiatan penanggulangan darurat yang dilakukan dapat dikatakan efektif dalam mengurangi dampak negatif yang diakibatkan tumpahan minyak.

#### 5. DAFTAR PUSTAKA

- Akmal Y, Humairanil R, Muliari, Hanum dan Zulfahmi I. 2021. Komunitas fitoplankton sebagai bioindikator pada media pemeliharaan ikan nila (*Oreochromis niloticus*) yang dipapar limbah deterjen dan pestisida. *Akuatikisile* 5(1):7-14. <https://doi.org/10.29239/j.akuatikisile.5.1.7-14>
- Alianto, Hendri dan Suhaeni. 2018. Kelimpahan dan kelompok fitoplankton di perairan luar Teluk Wondama, Provinsi Papua Barat. *Jurnal Ilmu dan Teknologi Kelautan Tropis* 10(3):683-697. <https://dx.doi.org/10.29244/jitkt.v10i3.19561>
- Anggraini A, Sudarsono S dan Sukiya S. 2016. Kelimpahan dan tingkat kesuburan plankton di Perairan Sungai Bedog. *KINGDOM: The Journal of Biological Studies* 5(6):1-9. <http://dx.doi.org/10.21831/kingdom.v5i6.5923>

- Aryawati R, Ulqodry TZ, Isnaini dan Surbakti. 2021. Fitoplankton sebagai bioindikator pencemaran organik di Perairan Sungai Musi Bagian Hilir Sumatra Selatan. *Jurnal Ilmu dan Teknologi Kelautan Tropis* 13(1):163-171
- Badylak S, Philips EJ and Mathews AL. 2014. *Akashiwo sanguinea* (Dinophyceae) blooms in a subtropical estuary: an alga for the all seasons. *Plankton and Benthos Research* 9(3):147-155. <https://doi.org/10.3800/pbr.9.147>
- Bellinger EG and Sigeo DC. 2010. *Freshwater algae: identification and use as bioindicators*. John Wiley & Sons. United Kingdom.
- Krebs CJ. 1985. *Experimental analysis of distribution and abundance*. Harper and Publisher Inc. Philadelphia.
- Kruk M, Jaworska B, Barna IJ and Rychter A. 2016. How do differences in the nutritional and hydrological background influences phytoplankton in the Vistula Lagoon during a hot summer day? *Oceanologia* 58(4):341-352. <https://doi.org/10.1016/j.oceano.2016.05.004>
- Omand MM, D'Asaro EA, Lee CM, Perry MJ, Briggs N, Cetinic I and Mahadevan A. 2015. Eddy-driven subduction exports particulate organic carbon from the spring bloom. *Science* 348(6231):222-225. <https://doi.org/10.1126/science.1260062>
- PP (Peraturan Pemerintah) Republik Indonesia Nomor 22 Tahun 2021 tentang penyelenggaraan perlindungan dan pengelolaan lingkungan hidup.
- Perez P, Fernandez E and Beiras R. 2010. Fuel toxicity on *Isochrysis galbana* and a coastal phytoplankton assemblage: growth rate vs. variable fluorescence. *Ecotoxicology and Environmental Safety* 73(3):254-261. <https://doi.org/10.1016/j.ecoenv.2009.11.010>
- Podkuiko L. 2013. *The effects of two crude oil solutions to phytoplankton species [Thesis]*. University of Tartu. Tartu.
- Quigg A, Parsons M, Bargu S, Ozhan K, Daly KL, Chakraborty S, Kamalanathan M, Erdner D, Cosgrove S and Buskey E. 2021. Marine phytoplankton responses to oil and dispersant exposures: knowledge gained since the Deepwater Horizon oil spill. *Marine Pollution Bulletin* 164:112074. <https://doi.org/10.1016/j.marpolbul.2021.112074>

- Susammesin VA, Nurrachmi I dan Yusniikhwan S. 2015. Hubungan kandungan minyak dengan kelimpahan diatom di Perairan Meral Karimun Provinsi Kepulauan Riau [Skripsi]. Universitas Riau. Riau.
- Taş S, Okuş E, Ünlü S and Altiok H. 2010. A study on phytoplankton following 'Volgoneft-248' oil spill on the north-eastern coast of the Sea of Marmara. *Journal of the Marine Biological Association of the United Kingdom* 91(3):715-725. <https://doi.org/10.1017/S0025315410000330>
- Yunandar, Effendi H, Widiatmaka and Setiawan Y. 2020. Plankton biodiversity in various typologies of inundation in Paminggir peatland, South Kalimantan, Indonesia on dry season. *Biodiversitas* 21(3):1012-1019.

# Kandungan logam berat besi (Fe) dan timbal (Pb) pada air lindi TPA Putri Cempo, Surakarta

## *Content of heavy metals iron (Fe) and lead (Pb) in the leachate of Putri Cempo Landfill, Surakarta*

Siti Rachmawati<sup>1\*</sup>, Patricia Bernadetta<sup>1</sup>, Muhammad Bondan Mardiyanto<sup>1</sup>, Nida Ulhaq Fil'ardiani<sup>1</sup>, Sofiyana Khoirunnisa<sup>1</sup>, Yunia Putri Annisa Arta<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Program Studi Ilmu Lingkungan, Universitas Sebelas Maret, Surakarta, Indonesia

### **Abstrak.**

Air lindi merupakan air dari rembesan sampah yang memiliki kandungan logam berat sehingga dapat berpotensi mencemari tanah, air tanah, maupun air permukaan dan berbahaya bagi kesehatan manusia. Kandungan logam berat Fe dan Pb menjadi indikator penting yang memiliki dampak terhadap air dan tanah. TPA sebagai tempat penimbunan sampah perkotaan menghasilkan lindi yang terindikasi tercemar senyawa logam, seperti Fe dan Pb. Tujuan dari penelitian ini yaitu menganalisis senyawa logam berat besi (Fe) dan timbal (Pb) pada air lindi di TPA Putri Cempo Surakarta. Penelitian ini berlokasi di TPA Putri Cempo Surakarta dengan pengambilan sampel air lindi di selokan sekitar TPA. Analisis data menggunakan SSA (Spektrofotometri Serapan Atom). Air lindi TPA Putri Cempo memiliki kandungan logam berat Fe sebesar 0,62 mg/L dan kandungan logam berat Pb adalah 0,07 mg/L. Kandungan senyawa logam berat Fe dan Pb masih sesuai baku mutu Peraturan Menteri Lingkungan Hidup Nomor 5 tahun 2014. tentang Baku Mutu Air Limbah. Upaya yang dapat dilakukan untuk meminimalisir dampak lingkungan pada air lindi adalah menggunakan metode fitoremediasi, metode adsorpsi, serta metode anaerob, aerob dan denitrifikasi.

Kata kunci: logam berat, Fe, Pb, lindi, TPA

### **Abstract.**

*Leachate is water from waste seepage that contains heavy metals; therefore, it has the potential to pollute soil, groundwater, and surface water and is dangerous for human health. The content of heavy metals Fe and Pb are important indicators that have an impact on water and soil. Landfill as a place for storing urban waste produces leachate, which is indicated to be contaminated with metal compounds, such as Fe and Pb. The aim of the research is to analyze heavy metals iron (Fe) and lead (Pb) compounds in leachate at the Putri Cempo landfill, Surakarta. This research was located at the Putri Cempo landfill, Surakarta, with leachate water samples taken in the ditch around the landfill. Data analysis used SSA (Atomic Absorption Spectrophotometry). The heavy metal Fe in the Putri Cempo landfill leachate has a leachate content of 0.62 mg/L, while the heavy metal Pb has a leachate content of 0.07 mg/L. The content of heavy metal compounds Fe and Pb still complies with the quality standards (Ministry of Environment Regulation Number 5 of 2014). Efforts that can be made to minimize the environmental impact on leachate include phytoremediation methods, adsorption methods, as well as anaerobic, aerobic, and denitrification methods.*

*Keywords: heavy metal, Fe, Pb, leachate, landfill*

## **1. PENDAHULUAN**

Indonesia merupakan salah satu negara dengan permasalahan sampah yang masih menjadi poin penting dalam pengelolaannya yang belum maksimal. Limbah merupakan bahan yang berasal dari kegiatan antropogenik dan sudah tidak mempunyai manfaat sehingga dibuang begitu saja (Lesmana 2016). Pengelolaan sampah pada hampir semua wilayah Indonesia menggunakan TPA (Tempat Pemrosesan Akhir) sebagai solusi dalam pengelolaannya. Pengelolaan sampah yang masih menggunakan metode konvensional TPA ini justru menimbulkan berbagai permasalahan lain terhadap warga yang berada di sekitar TPA.

---

\*Korespondensi Penulis  
Email : [siti.rachmawati@staff.uns.ac.id](mailto:siti.rachmawati@staff.uns.ac.id)

TPA masih menerapkan metode *open dumping* dalam pengelolaan sampah, padahal dapat menimbulkan masalah pada lingkungan sekitarnya (Ramadhanti *et al.* 2021). Salah satu TPA yang masih menerapkan metode *open dumping* adalah TPA Putri Cempo yang berada di Kelurahan Mojosongo, Surakarta. Metode *open dumping* ini dinilai kurang efektif karena tidak memperhatikan aspek lingkungan di sekitarnya (Sukrorini *et al.* 2014). TPA Putri Cempo merupakan TPA yang melayani atau menampung sampah masyarakat di wilayah Surakarta maupun di sekitarnya.

Informasi Dinas Kebersihan dan Pertamanan menyatakan bahwa rata-rata jumlah sampah yang masuk ke TPA Putri Cempo per harinya sebesar 200 ton sampah. TPA Putri Cempo dinilai sudah *overload* sejak 2010, tetapi karena tidak ada solusi lain sehingga dibiarkan menumpuk dan sudah menggunung. Pada tahun 2016 direncanakan untuk mengubah sampah menjadi energi, yaitu dengan membuat PLTSa (Pembangkit Listrik Tenaga Sampah). Proyek ini diharapkan bisa mengatasi permasalahan sampah dan lingkungan yang ada di TPA Putri Cempo (Romy *et al.* 2023).

Permasalahan lingkungan yang ditimbulkan TPA Putri Cempo yaitu pencemaran air, udara, dan tanah (Hapsari dan Priyono 2022). Pencemaran air merupakan hal yang dirasakan oleh masyarakat sekitar TPA. Air dari rembesan sampah atau yang sering disebut dengan air lindi merupakan poin penting untuk dilakukan pengolahan secara khusus. Lindi merupakan limbah yang berbentuk cair yang berasal dari proses dekomposisi sampah (Ibrahim *et al.* 2023).

Proses pembusukan, oksidasi, dan dekomposisi limbah yang menumpuk akan menghasilkan lindi. Air lindi akan menyebar ke aliran air bawah tanah dan permukaan sehingga berpotensi mencemari air tanah (Hakim *et al.* 2014). Keberadaan senyawa logam berat pada sedimen TPA diperkirakan bersumber dari limbah kegiatan manusia, seperti rumah tangga, industri atau kegiatan insinerasi. Lindi sangat dipengaruhi oleh cuaca, apabila lebih sering terjadi hujan akan mengakibatkan semakin banyak lindi yang dihasilkan dari sampah sehingga bisa mencemari sumber-sumber air di sekitarnya. Rembesan lindi yang terjadi hingga ke dalam tanah akan mengakibatkan air sekitar TPA terkontaminasi (Fitri dan Sembiring 2017). Kandungan yang terdapat

pada air lindi banyak mengandung material organik dan anorganik yang berdampak terhadap tubuh apabila terpapar dalam waktu tertentu.

Limbah yang dibuang ke TPA dapat berasal dari sektor klinik medis, bisnis, industri, hingga rumah tangga yang memiliki bahan limbah logam berat, seperti kaleng, perangkat keras, dan komputer (Odom *et al.* 2021). Limbah makanan meliputi residu makanan, seperti roti, nasi, dan sayuran, serta bahan makanan, seperti peralatan makan, tusuk gigi, plastik, dan lain sebagainya juga mengandung berbagai jenis logam berat (Chu *et al.* 2019). Zat-zat logam berat seperti Pb dan Fe tidak dapat diolah oleh tubuh, sehingga bisa menimbulkan masalah serius apabila masuk ke dalam tubuh.

Air lindi yang tidak mendapat pengolahan secara khusus dapat berdampak terhadap penurunan kualitas pada tanah, air tanah, maupun air permukaan. Logam berat merupakan senyawa yang diperlukan oleh senyawa dalam kadar tertentu, tetapi dapat memberikan efek beracun dalam jumlah berlebih (Suryono 2016 dalam Karamina *et al.* 2021). Konsentrasi logam berat pada air lindi bergantung pada volume dan jenis sampah yang berasal dari berbagai sumber pencemar. Kadar logam berat juga bergantung pada jenis dan kondisi tempat pembuangan sampah. TPA yang memiliki sistem pengumpulan lindi yang baik dan benar dapat mengurangi dampak negatif terhadap air dan tanah (Hussein *et al.* 2021).

Pencemaran logam berat dapat mengakibatkan masalah kesehatan pada masyarakat dan kerusakan pada lingkungan hidup (Karamina *et al.* 2021). Senyawa logam terakumulasi pada organisme akuatik sehingga mengakibatkan gangguan perilaku, pertumbuhan, dan karakteristik morfologi (Effendi *et al.* 2012 dalam Pratiwi 2020). Logam berat tersebut mengalami sedimentasi dalam jangka waktu yang lama (Oktasari *et al.* 2018).

Logam Fe dan Pb dipilih sebagai parameter penelitian dengan mempertimbangkan kesesuaian dengan topik yang diangkat, yakni pencemaran logam berat. Kandungan logam berat Fe dan Pb menjadi salah satu parameter penting yang berpengaruh pada kualitas air dan tanah. TPA sebagai tempat penimbunan sampah perkotaan menghasilkan lindi yang memiliki kandungan logam berat, seperti besi (Fe) dan timbal (Pb). Peneliti memilih lokasi TPA Putri Cempo karena belum terdapat

penelitian mendalam terkait kandungan logam berat pada air lindi di TPA Putri Cempo. Penelitian ini bertujuan menganalisis kandungan logam berat besi (Fe) dan timbal (Pb) pada air lindi TPA Putri Cempo Surakarta.

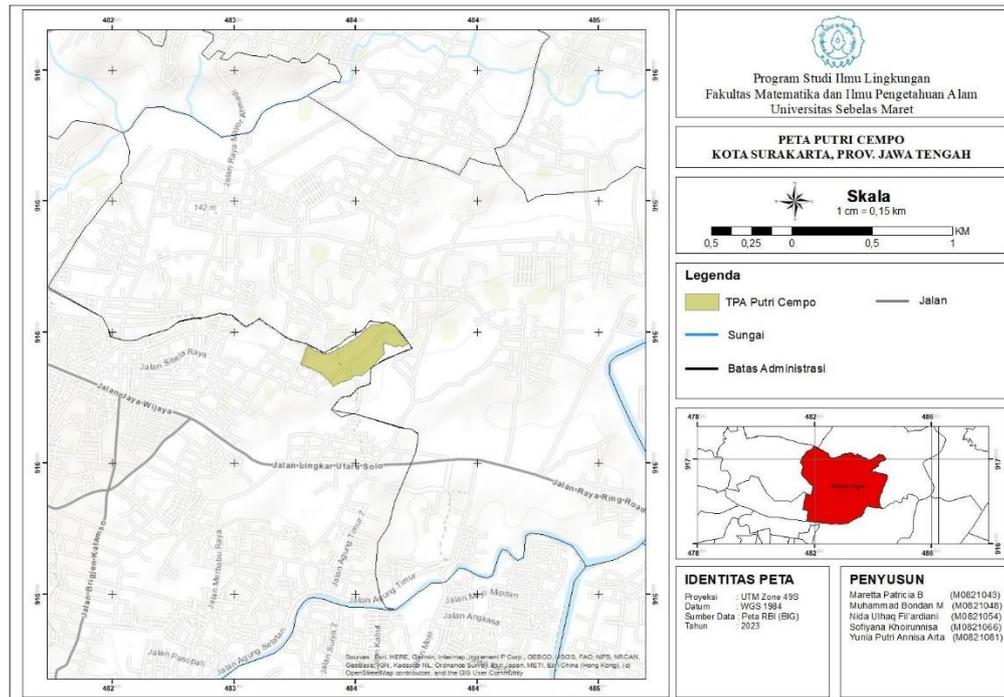
## **2. METODOLOGI**

### **2.1. Lokasi kajian dan waktu penelitian**

Air lindi diambil di selokan sekitar TPA Putri Cempo di Mojosongo, Jebres, Kota Surakarta, Jawa Tengah. Pengujian sampel air lindi dilakukan di UPT Sub Laboratorium Kimia Universitas Sebelas Maret. Penelitian dilaksanakan pada Desember 2023 sampai dengan Januari 2024.

### **2.2. Metode pengambilan data**

Pengambilan sampel air lindi dilakukan dengan metode *grab sample* atau air limbah sesaat, yaitu metode *grab sampling* dengan mengambil satu sampel sebanyak 100 ml. Pengujian kandungan logam berat pada air lindi dilakukan menggunakan metode *Atomic Absorption Spectroscopy* (AAS). Parameter yang digunakan pada penelitian ini yaitu besi dan timbal. Pengukuran Pb diukur dengan panjang gelombang 283,3 nm, sedangkan untuk pengukuran Fe diukur dengan panjang gelombang 357,9 nm. Masing-masing absorbansi dan larutan standar dari Pb maupun Fe diplotkan ke dalam kurva.



Gambar 1. Peta wilayah TPA Putri Cempo, Surakarta.

### 3. HASIL DAN PEMBAHASAN

#### 3.1. Kondisi TPA Putri Cempo

Tempat Pemrosesan Akhir (TPA) Putri Cempo yang berlokasi di Kota Surakarta merupakan area pengelolaan sampah dalam tahapan penimbunan limbah yang berasal dari wilayah Surakarta. Berbagai kegiatan mulai dari identifikasi, pengumpulan, pengangkutan, *recycle*, dan pengolahan air rembesan sampah dilakukan dalam satu wilayah dengan pemukiman masyarakat Kelurahan Mojosongo dan Desa Plesungan, sehingga dikhawatirkan mencemari lingkungan sekitarnya, salah satunya mencemari air dangkal. Penggunaan sumur air dangkal masih digunakan oleh sebagian warga untuk kegiatan sehari-hari, seperti kegiatan rumah tangga.

Metode *open dumping* digunakan dalam pengelolaan TPA Putri Cempo yang berisiko terhadap kualitas air tanah. Kondisi sampah di kawasan TPA yang semakin menumpuk hingga memiliki ketinggian 28 meter mengakibatkan beberapa aliran sungai terancam tertutup. Selain itu, saluran irigasi mengalami perubahan kualitas, baik dari bau yang kurang sedap dan warna yang berwarna kecokelatan akibat dari rembesan air lindi.

### 3.2. Karakteristik air lindi

Air lindi yaitu air yang memiliki sifat racun karena mengandung unsur logam dan bahan organik yang menjadi akar permasalahan pencemaran lingkungan. Parameter yang digunakan dalam mengukur air lindi, yaitu BOD (*Biological Oxygen Demand*), COD (*Chemical Oxygen Demand*), temperatur, pH, TDS (*Total Dissolved Solid*), konduktivitas listrik, dan kandungan logam berat. Jenis logam berat yang biasanya terkandung pada air lindi yaitu timbal (Pb), besi (Fe), seng (Zn), kobalt (Co), tembaga (Cu), nikel (Ni), krom (Cr), merkuri (Hg), serta kadmium (Cd). Namun, pada penelitian ini hanya melakukan uji logam besi (Fe) dan timbal (Pb). Kondisi wilayah dalam pengambilan sampel air lindi tersebut dipenuhi oleh beragam jenis sampah yang terendam oleh air. Sampel memiliki karakteristik warna cokelat (cokelat air sungai namun lebih gelap), keruh, bau yang dimiliki menyengat karena terdapat sampah bangkai hewan, tekstur sampel tidak kental karena tidak ada tanah ataupun lumpur yang bercampur dengan air lindi tersebut.

Berdasarkan hasil uji kadar Pb yang telah dilakukan, diketahui pada konsentrasi 0,05 ppm memiliki nilai absorbansi sebesar 0,00066; pada konsentrasi 0,1 ppm memiliki absorbansi 0,00221; pada konsentrasi 0,25 ppm memiliki nilai absorbansi sebesar 0,00598; pada konsentrasi 0,5 ppm memiliki nilai absorbansi sebesar 0,01752; dan pada konsentrasi 1 ppm memiliki nilai absorbansi sebesar 0,0541. Berdasarkan hasil uji tersebut, konsentrasi 1 ppm menunjukkan nilai absorbansi paling tinggi dengan nilai 0,0541. Adanya perbedaan nilai absorbansi pada setiap konsentrasi yang diujikan dipengaruhi oleh kadar atau zat yang terkandung dalam suatu larutan. Semakin banyak kadar zat yang terkandung dalam suatu sampel, maka semakin besar pula nilai absorbansinya karena semakin banyak molekul yang akan menyerap cahaya. Sementara itu, didapatkan kandungan logam Pb pada air lindi TPA Putri Cempo sebesar 0,075 mg/L (**Tabel 1**).

**Tabel 1.** Hasil perhitungan kadar timbal.

Parameter	y (Abs)	m	x (mg/L)	C
Timbal (Pb)	0,00155	0,0354	0,075	-0,0011

Keterangan: y = absorbansi sampel; m = koefisien x; C = konstanta

Kandungan logam Pb pada air lindi TPA Putri Cempo adalah sebesar 0,075 mg/L. Nilai tersebut menunjukkan bahwa air lindi masih sesuai dengan baku mutu pada Peraturan Menteri Lingkungan Hidup Nomor 5 tahun 2014 lampiran XLVII tentang Baku Mutu Air Limbah bagi usaha dan/atau kegiatan yang belum memiliki baku mutu air limbah yang ditetapkan, yakni sebesar 0,1 mg/L. Kandungan logam berat Pb pada air lindi dapat berasal dari sampah akibat aktivitas manusia, seperti cat, baterai dan kaleng (Sari dan Afdal 2017) yang berada pada tempat penimbunan sampah (Handriyani *et al.* 2020). Senyawa logam Pb bersumber dari komponen gugus alkil timbal sering dimanfaatkan untuk bahan aditif pada bensin serta makanan minuman (Suhendrayatna 2007).

Berdasarkan hasil uji kadar Fe yang telah dilakukan, diketahui pada konsentrasi 0,5 ppm memiliki nilai absorbansi sebesar 0,01355; pada konsentrasi 1 ppm memiliki absorbansi 0,02796; pada konsentrasi 2 ppm memiliki nilai absorbansi sebesar 0,0714; pada konsentrasi 3 ppm memiliki nilai absorbansi sebesar 0,11726; dan pada konsentrasi 5 ppm memiliki nilai absorbansi sebesar 0,175. Dari hasil uji tersebut, konsentrasi 5 ppm menunjukkan nilai absorbansi paling tinggi dengan nilai 0,175. Sementara itu, didapatkan kandungan logam Fe pada air lindi TPA Putri Cempo sebesar 0,62 mg/L (**Tabel 2**).

**Tabel 2.** Hasil perhitungan kadar besi.

Parameter	y (Abs)	m	x (mg/L)	C
Besi (Fe)	0,24026	0,397	0,62	-0,0055

Keterangan: y = absorbansi sampel; m = koefisien x; C = konstanta

Kandungan logam berat Fe dari air lindi TPA Putri Cempo adalah 0,62 mg/L dan memiliki nilai yang lebih kecil dibandingkan baku mutu air lindi yang ditetapkan pada Peraturan Menteri Lingkungan Hidup Nomor 5 tahun 2014 tentang Baku Mutu Air Limbah dengan kategori baku mutu air limbah bagi usaha yang belum memiliki baku mutu air limbah yang ditetapkan, sebesar 5 mg/L. Kandungan logam berat Fe pada air lindi kemungkinan dapat berasal dari akumulasi hasil dekomposisi sampah organik maupun anorganik (Karamina *et al.* 2021). Kandungan logam berat Pb dan Fe pada air lindi tetap memerlukan pemantauan dan pengelolaan agar tidak berdampak pada

lingkungan sekitar meskipun nilainya masih berada jauh di bawah baku mutu dan belum membahayakan.

### 3.3. Dampak logam berat (Pb dan Fe) terhadap abiotik, biotik, dan sosial

Air lindi yang mengandung kandungan logam berat sangat berbahaya terhadap lingkungan, mencakup tiga aspek yaitu abiotik, biotik, dan sosial. Air lindi yang berasal dari sampah tentunya memiliki kandungan logam yang tidak baik apabila dikonsumsi oleh manusia. Selain memiliki dampak terhadap manusia, lingkungan di sekitarnya juga terpengaruh.

Pada aspek abiotik, logam berat yang ada di air lindi berdampak pada kualitas tanah, air tanah dan juga air permukaan. Tanah yang terkena logam berat akan menurun kualitasnya. Menurut Santoso *et al.* (2016), ambang batas logam berat Pb yang mencemari tanah adalah 100 ppm, sedangkan untuk Fe tidak ditentukan berapa nilai ambang batas yang bisa diterima oleh tanah. Untuk ambang batas logam berat Pb pada air adalah 0,01 ppm, sedangkan Fe adalah sebesar 0,3 ppm.

Air yang tercemar oleh logam berat akan menurun kualitas baku mutunya. Kadar kandungan logam Fe pada air bisa dilihat dari warnanya, apabila warna air kecokelatan maka kandungan logam Fe tinggi, apabila berwarna kekuningan maka kandungan logamnya rendah. Logam berat Pb yang dibiarkan lama dalam air tanah akan terkumulasi kandungannya, dan semakin lama konsentrasi Pb semakin meningkat (Putra dan Mairizki 2020). Logam berat mencemari air tanah melalui rembesan pada tanah ditambah dengan curah hujan, sehingga mempercepat rembesan air lindi masuk ke sumur milik warga yang ada di sekitar TPA.

Kandungan logam berat juga mempengaruhi aspek biotik, seperti di TPA Putri Cempo terdapat sapi dan warga sekitar yang terkena dampak dari air lindi yang mencemari air milik warga. Air yang mengandung logam berat apabila dikonsumsi oleh manusia akan menyebabkan gangguan kesehatan. Menurut Santoso *et al.* (2016), logam berat apabila dikonsumsi oleh manusia akan menyebabkan masalah pada kesehatan dan menurunkan kualitas lingkungan. Paparan logam berat ke manusia dapat melalui mulut, respirasi, dan juga kulit, begitu pun sapi-sapi yang terdapat di TPA Putri Cempo yang memakan sampah-sampah dan bisa saja dalam sampah tersebut terdapat logam berat, sehingga dalam daging sapi terdapat kandungan logam

berat dan tidak sehat apabila dikonsumsi oleh manusia. Pb terserap ke dalam aliran darah dan diedarkan dalam tubuh, terutama melalui dan ke dalam sel darah merah ke jaringan. Pb dapat dideteksi di jaringan hati dan ginjal beberapa jam setelah penyerapan. Logam berat Pb dapat menyebabkan keracunan dan gangguan pada pembentukan sel dalam sumsum belakang, selain itu juga bisa menyebabkan keracunan, anemia, kerusakan susunan saraf pusat, dan ginjal.

Tidak hanya mempengaruhi dua aspek tersebut, logam berat juga mempengaruhi aspek sosial. Pencemaran air lindi yang mengandung logam berat menyebabkan warga sekitar TPA Putri Cempo terdampak, di antaranya dalam hal pola hidup mendapatkan air dan dampak kesehatan yang ditimbulkan. Warga sekitar TPA merasakan tidak bisa mengonsumsi air tanah di sekitar TPA karena sudah tercemar air lindi dan mengandung logam dan mikro plastik. Akibatnya, warga yang awalnya menggunakan air tanah mulai beralih ke PDAM, karena air tidak layak untuk dikonsumsi dan apabila dikonsumsi dapat menimbulkan gangguan pada kesehatan seperti keracunan, mual-mual, dan infeksi terhadap kulit. Air lindi juga mencemari sungai-sungai yang ada di sekitar TPA, apabila sungai tercemar pasti berpengaruh pada biota yang ada dalam air. Tidak hanya itu, air lindi dari sampah juga mengeluarkan aroma yang membuat tidak nyaman warga sekitar area tempat pengolahan akhir sampah.

### **3.4. Upaya pengolahan air lindi**

#### **3.4.1. Teknik fitoremediasi**

Logam memiliki efek yang berbahaya, beracun yang tidak ramah lingkungan dan dapat menyebabkan pencemaran. Tak hanya itu, jika logam berat masuk ke dalam tubuh manusia akan menyebabkan kematian, sehingga penting untuk melakukan upaya ataupun rekomendasi dalam pengelolaan air lindi yang mengandung banyak unsur logam berat sebelum dibuang ke lingkungan. Berikut ini beberapa upaya atau rekomendasi yang dapat diterapkan: menggunakan metode pembilasan, pencucian ataupun metode dilusi dan stabilisasi dengan menggunakan kemampuan tanaman dalam mendegradasi dan mengakumulasi logam berat. Teknik fitoremediasi ini merupakan metode paling sederhana dan ekonomis karena memanfaatkan keanekaragaman hayati tanaman (Irhamni 2017).

### 3.4.2. Metode adsorpsi

Metode adsorpsi logam berat menggunakan adsorben karbon aktif, zeolit dan silika gel. Dalam penelitian tersebut kandungan logam berat besi (Fe) dan krom (Cr) mengalami penurunan kadar logam berat dengan tingkat keefektivitasan adsorben dalam menurunkan logam berat, yaitu zeolit menjadi media yang paling efektif dengan silika gel media yang kurang efektif (hasil penurunan logam paling kecil).

Hal ini dikarenakan zeolit memiliki struktur pori seperti kristal sehingga lebih berongga daripada silika gel dan karbon yang berupa amorfus artinya memiliki banyak mikropori yang menghambat proses adsorpsi serta memiliki kation logam yang membuat zeolit memiliki sifat penukar ion. Tetapi tingkat keefektivitasan penurunan logam juga dipengaruhi oleh temperatur.

Pengukuran pada permukaan silika gel akan terasa panas dibanding dengan zeolit sehingga penurunan logam pada silika gel kecil. Hal ini ditegaskan bahwa kenaikan temperatur berbanding terbalik dengan zat yang teradsorpsi yang membuat temperatur yang kecil akan menambah jumlah kemampuan media untuk menyerap logam (adsorbat). Metode adsorpsi ini dilakukan dengan menggunakan akuarium berukuran 30x30x30 cm sebanyak 3 buah. Masing-masing media adsorpsi yang digunakan setinggi 10 cm dari dasar akuarium yang kemudian, direndam dengan air lindi dengan ketinggian 12 cm selama 120 menit setelah itu pengambilan sampel dilakukan dengan jumlah sampel yang dibutuhkan sebanyak 330 ml yang kemudian diuji kadar logam berat air lindi tersebut (Larasati *et al.* 2016).

### 3.4.3. Metode anaerob, aerob dan denitrifikasi

Proses anaerob menggunakan reaktor biofilter dari sarang tawon yang mampu mereduksi kandungan polutan organik pada air lindi. Sarang tawon sebagai tempat melekatnya mikroba yang bekerja dalam proses anaerob, penambahan glukosa juga dilakukan untuk mempercepat tumbuhnya mikroba. Proses aerob dilakukan menggunakan bioreaktor yang sama dengan proses anaerob, yaitu sarang tawon. Hanya saja yang membedakan adalah keefektivitasan dalam proses pelaksanaannya. Proses anaerob memerlukan waktu 8 hari dengan hasil 90,16% sementara proses

aerob membutuhkan waktu 3 hari dan mampu mereduksi polutan organik sampai 81,59%.

Proses denitrifikasi dilakukan untuk mereduksi nitrat yang terkandung dan efektivitasnya belum maksimal, mampu mereduksi sampai 48,12%. Untuk mencapai hasil yang efektif maka memadukan ketiga proses tersebut dalam mengolah air lindi adalah keputusan yang tepat, proses pertama dilakukan secara anaerobik kemudian dilanjutkan dengan proses aerobik dan sebagai proses penyempurnaan (*post treatment*) dilakukan denitrifikasi (Said dan Hartaja 2015).

#### 4. KESIMPULAN DAN SARAN

Air lindi TPA Putri Cempo, Surakarta memiliki kandungan logam berat besi (Fe) pada 0,62 mg/L dan kandungan logam berat timbal (Pb) adalah 0,07 mg/L. Kandungan logam berat besi (Fe) dan timbal (Pb) tersebut terpantau masih sesuai dengan baku mutu pada PermenLH Nomor 5 Tahun 2014 tentang Baku Mutu Air Limbah. Terdapat beberapa metode pengolahan air lindi yang dapat digunakan adalah dengan teknik fitoremediasi; metode adsorpsi; serta metode anaerob, aerob dan denitrifikasi untuk mengurangi dampak negatif terhadap lingkungan.

#### 5. DAFTAR PUSTAKA

- Chu Z, Fan X, Wang W and Huang WC. 2019. Quantitative evaluation of heavy metals' pollution hazards and estimation of heavy metals' environmental costs in leachate during food waste composting. *Waste Management* 84:119-128. <https://doi.org/10.1016/j.wasman.2018.11.031>
- Effendi F, Tresnaningsih E, Sulistomo AW, Wibowo S, Hudoyo KS, Dariana D, Setia B, Argana G, Pasolang SI, Sari FDA dan Efendi S. 2012. Penyakit akibat kerja karena pajanan logam berat. Direktorat Bina Kesehatan Kerja dan Olahraga Kementerian Kesehatan Republik Indonesia. Jakarta.
- Fitri LH dan Sembiring E. 2017. Kajian pencemaran air tanah dangkal akibat lindi di sekitar TPA Supit Urang Malang. *Jurnal Teknik Lingkungan* 23(1):41-50.

- Hakim AR, Susilo A dan Maryanto S. 2014. Indikasi penyebaran kontaminan sampah bawah permukaan dengan metode magnetik (studi kasus: TPA Supit Urang, Malang). *Natural B* 2(3):281-289.
- Hapsari LN dan Priyono KD. 2022. Analisis pengaruh Tempat Pembuangan Akhir (TPA) Putri Cempo terhadap kesehatan masyarakat di Kelurahan Mojosongo Kecamatan Jebres Kota Surakarta [Disertasi]. Fakultas Geografi, Universitas Muhammadiyah Surakarta. Surakarta.
- Handriyani KATS, Habibah N dan Dhyana Putri IGAS. 2020. Analisis kadar timbal (Pb) pada air sumur gali di kawasan tempat pembuangan akhir sampah Banjar Suwung Batan Kendal Denpasar Selatan. *Jurnal Sains dan Teknologi* 9(1):68-75. <https://doi.org/10.23887/jstundiksha.v9i1.17842>
- Hussein M, Yoneda K, Mohd-Zaki Z, Amir A and Othman N. 2021. Heavy metals in leachate, impacted soils and natural soils of different landfills in Malaysia: an alarming threat. *Chemosphere* 267:1-19. <https://doi.org/10.1016/j.chemosphere.2020.128874>
- Ibrahim M, Saufan LO dan Bende LOS. 2023. Analisis persebaran lindi Tempat Pemrosesan Akhir (TPA) Puuwatu. *Jurnal Perencanaan Wilayah* 8(1):69-79. <https://doi.org/10.33772/jpw.v8i1.333>
- Irhamni I. 2017. Serapan logam berat esensial dan nonesensial pada air lindi TPA Kota Banda Aceh dalam mewujudkan pembangunan berkelanjutan. *Jurnal Serambi Engineering* 2(1):134-140. <https://doi.org/10.32672/jse.v2i1.337>
- Karamina H, Murti AT dan Mujoko T. 2021. Kandungan logam berat Fe, Cu, Zn, Pb, Co, Br pada air lindi di tiga lokasi Tempat Pembuangan Akhir (TPA) Dadaprejo, Kota Batu, Dau dan Supit Urang, Kabupaten Malang. *Jurnal Ilmiah Hijau Cendekia* 6(2):51-57.
- Larasati AI, Susanawati LD dan Suharto B. 2016. Efektivitas adsorpsi logam berat pada air lindi menggunakan media karbon aktif, zeolit, dan silika gel di TPA Tlekung, Batu. *Jurnal Sumberdaya Alam dan Lingkungan* 2(1):44-48.
- Lesmana RY. 2016. Layanan persampahan di Kota Surakarta dengan pemetaan berbasis sistem informasi geografis. *Media Ilmiah Teknik Lingkungan* 1(1):11-21. <https://doi.org/10.33084/mitl.v1i1.135>

- Odom F, Gikunoo E, Arthur EK, Agyemang FO and Mensah-Darkwa K. 2021. Stabilization of heavy metals in soil and leachate at Dompooase landfill site in Ghana. *Environmental Challenges* 5:100308. <https://doi.org/10.1016/j.envc.2021.100308>
- Oktasari A, Erviana D, Novika DS, Rodiah S, Ahsanunnisa R, Wijayanti F, Kholidah N, Daniar R dan Mariyamah M. 2018. Analisa kualitatif logam timbal (Pb) dalam air lindi dan air sungai Tempat Pembuangan Akhir (TPA) II di Kelurahan Karya Jaya Musi 2 Palembang [Prosiding]. Seminar Nasional Sains dan Teknologi Terapan Vol 1. Palembang. Fakultas Sains dan Teknologi UIN Raden Fatah Palembang.
- Peraturan Menteri Lingkungan Hidup dan Kehutanan Republik Indonesia Nomor 5 Tahun 2014 tentang baku mutu air limbah bagi usaha yang belum memiliki baku mutu air limbah yang ditetapkan.
- Pratiwi DY. 2020. Dampak pencemaran logam berat terhadap sumber daya perikanan dan kesehatan manusia. *Jurnal Akuatek* 1(1):59-65.
- Putra AY dan Mairizki F. 2020. Analisis logam berat pada air tanah di Kecamatan Kubu Babussalam, Rokan Hilir, Riau. *Jurnal Katalisator* 5(1):47-53.
- Ramadhanti ND, Astuti W dan Putri RA. 2021. Dampak TPA Putri Cempo terhadap permukiman. *Desa-Kota: Jurnal Perencanaan Wilayah, Kota, dan Permukiman* 3(2):103-121. <https://doi.org/10.20961/desa-kota.v3i2.48352.103-121>
- Romy M, Safitri IK, Aggistri ZS dan Rahayu MIF. 2023. Analisa potensi pembangkit limbah menjadi energi pada TPA pembuangan limbah di Indonesia menuju SDGs 2030. *Jurnal Socia Logica* 3(1):149-166. <https://doi.org/10.572349/socialogica.v3i1.372>
- Said NI dan Hartaja DRK. 2015. Pengolahan air lindi dengan proses biofilter anaerob-aerob dan denitrifikasi. *Jurnal Air Indonesia* 8(1):1-20.
- Santoso S, Haumahu JP dan Habi ML. 2016. Analisis spasial pencemaran logam berat sebagai dampak tempat pembuangan akhir sampah Kota Ambon pada DAS Wai Yori di Negeri Passo. *Jurnal Budidaya Pertanian* 12(2):55-65.
- Sari RN dan Afdal A. 2017. Karakteristik air lindi (*leachate*) di tempat pembuangan akhir sampah air dingin Kota Padang. *Jurnal Fisika Unand* 6(1):93-99. <https://doi.org/10.25077/jfu.6.1.93-99.2017>

- Suhendrayatna. 2007. Teknologi pengolahan limbah Bahan Beracun Berbahaya (B3). Perpustakaan Nasional Syiah Kuala. Banda Aceh.
- Sukrorini T, Budiastuti S, Ramelan HA dan Kafiar PF. 2014. Kajian dampak timbunan sampah terhadap lingkungan di tempat pembuangan akhir (TPA) Putri Cempo Surakarta. *Jurnal Ekosains* 6(3):56-70.
- Suryono CA. 2016. Akumulasi logam berat Cr, Pb dan Cu dalam sedimen dan hubungannya dengan organisme dasar di Perairan Tugu Semarang. *Jurnal Kelautan Tropis* 19(2):143-149. <https://doi.org/10.14710/jkt.v19i2.841>

# JURNAL PENGELOLAAN LINGKUNGAN BERKELANJUTAN

JOURNAL OF ENVIRONMENTAL SUSTAINABILITY MANAGEMENT

ISSN 2598-0017 | E-ISSN 2598-0025

Vol. 8 No. 2, Agustus 2024

---

Potensi <i>blue carbon</i> pada tegakan pohon mangrove di pesisir Muna Barat (Rahman Rahman, Nur Tasmiah Sirajuddin, Frijona Febiola Lokollo, Krisye Pasanea, Sophia Nonamanis Margaretha Fendjalang, Mahriyana Hulopi)	118-131
Evaluasi pengelolaan limbah B3 cair proses produksi pada industri manufaktur di PT. Z, Kota Bandung (Ikhsan Rifqi Wiryawan, Kancitra Pharmawati)	132-142
Efektivitas sampah organik sebagai adsorben logam kromium (Cr) dalam limbah cair industri tekstil: sistematika reviu (Diva Bilqiis Rihhadatul 'Aisy)	143-161
Analisis bibliometrik tentang tren penerapan kebijakan kota hijau ( <i>green city</i> ) (Bias Vilosa, Imam Yuadi)	162-178
Evaluasi hidrolis distribusi air minum di Samanea Hill, Kecamatan Parung Panjang, Kabupaten Bogor (Muhammad Husni Kusaeri, Mohamad Rangga Sururi)	179-195
Analisis daya dukung air tanah dengan metode statis di bentang lahan pesisir Kapanewon Temon, Kabupaten Kulon Progo (Diah Retno Wati, Tjahyo Nugroho Adji, Noorhadi Rahardjo)	196-208
Kajian plankton paska pembersihan tumpahan minyak di <i>Tambling Wildlife Nature Conservation</i> (TWNC), Provinsi Lampung (Maria Edna Herawati, Hefni Effendi, Ani Mardiasuti)	209-218
Kandungan logam berat besi (Fe) dan timbal (Pb) pada air lindi TPA Putri Cempo, Surakarta (Siti Rachmawati, Patricia Bernadetta, Muhammad Bondan Mardiyanto, Nida Ulhaq Fil'ardiani, Sofiyana Khoirunnisa, Yunia Putri Annisa Arta)	219-232

---

Tersedia secara *online* di <https://journal.bkpsl.org/index.php/jplb>

## Sekretariat Jurnal Pengelolaan Lingkungan Berkelanjutan (JPLB)

Gedung Pusat Penelitian Lingkungan Hidup (PPLH) Lantai 4

Kampus IPB Dramaga Bogor 16680

Telp. 0251 – 8621262; Fax. 0251 – 8622134

*e-mail* : [jplb@bkpsl.org](mailto:jplb@bkpsl.org) / [jurnalbkpsl@gmail.com](mailto:jurnalbkpsl@gmail.com)



9 772598 002001



9 772598 001004