



# Al-Ard

Jurnal Teknik Lingkungan

P-ISSN: 2460-8815  
E-ISSN: 2549-1652

Volume 08, Nomor 02  
Maret 2023



**Pengaruh Jenis Aerator Dan Media Filter Dalam Menurunkan Kadar Besi (Fe) Air Sumur**

Reza Megananda Dwi Harvianti, Ririn Endah Badriani, Yeny Dhokhikah

**Dekontaminasi Parameter Biologi dan Pathogen Menggunakan Biofilm Konsorsium Bergerak Dilanjutkan dengan Integrasi Pengolahan Fisik (Pengendapan-Sterilisasi) Secara Simultan**

Rizka Novembrianto, Restu Hikmah Ayu Murti, Muslikha Nourma Rhomadhoni

**Evaluasi Pengelolaan Sampah Kecamatan Gresik Kabupaten Gresik Ditinjau Dari Aspek Teknis**

Mohammad Fardi Habibi, Wahyono Hadi, Achmad Chusnun Ni'am

**Analisis Daya Dukung Tata Air untuk Monitoring Kinerja Pengelolaan DAS Poleang, Sulawesi Tenggara**

La Gandri, Hasbullah Syaf, Musram Abadi, Umar Ode Hasani, La Ode Kasno Arif, Albasri

**Pemanfaatan Kulit Singkong sebagai Adsorben dalam Menurunkan Kadar BOD, COD di Air Waduk Manggar Kota Balikpapan**

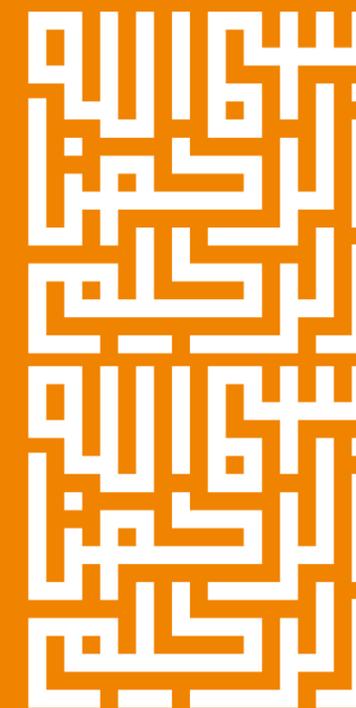
Nia Febrianti, Vina Mauliana, Rahmi Yorika

**Pada Produksi Black Garlic Sembalun Menggunakan Pendekatan Penilaian Daur Hidup (Life Cycle Assessment)**

Fathul Rakhman, Joni Safaat Adiansyah, Mustiana

**Pada Limbah Tambang Dengan Menggunakan Zeolit Alam**

Wawan Budianta, Arifudin Idrus, Winarto Kurniawan, Widyawanto Prastistho



**DEWAN REDAKSI**  
**AL-ARD: JURNAL TEKNIK LINGKUNGAN**

Jurnal Al-Ard adalah Jurnal Teknik Lingkungan yang diterbitkan secara berkala dua kali dalam setahun oleh Program Studi Teknik Lingkungan Fakultas Sains dan Teknologi UIN Sunan Ampel Surabaya.

**Penanggung Jawab**

Dr. A. Saepul Hamdani, M.Pd

**Ketua Redaksi**

Dedy Suprayogi, M.KL

**Redaktur**

Shinfi Wazna Auvaria, MT

**Penyunting/ Editor**

Ida Munfarida, MT

Sarita Oktarina, M.Kes

Sulistiya Nengse, MT

Abdul Hakim, MT

Widya Nilandita, M. KL

Teguh Taruna Utama, MT

**Reviewer**

Achmad Chusnun Ni'am, S.Si., M.T., Ph.D.

Dr. Maritha Nilam Kusuma, ST.MT

Dr. Ir. Mochammad Chaerul, S.T, M.T.

Dr. Ranno Marlany Rachman, ST, M.Kes

Dr. Rhenny Ratnawati, ST, MT

Arya Rezagama, ST, MT

**Alamat Redaksi**

Fakultas Sains dan Teknologi UIN Sunan Ampel Surabaya

Jl. Jend. Ahmad Yani 117 Surabaya Jawa Timur 60237

Telp. 031-8493836 Fax. 031-8474347

Website : [www.uinsby.ac.id](http://www.uinsby.ac.id)

Email : [al\\_ard@uinsby.ac.id](mailto:al_ard@uinsby.ac.id)

## KATA PENGANTAR

Alhamdulillah, puji syukur kami panjatkan kehadirat Allah SWT atas terselesainya edisi kedelapan nomor dua Jurnal Program Studi Teknik Lingkungan, Fakultas Sains dan Teknologi UIN Sunan Ampel Surabaya. Jurnal ini diberi nama “**Al-Ard: Jurnal Teknik Lingkungan**” berdasarkan kesepakatan bersama tim jurnal Program Studi Teknik Lingkungan, yang berarti **Bumi**.

Volume 8, Nomor 2, Al-Ard Jurnal Teknik Lingkungan ini menampilkan 7 artikel, yaitu: *pertama*, mengenai “**Pengaruh Jenis Aerator Dan Media Filter Dalam Menurunkan Kadar Besi (Fe) Air Sumur**” yang ditulis oleh Reza Megananda Dwi Harvianti, Ririn Endah Badriani, Yeny Dhokhikah; *kedua*, mengenai “**Dekontaminasi Parameter Biologi dan Pathogen Menggunakan Biofilm Konsorsium Bergerak Dilanjutkan dengan Integrasi Pengolahan Fisik (Pengendapan-Sterilisasi) Secara Simultan**” yang ditulis oleh Rizka Novembrianto, Restu Hikmah Ayu Murti, Muslikha Nourma Rhomadhoni; *ketiga*, mengenai “**Evaluasi Pengelolaan Sampah Kecamatan Gresik Kabupaten Gresik Ditinjau Dari Aspek Teknis**” yang ditulis oleh Mohammad Fardi Habibi, Wahyono Hadi, Achmad Chusnun Ni'am; *keempat*, mengenai “**Analisis Daya Dukung Tata Air untuk Monitoring Kinerja Pengelolaan DAS Poleang, Sulawesi Tenggara**” yang ditulis oleh La Gandri, Hasbullah Syaf, Musram Abadi, Umar Ode Hasani, La Ode Kasno Arif, Albasri; *kelima*, mengenai “**Pemanfaatan Kulit Singkong sebagai Adsorben dalam Menurunkan Kadar BOD, COD di Air Waduk Manggar Kota Balikpapan**” yang ditulis oleh Nia Febrianti, Vina Mauliana, Rahmi Yorika; *keenam*, mengenai “**Evaluasi Jejak Karbon Pada Produksi Black Garlic Sembalun Menggunakan Pendekatan Penilaian Daur Hidup (Life Cycle Assessment)**” yang ditulis oleh Fathul Rakhman, Joni Safaat Adiansyah, Mustiana; *ketujuh*, mengenai “**Stabilisasi Merkuri Pada Limbah Tambang Dengan Menggunakan Zeolit Alam**” yang ditulis oleh Wawan Budianta, Arifudin Idrus, Winarto Kurniawan, Widyawanto Prastistho.

Semoga sajian artikel dalam jurnal ini mampu meningkatkan pemahaman mengenai lingkungan dan meningkatkan kesadaran bersama dalam pemanfaatan, pengembangan, sekaligus pemeliharaan lingkungan dengan teknologi yang tepat guna. Kritik dan saran selalu kami harapkan sebagai perbaikan dan pengembangan jurnal edisi berikutnya.

Surabaya, Maret 2023

Salam Redaksi

## DAFTAR ISI

<b>Pengaruh Jenis Aerator Dan Media Filter Dalam Menurunkan Kadar Besi (Fe) Air Sumur</b> Reza Megananda Dwi Harvianti, Ririn Endah Badriani, Yeny Dhokhikah	Hal. 68-73
<b>Dekontaminasi Parameter Biologi dan Pathogen Menggunakan Biofilm Konsorsium Bergerak Dilanjutkan dengan Integrasi Pengolahan Fisik (Pengendapan-Sterilisasi) Secara Simultan</b> Rizka Novembrianto, Restu Hikmah Ayu Murti, Muslikha Nourma Rhomadhoni	Hal. 74-82
<b>Evaluasi Pengelolaan Sampah Kecamatan Gresik Kabupaten Gresik Ditinjau Dari Aspek Teknis</b> Mohammad Fardi Habibi, Wahyono Hadi, Achmad Chusnun Ni'am	Hal. 83-90
<b>Analisis Daya Dukung Tata Air untuk Monitoring Kinerja Pengelolaan DAS Poleang, Sulawesi Tenggara</b> La Gandri, Hasbullah Syaf, Musram Abadi, Umar Ode Hasani, La Ode Kasno Arif, Albasri	Hal. 91-100
<b>Pemanfaatan Kulit Singkong sebagai Adsorben dalam Menurunkan Kadar BOD, COD di Air Waduk Manggar Kota Balikpapan</b> Nia Febrianti, Vina Mauliana, Rahmi Yorika	Hal. 101-107
<b>Evaluasi Jejak Karbon Pada Produksi Black Garlic Sembalun Menggunakan Pendekatan Penilaian Daur Hidup (Life Cycle Assessment)</b> Fathul Rakhman, Joni Safaat Adiansyah, Mustiana	Hal. 108-113
<b>Stabilisasi Merkuri Pada Limbah Tambang Dengan Menggunakan Zeolit Alam</b> Wawan Budianta, Arifudin Idrus, Winarto Kurniawan, Widyawanto Prastistho	Hal. 114-118



## Pengaruh Jenis Aerator Dan Media Filter Dalam Menurunkan Kadar Besi (Fe) Air Sumur

Reza Megananda Dwi Harvianti<sup>1</sup>, Ririn Endah Badriani<sup>2\*</sup>, Yeny Dhokhikah<sup>3</sup>

<sup>1,2,3</sup> Program Studi S1 Teknik Lingkungan, Jurusan Teknik Sipil, Fakultas Teknik, Universitas Jember, Jember, Indonesia

\*[ririn.teknik@unej.ac.id](mailto:ririn.teknik@unej.ac.id)

---

### Abstract

The conversion of agricultural land into residential areas will have an impact on the need for clean water which contains various metal contaminants such as iron. One of them is the Randu Housing, Sumberejo Village, Sukodono District, Lumajang Regency, which is one of the many housing estates built from former rice fields. This study aims to analyze the effect of using types of aerators, namely cascade aerators and bubble aerators with a variety of filter media using dune sand and river sand with a discharge of 1 liter/minute. This type of research uses an experimental method which is carried out on a laboratory scale. The results showed the percentage reduction in Fe content in aeration treatment using cascade aerator and bubble aerator were 14,55% and 2,16%, sedimentation treatment was 3.34%, and filtration treatment using dune sand and river sand filter media were 81,85% and 89.13%. The result of this research showed that the variables of the cascade aerator, dune sand filter and river sand filter had a significant relationship with the decrease in iron content. While the relationship that does not have a significant effect is the bubble aerator and sedimentation variables. Keywords: Aeration, Sedimentation, Filtration and Iron (Fe)

### Abstrak

Alih fungsi lahan pertanian menjadi pemukiman penduduk akan berdampak pada kebutuhan air bersih yang mengandung berbagai kontaminan logam seperti besi. Salah satunya pada Perumahan Randu, Desa Sumberejo, Kecamatan Sukodono, Kabupaten Lumajang merupakan salah satu dari sekian banyak perumahan yang dibangun dari lahan bekas sawah. Penelitian ini bertujuan menganalisis pengaruh penggunaan jenis aerator, yaitu *cascade aerator* dan aerator gelembung dengan variasi media filter menggunakan pasir gumuk dan pasir sungai dengan debit 1 liter/menit. Jenis penelitian ini menggunakan metode eksperimental yang dilaksanakan dalam skala laboratorium. Hasil penelitian menunjukkan persentase penurunan kadar Fe pada pengolahan aerasi dengan menggunakan *cascade aerator* dan aerator gelembung sebesar 14,55% dan 2,16%, pengolahan sedimentasi sebesar 3,34%, dan pengolahan filtrasi dengan menggunakan media filter pasir gumuk dan pasir sungai sebesar 81,85% dan 89,13%. Hasil penelitian menunjukkan bahwa variabel *cascade aerator*, filter pasir gumuk dan filter pasir sungai memiliki hubungan yang berpengaruh secara signifikan terhadap penurunan kadar besi. Sedangkan hubungan yang tidak berpengaruh secara signifikan yaitu variabel aerator gelembung dan sedimentasi.

Kata kunci: Aerasi, Sedimentasi, Filtrasi dan Besi (Fe)

---

## 1. PENDAHULUAN

Berdasarkan Badan Pusat Statistik Kabupaten Lumajang, (2021) Kabupaten Lumajang memiliki 113.602 Ha lahan pertanian dan 15% penduduknya merupakan perkerja bebas di pertanian. Seiring dengan perkembangan jumlah penduduk yang semakin tinggi menyebabkan peningkatan kebutuhan akan ruang tempat tinggal, maka

lahan pertanian berubah alih fungsi menjadi pemukiman. Apalagi dimasa sekarang semakin banyak lahan-lahan sawah yang dijadikan sebagai perumahan, seperti di perumahan Randu. Perumahan Randu merupakan salah satu dari sekian banyak perumahan yang dibangun dari lahan bekas sawah di Kabupaten Lumajang. Alih fungsi lahan pertanian menjadi pemukiman penduduk akan berdampak pada

kebutuhan air bersih yang mengandung berbagai kontaminan logam seperti besi. Kandungan kadar besi yang tinggi dalam air akan memberikan gangguan dalam sistem penyediaan air bersih dan air minum. Perumahan Randu rata-rata menggunakan air sumur bor untuk keperluan air sehari-hari. Perumahan Randu terletak di Jalan Lintas Timur, Rejosari, Desa Sumberejo, Kecamatan Sukodono, Kabupaten Lumajang.

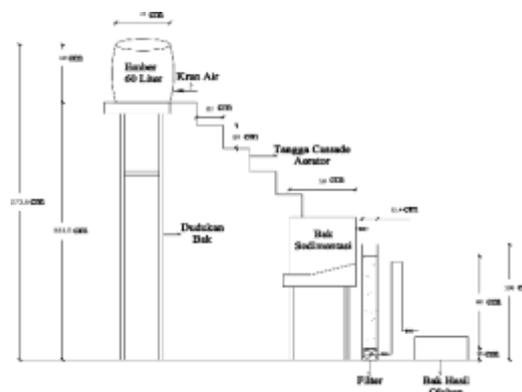
Air sumur di perumahan Randu memiliki karakteristik, yaitu air berbau logam, berwarna kuning dan meninggalkan kerak kekuningan pada bak mandi maupun pipa untuk jalan distribusi air tersebut serta meninggalkan noda pada pakaian. Karakteristik tersebut merupakan indikasi adanya kandungan logam besi didalam air sumur. Pada bulan Februari Tahun 2022, hasil pemeriksaan pada air sumur di salah satu rumah di Perumahan Randu Desa Sumberejo Kabupaten Lumajang diperoleh kandungan besi (Fe) sebesar 3,784 mg/l sehingga kadar besi tersebut melebihi ambang batas baku mutu yang sudah ditetapkan pada Peraturan Menteri Kesehatan Nomor 492/Menkes/Per/ IV/2010 tentang Persyaratan Kualitas Air Minum yaitu 0,3 mg/l. Air dengan kandungan Fe terlarut yang tinggi perlu adanya sistem pengolahan air terlebih dahulu. Kandungan besi terlarut yang dapat digunakan untuk teknologi pengolahan air adalah aerasi dan filtrasi. Aerasi merupakan pengolahan air melalui kontak dengan udara (Wibisono dan Rachmanto, 2021). Menurut Aba dkk., (2017), pengolahan air dengan aerasi secara luas telah digunakan untuk menurunkan kandungan konsentrasi zat padat terlarut pada besi yang terlalu tinggi. Prinsip filtrasi adalah penyaringan secara fisik, kimia dan biologi untuk menyaring partikel yang tidak dapat diendapkan dalam proses sedimentasi media berpori. Filtrasi digunakan untuk memisahkan flok-flok berukuran kecil dan tidak dapat diendapkan sebesar 5-10% (Maharani dan Wartini, 2017).

Berdasarkan penelitian Rivai dan Hermanto (2019) penurunan besi menggunakan metode *cascade aerator* dan kombinasi filtrasi dapat menurunkan kadar besi sebelum perlakuan yaitu 2,71 mg/l dan mengalami penurunan menjadi 0,54 mg/l atau 80,07% dengan debit 0,2 l/menit. Penelitian tersebut menggunakan variasi debit aliran aerasi sebagai variabel dan didapatkan bahwa

semakin lambat debit aliran yang digunakan semakin besar terjadinya penurunan karena semakin lama waktu kontaknya dengan udara. Menurut Riyanto dkk., (2021) analisis penurunan kadar besi dengan metode variasi waktu aerasi dan variasi saringan pasir lambat didapatkan bahwa semakin lama waktu aerasi menggunakan aerator gelembung, maka semakin tinggi kadar besi yang berkurang. Penelitian ini bertujuan menganalisis pengaruh penggunaan jenis aerator, yaitu *cascade aerator* dan aerator gelembung dengan variasi media filter menggunakan pasir gumuk dan pasir sungai dengan debit 1 liter/menit.

## 2. METODOLOGI

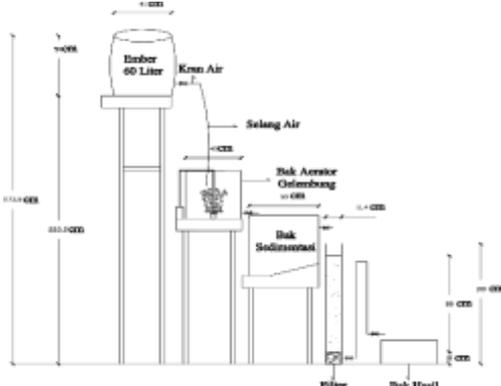
Jenis penelitian ini menggunakan metode eksperimental yang dilaksanakan dalam skala laboratorium untuk menentukan pengaruh jenis aerator dan media filter dalam menurunkan kadar besi (Fe) pada air sumur. Tempat pengambilan sampel air sumur di Perumahan Randu Desa Sumberejo Kecamatan Sukodono, Kabupaten Lumajang dan pada saat menguji kadar parameter besi (Fe) dilaksanakan di Laboratorium Kesehatan Daerah Kabupaten Lumajang. Pengolahan data dilakukan menggunakan uji Regresi Linier dan uji T Berpasangan. Setelah semua data diperoleh, kemudian dilakukan analisis dan pembahasan mengenai hasil yang sudah diperoleh. Rangkaian alat yang digunakan pada penelitian ini dapat dilihat pada Gambar 1 sampai Gambar 4.



Gambar 1. Sketsa Rancangan Alat Penelitian Menggunakan Cascade Aerator dengan Filter



Gambar 2. Rancangan Alat Penelitian Menggunakan Cascade Aerator dengan Filter



Gambar 3. Sketsa Rancangan Alat Penelitian Menggunakan Aerator Gelembung dengan Filter



Gambar 4. Rancangan Alat Penelitian Menggunakan Aerator Gelembung dengan Filter

Perancangan alat penelitian meliputi:  
Perancangan Aerator

Pada penelitian ini menggunakan 2 aerator yaitu *cascade aerator* dan aerator gelembung. *Cascade aerator* alatnya berupa anak tangga yang dibuat dari bahan kayu dengan lebar 20 cm, panjang 20 cm dan tinggi 20 cm yang digunakan untuk mengalirkan air. Setiap tangganya dilapisi plastik agar air tidak merembes keluar. Air masuk ke *cascade aerator* melalui pipa berlubang yang berada di atas aerator. Air yang keluar dari pipa berlubang akan mengalir menuju tanggataangga *cascade aerator*. Penelitian ini  
p-ISSN: 2460-8815, e-ISSN: 2549-1652

menggunakan 5 tangga *cascade aerator*, penentuan jumlah tangga berdasarkan perhitungan transfer oksigen pada *cascade aerator*.

Bak aerator gelembung berbentuk persegi panjang terbuat dari kayu dengan ukuran dimenai lebar 25 cm, panjang 40 cm dan tinggi 40 cm. Pada bak aerator dilapisi plastik agar air merembes keluar. Waktu detensi aerator gelembung direncanakan selama 5 menit. Pompa aerator digunakan untuk mengeluarkan gelembung udara. *Cascade aerator* dan bak aerator gelembung dapat dilihat pada Gambar 5.



Gambar 5. Cascade Aerator dan Aerator Gelembung

Perancangan Bak Sedimentasi

Fungsi dari bak sedimentasi adalah sebagai bak penampung air dari aerator. Bak sedimentasi untuk mengendapkan flok besi hasil oksidasi dan sebagai *pretreatment* dari filter. Bak sedimentasi yang digunakan berbentuk trapesium yang dibuat dari bahan kayu dengan ukuran dimensi lebar 20 cm, panjang 50 cm dan tinggi 50 cm. Bak berbentuk trapesium, untuk sisi berbentuk miring berfungsi sebagai zona lumpur untuk memudahkan dalam pembersihan dan pembuangan lumpur yang terbentuk. Pada bak sedimentasi dilapisi plastik agar air tidak merembes keluar. Bak sedimentasi diberikan sekat atau *baffle* yang berfungsi mengatur aliran supaya teratur dan searah serta mempercepat pengendapan partikel-partikel zat padat yang tersuspensi di dalam air. Waktu detensi dalam sedimentasi yang direncanakan adalah 30 menit. Bak sedimentasi dapat dilihat pada Gambar 6.



Gambar 6. Bak Sedimentasi Tampak Atas, Tampak Depan dan Tampak Dalam

### Perancangan Unit Filter

Perancangan unit filtrasi aliran *slow down* dan *single media* dengan media pasir sebagai media filter dan kerikil sebagai media penyangga, ketebalan media pasir 80 cm dan ketebalan media penyangga 10 cm. Penelitian ini dioperasikan secara *constant rate* dengan debit 1 l/menit. Perancangan alat filter memakai pipa dengan diameter 11,4 cm dengan panjang 100 cm. Filter ini juga memakai *underdrain* dan jarak plat dengan dasar filter sebesar 5 cm. Filter dapat dilihat pada Gambar 7.

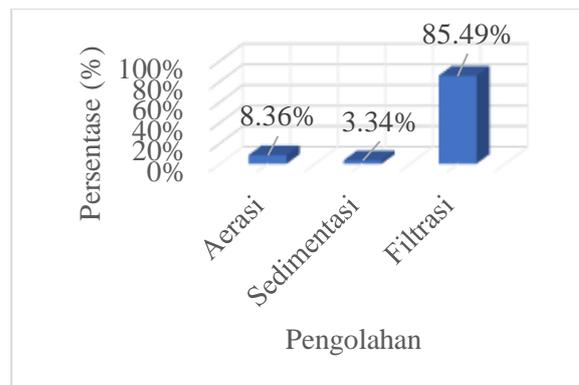


Gambar 7. Filter Tampak Depan

## 3. HASIL DAN PEMBAHASAN

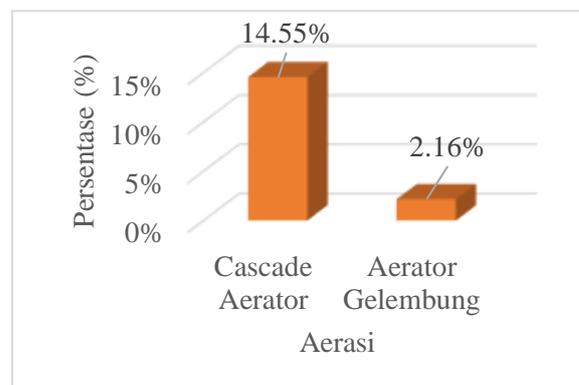
### Analisis Persentase Penurunan Kadar Fe pada Gabungan Unit Pengolahan

Pada gabungan unit pengolahan air minum ada tiga proses yaitu proses aerasi, sedimentasi dan filtrasi.



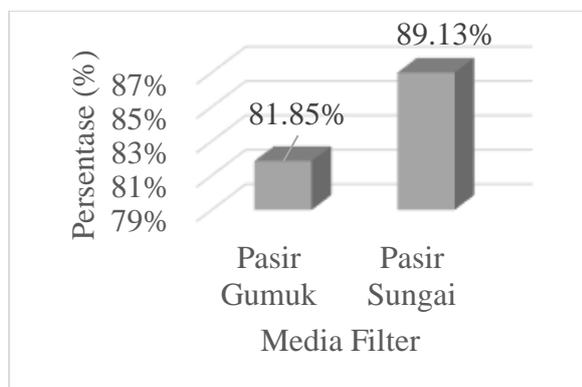
Gambar 8. Persentase Penurunan Kadar Besi

Gambar 8 menunjukkan persentase penurunan kadar Fe tertinggi pada unit pengolahan filtrasi sebesar 85,49%. Pada unit pengolahan filtrasi berperan besar terhadap penurunan kadar besi. Sedangkan yang terendah pada unit pengolahan sedimentasi sebesar 3,34%. Hal ini diduga kecepatan pengendapan Fe cukup lambat sehingga perlu waktu detensi yang lebih lama. Akibatnya dengan waktu detensi 30 menit, kadar Fe belum terendap dengan baik (Badriani, 2009).



Gambar 9. Persentase Penurunan Kadar Besi Pada Bak Aerasi

Gambar 9 menunjukkan persentase penurunan tertinggi pada aerator menggunakan *cascade aerator* sebesar 14,55% dan terendah menggunakan aerator gelembung sebesar 2,16%. Menurut (Diansari dkk., 2022) penggunaan metode *cascade aerator* dan aerator gelembung ada perbedaan, hal ini dapat dibuktikan berdasarkan uji analisis perbandingan bahwa ada perbedaan antara aerator gelembung dengan *cascade aerator*. *Cascade aerator* lebih efektif dalam menurunkan kadar Fe dalam air sumur bor daripada aerator gelembung.



Gambar 10. Persentase Penurunan Kadar Besi Pada Media Filtrasi

Gambar 10 menunjukkan persentase penurunan tertinggi pada filtrasi terjadi pada media filter pasir sungai sebesar 89,13% dan penyisihan terendah terjadi pada media filter pasir gumuk sebesar 81,85%. Hal ini disebabkan pada salah satu variabel pengolahan yang kurang maksimal dalam menurunkan kadar besi. Efektivitas media pasir sungai pada pengolahan filtrasi lebih baik dari media pasir gumuk yang disebabkan media pasir sungai memiliki butiran yang lebih halus dari pada media pasir sungai. Semakin besar nilai porositas akan memperkecil luas permukaan media sehingga menurunkan kemampuan media filter serta menghasilkan *headloss* yang semakin kecil, sebaliknya porositas yang terlalu kecil akan menghasilkan efluen yang baik dan *headloss* media bertambah (Badriani, 2009).

### Analisis Statistik

Pada penelitian ini hasil yang didapatkan berupa hubungan variabel bebas yaitu jenis pengolahan menggunakan aerator dan media filter terhadap nilai Besi (Fe). Uji statistik dalam penelitian ini menggunakan uji Regresi Linier. Tujuan dilakukannya uji statistik Regresi Linier adalah untuk mengetahui pengaruh variabel bebas terhadap variabel terikat. Analisis uji statistik menggunakan software R Studio. R Studio merupakan salah satu bahasa pemrograman yang memiliki banyak *package*. *Package* adalah kumpulan perintah-perintah yang digunakan untuk analisis tertentu (Evani, 2019).

### Analisis Statistik Besi (Fe)

Tabel 1. Koefisien Determinasi

term	estimate	std.error	statistic	p.value
(Intercept)	2.3385	0.0994	23.5043	0.0000
Aerator Gelembung	-0.0797	0.1195	-0.6669	0.5093
Cascade Aerator	-0.2927	0.1195	-2.4482	0.0196
Sedimentasi	-0.0783	0.0812	-0.9642	0.3417
Filter pasir gumuk	-1.6270	0.0994	-16.3538	0.0000
Filter pasir sungai	-1.8320	0.0994	-18.4143	0.0000

(Sumber : Hasil Perhitungan)

Berdasarkan hasil yang terdapat dalam Tabel 1, maka dapat dibentuk suatu persamaan regresi linier, yaitu:

$$Y = 2,33850 - 0,07975X_1 - 0,29275 X_2 - 0,07833X_3 - 1,62708X_4 - 1,83208X_5 \dots (3.1)$$

Keterangan:

- Y = kadar besi sebelum perlakuan
- X1 = aerator Gelembung
- X2 = cascade Aerator
- X3 = sedimentasi
- X4 = filter pasir gumuk
- X5 = filter pasir sungai

Dari persamaan 3.1 dapat dijelaskan bahwa pada saat tidak menggunakan aerator gelembung berarti nilai  $X_1$  sama dengan 0, menggunakan *cascade aerator* berarti  $X_2$  sama dengan  $-0,29275$  mg/l, kemudian tidak menggunakan sedimentasi berarti  $X_3$  sama dengan 0, menggunakan filter pasir gumuk berarti  $X_4$  sama dengan  $-1,62708$  mg/l dan tidak menggunakan filter pasir sungai berarti  $X_5$  sama dengan 0 sehingga didapatkan nilai rata-rata awal kadar besi 0,41867 mg/l.

Tabel 1 menunjukkan koefisien determinasi hasil analisis regresi linier, didapatkan bahwa terdapat 2 (dua) variabel bebas pada penelitian yang tidak berpengaruh secara signifikan terhadap variabel terikat (kadar besi akhir), yaitu aerator gelembung dan sedimentasi dengan *p-value* > 0,05 sebesar 0,50931 dan 0,34171. Terdapat 3 (tiga) variabel bebas yang berpengaruh secara signifikan terhadap kadar besi akhir, yaitu variabel *cascade aerator* dengan *p-value* < 0,05 sebesar 0,01967 yang artinya bahwa jenis

aerator menggunakan *cascade aerator* berpengaruh signifikan terhadap kadar besi akhir. Kemudian variabel filter pasir gumuk dan filter pasir sungai dengan *p-value* < 0,05 sebesar 0,00000 yang artinya bahwa variabel filter pasir gumuk dan filter pasir sungai berpengaruh signifikan terhadap kadar besi akhir.

Hasil analisis regresi linier pada penelitian ini didapatkan hasil yaitu variabel *cascade aerator*, filter pasir gumuk dan filter pasir sungai memiliki hubungan yang berpengaruh secara signifikan terhadap kadar besi akhir. Sedangkan hubungan yang tidak berpengaruh secara signifikan yaitu variabel aerator gelembung dan sedimentasi dengan variabel yang menjadi pembanding yaitu variabel tanpa aerator, tanpa sedimentasi dan tanpa filter.

#### 4. Kesimpulan

Besar persentase penurunan kadar Fe pada pengolahan aerasi dengan menggunakan *cascade aerator* sebesar 14,55% dan aerator gelembung sebesar 2,16%. Besar persentase penurunan kadar Fe pada pengolahan sedimentasi sebesar 3,34% dan besar persentase penurunan kadar Fe pada pengolahan filtrasi dengan menggunakan media filter pasir gumuk dan pasir sungai sebesar 81,85% dan 89,13%. Hasil analisis regresi linier pada penelitian ini didapatkan hasil yaitu variabel *cascade aerator*, filter pasir gumuk dan filter pasir sungai memiliki hubungan yang berpengaruh secara signifikan terhadap penurunan kadar besi. Sedangkan hubungan yang tidak berpengaruh secara signifikan yaitu variabel aerator gelembung dan sedimentasi.

#### 5. DAFTAR PUSTAKA

- Aba, L., Bahrin, & Armid. (2017). Pengolahan Air Sumur Gali Dengan Metode Aerasifiltrasi Menggunakan Aerator Gelembung Dan Saringan Pasir Cepat Untuk Menurunkan Kadar Besi (Fe) Dan Mangan (Mn). *Aplikasi Fiiska*, 13(02), 38–47.
- Badriani, Ririn Endah. (2009). Kajian Efisiensi Penurunan Kadar Besi Air Tanah Sidoarjo Dengan Menggunakan Modifikasi Tray Aerator Dan Sedimentasi. *Jurnal Rekayasa*, 6(2), 129-265.
- BPS Kabupaten Lumajang. (2021). Kabupaten Lumajang Dalam Angka 2021. *Catalog*, 148.
- Diansari, U., Purnaini, R., & Asbanu, C. (2022). Perbandingan Efisiensi Cascade Aerator dan Bubble Aerator dalam Menurunkan Kadar Besi Air Sumur Bor Jurusan Teknik Lingkungan Universitas Tanjungpura 2017 tentang Standar Baku Mutu Kesehatan Lingkungan dan Persyaratan Kesehatan Air. *10(1)*, 11–21.
- Maharani, N. E., & Wartini, W. (2017). Efektivitas Filter Serpihan Marmer Terhadap Penurunan Kadar Besi, Mangan dan Magnesium pada Air Sumur Gali. *Jurnal Kesehatan*, 10(1), 1. <https://doi.org/10.23917/jurkes.v10i1.5486>
- Permenkes RI. (2010). Peraturan Menteri Kesehatan Republik Indonesia Nomor 492/Menkes/Per/IV/2010 Tentang Persyaratan Kualitas Air Minum. In *Peraturan Menti Kesehatan Republik Indonesia* (p. MENKES).
- Rachmanto, A.T, & Septiari Wibisono, F. (2021). Kombinasi Cascade Aerator Dan Adsorpsi Zeolite Dalam Menurunkan Kadar Fe Terlarut Di Air Sumur. *EnviroUS*, 2(1), 1–8. <https://doi.org/10.33005/enviroUS.v2i1.51>
- Rivai, A., & Hermanto, A. (2019). Efektivitas Metode Cascade Aerasi Dan Kombinasi Filtrasi Dalam Menurunkan Kadar Besi (Fe) Pada Air Sumur Gali. *Sulolipu: Media Komunikasi Sivitas Akademika Dan Masyarakat*, 17(1), 89. <https://doi.org/10.32382/sulolipu.v18i1.1724>
- Riyanto, E., Taufik, M., & Saputri, M. (2021). Analisis Penurunan Kadar Besi (Fe) dalam Air Sumur Gali dengan Metode Variasi Waktu Aerasi Filtrasi Menggunakan Aerator Gelembung dan Variasi Saringan Pasir Lambat. *Surya Beton: Jurnal Ilmu Teknik Sipil*, 5(1), 1–9.



## Dekontaminasi Parameter Biologi dan Pathogen Menggunakan Biofilm Konsorsium Bergerak Dilanjutkan dengan Integrasi Pengolahan Fisik (Pengendapan-Sterilisasi) Secara Simultan

Rizka Novembrianto<sup>1\*</sup>, Restu Hikmah Ayu Murti<sup>2</sup>, Muslikha Nourma Rhomadhoni<sup>3</sup>

<sup>1,2</sup> Universitas Pembangunan Nasional “Veteran” Jawa Timur, Surabaya, Indonesia

<sup>3</sup> Universitas Nahdlatul Ulama Surabaya, Surabaya, Indonesia

\*[rizka.tl@upnjatim.ac.id](mailto:rizka.tl@upnjatim.ac.id)

---

### Abstract

Domestic wastewater discharged into water bodies without adequate management can reduce the quality of water bodies. This reduction in rate is one of the causes of high total coliform. In this study, reducing the total coliform content was the main goal as a water pollutant parameter that had to be reduced. In the aerobic process, organic processing uses an air supply of 20 L/minute in suspended and attached processing for embedded media using Kaldnes K5 media and spiked bio-balls; each 30% of the reactor volume is preceded by seeding and acclimatization processes. Variations in the processing time were suspended for 2 hours and attached for 6 hours and vice versa. Furthermore, it is processed by physical processing simultaneously, namely the process of deposition and sterilization with an exposure and deposition time of 2 to 6 hours. The seeding and acclimatization process was carried out for 21 days. The best processing was obtained using suspension for 2 hours, attached for 6 hours on Kaldnes K5 media, and precipitation and exposure to ultraviolet light for 6 hours showed a decrease in COD of 92.85% and for Total coliform of 98.67%.

Keywords: domestic, organic, media, ultraviolet

### Abstrak

Air limbah domestik yang dibuang ke air badan air tanpa pengelolaan yang memadai dapat menurunkan kualitas badan air, penurunan kualitas ini salah satunya disebabkan oleh tingginya *total coliform*. Pada penelitian ini penurunan kandungan *total coliform* menjadi tujuan utama sebagai parameter pencemar air yang harus diturunkan. Pada proses aerob, pengolahan organik menggunakan *air supply* sebesar 20 L/menit pada pengolahan secara tersuspensi dan terlekat, untuk media terlekat menggunakan media kaldnes K5 dan bioball berduri masing-masing 30% dari volume reaktor yang didahului proses *seeding* dan aklimatisasi. Variasi waktu pengolahan yang digunakan adalah tersuspensi 2 jam dan terlekat selama 6 jam serta sebaliknya. Selanjutnya diolah dengan pengolahan secara fisik secara simultan yakni proses pengendapan dan sterilisasi dengan waktu paparan dan pengendapan yakni 2 hingga 6 jam. Proses *seeding* dan aklimatisasi dilakukan selama 21 hari. Didapatkan pengolahan terbaik menggunakan tersuspensi 2 jam, terlekat 6 jam pada media kaldnes K5 dan pengendapan sekaligus paparan sinar ultraviolet selama 6 jam menunjukkan hasil penurunan COD sebesar 92,85 % dan untuk *Total coliform* sebesar 98,67 %.

Kata Kunci: domestik, organik, media, ultraviolet

---

## 1. PENDAHULUAN

Umumnya air limbah di daerah perkotaan masih melakukan pembuangan ke sungai berasal dari kegiatan masyarakat domestik (Nurhayati dkk., 2019). Akan tetapi karakteristik air limbah yang dihasilkan jauh dari kualitas untuk menunjang kenyamanan hidup. Widyarani dkk. (2022) dalam penelitiannya menyebutkan bahwa air *grey*

*water* di Indonesia dapat menjadi sumber pencemaran air yang signifikan karena jumlahnya yang besar dan kurangnya pengolahan. Selain itu, pengolahan *black water* yang sebagian besar bergantung pada pengolahan di tempat seringkali tidak memadai karena kurangnya kontrol kualitas untuk infrastruktur, pengoperasian dan pemeliharaan.

Negara berkembang seperti Indonesia membutuhkan infrastruktur dalam pengolahan air limbah domestik yang efektif dan efisien. Penduduk yang berasal dari pedesaan saat ini populasi telah bertumbuh dengan pesat dan meningkat. Permasalahan ini lebih parah karena pembangunan di perkotaan lebih pesat dan langkah-langkah pembuangan air limbah harus sesuai dengan peraturan yang berlaku dan wajib melakukan kontrol dari pengolahan air limbah tersebut.

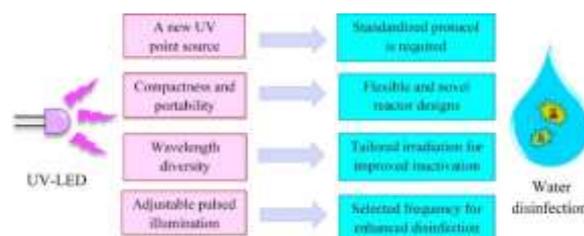
Dalam pengolahan konvensional membutuhkan oksigen untuk mikroorganisme aerobik mereduksi bahan organik. Dalam pengolahan air limbah aerobik, aerasi adalah elemen paling kritis dari sistem pengolahan. Sistem ini memasok mikroorganisme dengan oksigen terlarut yang dibutuhkan, serta mempertahankan padatan dalam suspensi dan, dalam bioreaktor membrane (Skouteris, 2020). Oleh karena itu badan air penerima umumnya banyak kandungan nutrisi (nitrogen dan fosfor) sehingga sungai mengalami eutrofikasi dan menjadi zona mati yang pada akhirnya mencemari perairan air tawar (Nandini dkk., 2021). Ekosistem akan mengalami penurunan kualitas lingkungan seperti air dan tanah. Selain itu pula menimbulkan efek bau (Ratnawati dan Ulfah, 2020)

Dampak negatif ini juga akan berdampak bagi kesehatan manusia, oleh karena itu dilakukan upaya-upaya dalam penanganan pengolahan air limbah. Salah satu cara pengolahan juga dapat menggunakan pengolahan secara biologi dengan memanfaatkan lumpur aktif (Said dan Syabani, 2014) dan pengolahan seperti *Moving Bed Biofilm Reactor* (MBBR) dengan memanfaatkan biofilm yang dalam media yang bergerak dalam tanki aerasi (Kholif, dkk., 2018; Chairani, dkk., 2021).

Media atau tempat melekat *biocarrier* seperti kaldnes dan bioball sering digunakan dalam pengolahan air. Kaldnes (polyethylene media) merupakan media yang sangatlah penting untuk membuat ekosistem yang stabil dengan memberikan tempat yang sangat cocok untuk bakteri baik berkembang biak. Keberadaan media Kaldnes memiliki efek stimulasi pada pertumbuhan komponen organik (Justyna, 2018). Kaldnes tipe K5 merupakan kaldnes yang mempunyai luas permukaan untuk mikroorganisme berkolonisasi sampai dengan 800 m<sup>2</sup>/L. Sedang untuk bioball duri mempunyai diameter 3,8 cm. Kedua media ini mempunyai luas permukaan

cukup besar sehingga saat turbulensi substrat bisa menyalurkan ke biofilm (Said dan Syabani, 2014). Penelitian ini menggunakan debit udara sebesar 20 L/min yang lebih besar dari Novembrianto dkk., (2021) hanya 8 L/min.

Pembentukan biofilm pada permukaan biotik atau abiotik disebabkan oleh sel mikroba dari spesies tunggal atau heterogen. Biofilm melindungi mikroba dari kondisi lingkungan yang penuh tekanan, aksi toksik bahan kimia, dan zat antimikroba (Chattopadhyay, 2022). Bentuk dan pori-pori pembawa biofilm memainkan peran utama dalam menentukan efisiensi fluidisasi, imobilisasi biomassa, dan efisiensi penyisihan. Namun, sedikit yang diketahui tentang dampaknya terhadap efisiensi bioremediasi. Pada penelitian Amshawee dkk., (2020) menyoroti fungsi geometri pembawa (yaitu, pori-pori dan bentuk) pada produktivitas bioremediasi, di mana pemilihan geometri pembawa yang salah dapat mencegah mikroba yang menempel pada inti dari mengakses nutrisi.



Gambar 1. Desinfeksi LED UV (Song dkk., 2016)

Gambar 1 menjelaskan proses penggunaan sinar UV-LED terhadap desinfeksi pengolahan air limbah. Terdapat empat factor yang mempengaruhi efektifitas penggunaan sinar UV diantaranya; *UV point source*, kemudahannya untuk dibawa, keragaman panjang gelombang, penerangan yang dapat disesuaikan. Banyaknya bahan organik alami atau *Natural Organic Matter* (NOM) dalam sumber air meningkatkan kadar produk sampingan beracun selama desinfeksi, termasuk trihalomethanes (THMs) yang terbentuk ketika NOM diklorinasi. Hajderes dkk (2019) mengeksplorasi kemanjuran dalam menggunakan UVC-LED sebagai desinfektan utama. Hasil studi tersebut menjelaskan bahwa penambahan UV-LED pada water treatment dapat menurunkan dosis klorinasi. Desinfeksi ultraviolet (UV) adalah salah satu teknologi paling umum dan paling efektif untuk desinfeksi air dan air limbah. Meskipun teknologi desinfeksi konvensional lainnya telah banyak digunakan seperti ozon, klorin

oksida, klorin, dan asam perasetat; semuanya mengandung bahan kimia dan menghasilkan produk sisa (Nguyen, 2019).

UV dengan klorinasi rendah dihasilkan sekitar 4,6 kali lebih sedikit THM dibandingkan dengan klorinasi konvensional. Studi lain yang dilakukan oleh Liang dkk juga menyatakan bahwa UV-LED dapat menurunkan *Tetracycline Resistant Bacteria* (TRB) dari *Bacillus species* dan *tetracycline resistant gene* (TRG) secara efektif dengan cara yang cepat, hemat energi, dan mengurangi resistensi (Liang dkk., 2020).

Proses sedimentasi pada penelitian ini dilakukan proses sterilisasi secara simultan dengan tujuan untuk mengurangi mikroorganisme patogen (Sulfikar dkk., 2018). Salah satu mikroorganisme patogen yang menyebar melalui air adalah bakteri *coliform* sehingga perlu adanya pengendalian kualitas air agar tidak terjadi pencemaran. Salah satu upayanya adalah dengan menggunakan sterilisasi untuk membunuh atau menonaktifkan bakteri dengan cara memberikan sinar ultraviolet (Winarti, 2020).

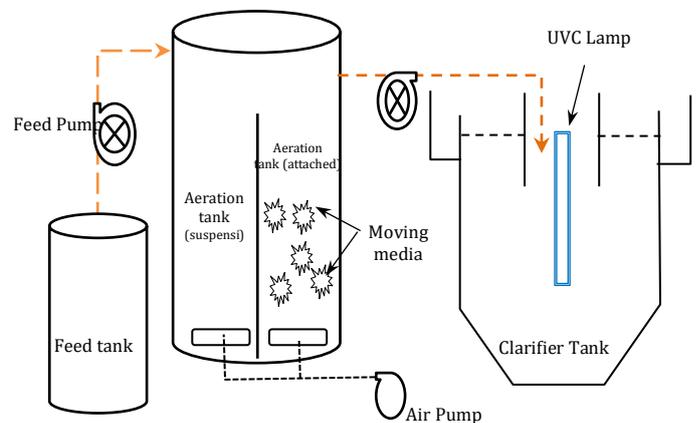
## 2. METODE PENELITIAN

Pada penelitian ini menggunakan air limbah domestik pada aktivitas pembangunan salah satu gedung kampus UPN "Veteran" Jawa Timur di kecamatan Gunung Anyar kota Surabaya dengan titik koordinat 7°20'1.68"S dan 112°47'19.59"E sebagai sampel. Teknologi untuk mengolah air limbah menggunakan beberapa metode kombinasi pengolahan secara biologi yakni melalui pengolahan secara tersuspensi dan dilanjutkan dengan pengolahan secara melekat. Hal ini bertujuan untuk mengurangi terbentuknya *foam* dan *bulking* yang terbentuk akibat aktivitas bakteri filamen pada proses di tanki aerasi (Raditias dkk., 2019; Ningtyas, 2015).

Perlakuan *seeding* dan aklimatisasi dilakukan hingga mencapai *steady state* dengan pengamatan pada parameter COD. Proses *seeding* dalam reaktor anaerobik dengan tujuan membiakkan bakteri dengan metode kultur tersuspensi yaitu bertujuan menurunkan COD (Herlina N dkk., 2020). Proses *seeding* pada volume 30 liter dilakukan selama 14 hari hingga permukaan media berubah warna menjadi kecokelatan dan terlihat lapisan biofilm pada permukaan media. *Seeding* dilakukan dengan melakukan penambahan (*difuse*) udara ke dalam reaktor (Didgdoyo dan Cahyonugroho, 2021).

Selanjutnya dilakukan aklimatisasi hingga *steady state* selama  $\pm 7$  hari dengan tujuan mikroorganisme mampu menyesuaikan terhadap air limbah.

Variabel penelitian ini yaitu lama waktu aerasi secara tersuspensi 2 jam dan melekat selama 6 jam dibandingkan dengan tersuspensi 6 jam dan melekat selama 2 jam. total aerasi tersebut dengan waktu 8 jam. Perbandingan media melekat yang digunakan adalah Kaldnes dan Bioball duri. Selanjutnya air limbah dialirkan menuju bak sedimentasi untuk pengendapan partikel sekaligus diberikan paparan sinar UVC tipe C (Elkhatat dkk., 2022; Fikri dkk., 2022; Kreitenberg 2022) dengan panjang gelombang 254 nm yang berfungsi untuk mereduksi *Total coliform*. Untuk rangkaian reaktor dapat dilihat pada Gambar 1 sebagai berikut :



Gambar 2. Reaktor penelitian  
(Sumber: Hasil Penelitian, 2022)

Reaktor yang telah termodifikasi yang dirancang skala laboratorium terbuat dari bahan fiber. Aerasi Pada proses tahap 1 yakni pengolahan secara aerob yang didahului oleh proses aerasi secara tersuspensi kemudian dilanjutkan dengan aerasi secara melekat dengan media kaldnes sebagai variasi 1 dan media bioball duri sebagai variasi 2. Integrasi sistem aerasi (Eslami dkk., 2018) dalam satu reaktor.

Namun pada penelitian ini dilakukan secara terpisah dengan menggunakan perlakuan aerasi pada masing-masing ruang sebesar 10 L/min. Waktu aerasi diberikan dengan waktu selama 8 jam (Nakhli dkk., 2014). Kemudian dilakukan pengendapan dan paparan sinar UVC 11 watt selama 2, 3, 4, 5 dan 6 jam secara simultan.

Hasil penelitian berupa sample mikroorganismen yang telah hidup pada media kaldnes dilakukan uji *Scanning Electron Microscope* (SEM) untuk melihat permukaan pada media. SEM yang digunakan untuk spesimen biologis telah terbukti berhasil digunakan untuk pencitraan partikel inhalasi berdimensi mikrometer yang dipelajari sebelum munculnya bahan nano (Ann dkk., 2013).

Pengolahan dilakukan secara *batch* dalam setiap unit pengolahan. Hal ini untuk mengetahui kinerja setiap unit pengolahan air limbah domestik (Atnafu and Leta, 2021).

### 3. HASIL DAN PEMBAHASAN

Hasil analisa awal air limbah domestik yang dilakukan pada penelitian ini dapat dilihat pada Tabel 1 sebagai berikut :

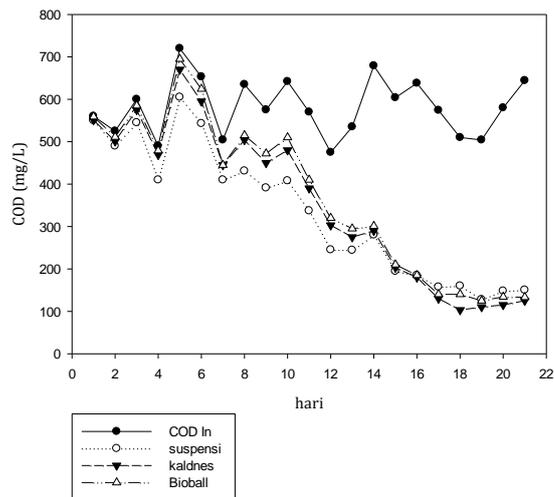
Tabel 1. Sampel Awal

Parameter	Satuan	Hasil Analisa	Permen LHK No. 68 Tahun 2016
COD	mg/L	560	100
Total coliform	MPN/100 mL	3600	3000
pH	-	7	6-9
Suhu	°C	28	Deviasi

(Sumber: hasil penelitian, 2022)

Pada Tabel 1 memperlihatkan hasil analisa uji kualitas air limbah domestik yakni didapatkan pH awal berkisar  $7.4 \pm 0.1$ , nilai COD sebesar 560 mg/L dan *Total coliform* sebesar 3600 jumlah/100 mL. Parameter COD dan *Total coliform* ini belum memenuhi baku mutu sesuai Peraturan Menteri Lingkungan Hidup No. 68 Tahun 2016.

Pada penelitian ini diawali dengan proses *seeding* dilakukan secara natural yakni dengan menggunakan air limbah domestik tersebut. Proses tersebut dilakukan kontrol sebagaimana untuk keberlangsungan hidup mikroorganismen konsorsium (Kholif dkk., 2020).



Gambar 3. Reduksi COD pada Proses Seeding dan Aklimatisasi  
 (Sumber: Hasil Analisa, 2022)

Gambar 3 menunjukkan pada proses *seeding* dan aklimatisasi yang dilakukan selama 21 hari. Saat proses *seeding* terdapat perbedaan dengan pengolahan tersuspensi dan pengolahan secara melekat. Untuk *seeding* secara tersuspensi lebih banyak menghasilkan *foam* daripada *seeding* secara melekat. Hal ini dikarenakan adanya media berupa kaldnes dan bioball sebagai tempat melekatnya mikroorganismen dapat mengendalikan terjadinya *foam* yang berlebih yang terbentuk pada proses aerasi. Hal ini sejalan dengan penelitian yang dilakukan oleh Collivignarelli bahwa *foam* yang terjadi secara biologis sulit dikendalikan pada fase pengembangan yang intensif, strategi pengendalian pada fase awal berguna untuk mengintervensi pembentukan buih dengan memblokir proliferasi mikroorganismen pembentuk buih dari awal dan menghindari ekspansi yang lebih besar (Collivignarelli, 2020). Dalam penelitian ini penggunaan media berupa kaldnes dan bioball berguna untuk mengintervensi pembentukan *foam*.

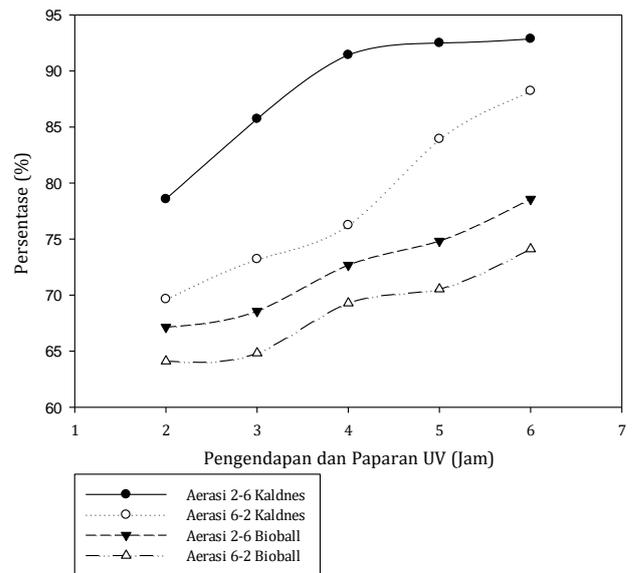
Pada hari ke 13 menunjukkan bahwa performa mikroorganismen pada media terlekat memberikan kemampuan mendekati media tersuspensi dan dilampaui pada hari ke 15 hingga pada hari ke 21. Kaldnes K5 dan bioball telah diselimuti biofilm dengan menandakan warna lapisan berwarna merah gelap (Lazarova, 1995). Selain itu pula pH berkisar antara  $7.2 \pm 0.1$ . Sehingga dapat diketahui bahwa mikroorganismen konsorsium tumbuh dengan baik di dalam reaktor serta mampu mendegradasi pencemar organik di dalam air limbah tersebut (Dhuhan dkk., 2021).

Proses *seeding* dan aklimatisasi mikroorganisme media terlekat lebih baik daripada tersuspensi. Pada hari ke 18 sampai dengan hari ke 21 tampak sudah steady state hal ini dapat ditunjukkan hasil reduksi COD berkisar antara 103-168 mg/L pada ketiga variasi.

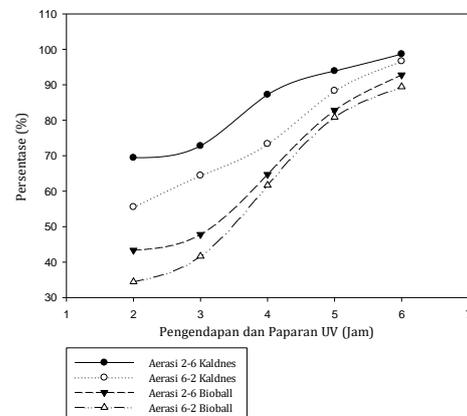
Tabel 2. Hasil Pengolahan Air Limbah

Variasi	Tersuspensi 2 jam dan melekat 6 jam Kaldnes K5		Tersuspensi 6 jam dan melekat 2 jam Kaldnes K5		Tersuspensi 2 jam dan melekat 6 jam Bioball Duri		Tersuspensi 6 jam dan melekat 2 jam Bioball Duri	
	COD 2-6	E coli 2-6	COD 6-2	E coli 6-2	COD 2-6	E coli 2-6	COD 6-2	E coli 6-2
Pengendapan dan Paparan UV 2 jam	120	1100	170	1600	184	2040	201	2360
Pengendapan dan Paparan UV 3 jam	80	980	150	1200	176	1800	197	2100
Pengendapan dan Paparan UV 4 jam	46	460	133	960	153	1270	172	1380
Pengendapan dan Paparan UV 5 jam	42	220	90	420	141	620	165	690
Pengendapan dan Paparan UV 6 jam	40	48	66	120	120	260	145	380

Hasil penelitian pada Tabel 2 menunjukkan bahwa pengolahan COD mampu turun minimum menjadi 201 mg/L dengan perlakuan menggunakan aerasi tersuspensi 6 jam dan aerasi melekat selama 2 jam dengan media bioball berduri pada proses pengendapan dan radiasi UVC selama 2 jam dan parameter patogen lainnya seperti *Total coliform* mampu berkisar 2360 MPN/100 mL. Sebaliknya kemampuan maksimum pada perlakuan aerasi 2 jam tersuspensi dan melekat selama 6 jam dan dilanjutkan pada pengendapan dan paparan selama 6 jam dengan hasil penurunan COD menjadi 40 mg/L dan *Total coliform* menjadi 48 MPN/100 mL. Penurunan variasi lainnya masih berada pada jumlah 120, 260 dan 380 MPN/100 mL. Nilai kesemuanya berada di bawah baku mutu yang dipersyaratkan. Kemampuan penurunan parameter tersebut kemungkinan dikarenakan peningkatan nilai amoniak yang terjadi karena aktifitas mikroorganisme konsorsium dalam reaktor untuk mengurai kandungan organik yang ditandai dengan peningkatan nilai pH dalam air limbah tersebut (Subagyo dkk., 2022). Aktivitas mikroorganisme di dalam air limbah menghasilkan amoniak sebagai produk samping metabolisme yang dihasilkan, hal ini sejalan dengan penelitian yang dilakukan Avalos yang menjelaskan bahwa peningkatan aktivitas mikroorganisme berhubungan erat dengan kadar amoniak yang dapat meningkatkan nilai pH karena ammonia memiliki sifat basa (Avalos, 2019).

Gambar 4. Persentase Penurunan COD  
(Sumber: Hasil Analisa, 2022)

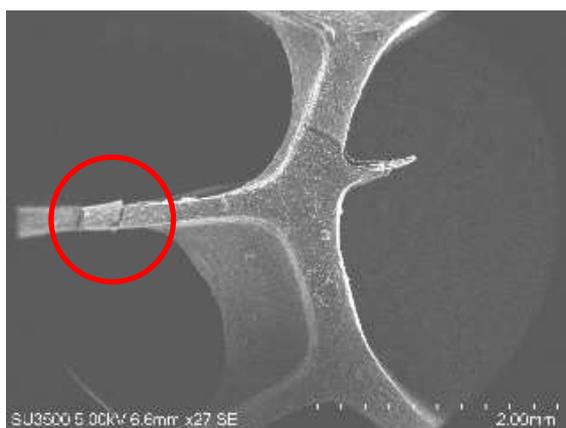
Gambar 4 menunjukkan outlet dan efisiensi removal COD yang dilakukan pada saat penelitian dengan kemampuan terbaik sebesar 92,88 % dengan variasi tersuspensi selama 2 jam dan melalui media kaldnes selama 6 jam (aerasi 2-6 Kaldnes) dan hasil diikuti pada variasi aerasi 6-2 kaldnes, 2-6 bioball dan aerasi 6-2 bioball berturut-turut sebesar 88,21 %, 78,57% dan 74,11 %. Penurunan konsentrasi dipengaruhi oleh luas permukaan *biofilm* media karena Kaldnes K5 lebih luas dibandingkan dengan Bioball (Subagyo dkk., 2022; Kholif dkk., 2018). Pada media kaldnes K5 memiliki permukaan *biofilm* yang lebih luas hal ini berkaitan dengan area untuk perkembangan bakteri pengurai, dengan kata lain semakin luas permukaan *biofilm* maka semakin efektif untuk perkembangbiakan organisme (Feng, 2015).

Gambar 5. Persentase Penurunan *Total coliform*  
(Sumber: Hasil Analisa, 2022)

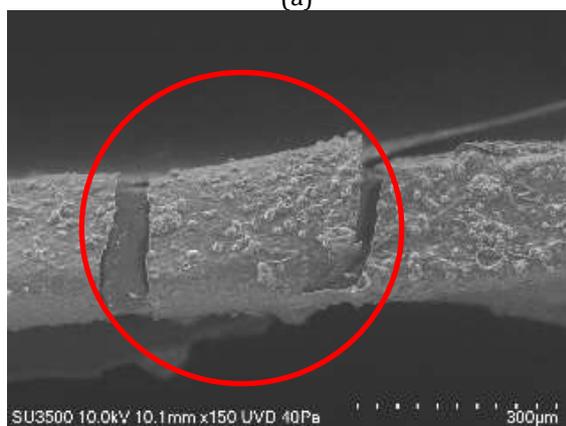
Pada Gambar 5 dengan menggunakan proses aerasi 2-6 kaldnes media menunjukkan bahwa hasil pada rentang pengendapan dan

paparan selama 3 jam hingga 4 jam mengalami peningkatan persentasi penurunan *Total coliform*. Hal ini mengindikasikan pada waktu tersebut sinar ultraviolet mampu bekerja dengan baik secara signifikan. Hasil maksimal pada penelitian ini menunjukkan outlet dan efisiensi removal *Total coliform* yang dilakukan selama dengan kemampuan terbaik sebesar 98,67 % dengan variasi tersuspensi selama 2 jam dan melalui media kaldnes selama 6 jam dan dilanjutkan pengendapan secara simultan dengan paparan penyinaran UVC selama 6 jam yakni menjadi 48 MPN/100 mL.

Pada paparan waktu selama 4 jam untuk variasi aerasi 2-6 kaldnes, 2-6 bioball dan 6-2 bioball telah mengalami reduksi yang signifikan dalam reduksi *Total coliform*. Sinar UVC melakukan penetrasi hingga mencapai titik inti sel termasuk DNA dan RNA (Karo, 2019). Sel patogen tersebut dicegah untuk melakukan replikasi. Kerusakan sel dapat menyebabkan kandungan organik dan sel menjadi mati (Winarti, 2020).



(a)



(b)

Gambar 6. Lapisan Biofilm pada Kaldnes setelah terbentuk (a) perbesaran 27x dan (b) 150 UVD p  
 (Sumber: Hasil Analisa, 2022)

Pengambilan sampel pada Gambar 6 diambil pada media yang variasi pengolahan tertinggi yakni pada media Kaldnes dengan

menggunakan SEM dengan ukuran perbesaran sebesar 27x pada Gambar 5a dan 150 UVD pada Gambar 5b. Tampak pada Gambar 5a menunjukkan bahwa *biofilm* telah terbentuk pada media kaldnes pada hari ke-6 dan Gambar 5b menunjukkan bahwa mikroorganisme mengalami patahan atau *sloughing*.

Pada gambar tersebut juga mengindikasikan mikroorganisme hidup secara berkoloni membentuk biofilm yang terbentuk dari nutrient. Mikroorganism mampu melekat pada media terlekat ciri-ciri seperti ini termasuk mikroorganisme (fungi, algae, bakteri dan protozoa) yang hidup untuk menguraikan senyawa organik dalam simbiosisnya (Dhuhun, 2021). Simbiosis yang terjadi pada proses tersebut adalah simbiosis mutualisme, fungi memperoleh makanan dari alga, alga mendapatkan perlindungan dari fungi karena bersifat heterotrof sedangkan alga yang memiliki sifat autotrof atau dapat memproduksi makanannya sendiri melalui foto sintesis (Morillas, 2022). Keberadaan interaksi antar mikroorganisme dalam penelitian ini penting untuk menguraikan senyawa organik yang terkandung di dalam limbah cair.

Ditemukan bahwa pembawa biofilm berpori yang ideal berbentuk bulat, dengan tonjolan pada permukaannya, dan ditandai dengan bukaan ukuran pori yang tidak beraturan lebih dari 1 mm. Bukaan pori yang tidak teratur menyediakan berbagai lingkungan untuk membiakkan berbagai sel, mengembangkan biofilm yang tidak rata, dan mempertahankan ukuran sel dan biomassa yang berbeda.

#### 4. KESIMPULAN

Pengembangbiakan dan aklimatisasi mikroorganisme pada pengolahan air limbah domestik dalam penelitian ini memerlukan waktu selama 21 hari. Dalam proses tersebut dilakukan kontrol pH dan temperatur. Pada tahap uji variasi pengolahan air limbah domestik didapatkan hasil terbaik pada pengolahan dengan variasi aerasi tersuspensi selama 2 jam dan dilanjutkan selama 6 jam aerasi dengan pemberian media bergerak dilanjutkan pengendapan dan paparan sinar ultraviolet selama 6 jam yakni parameter COD sebesar 92,85 % dan *Total coliform* sebesar 98,67 %.

#### 5. DAFTAR PUSTAKA

Amshawe, J., Yunus M. Y. 2021. Geometry of biofilm carriers: A systematic review

- deciding the best shape and pore size, *Groundwater for Sustainable Development*, Volume 12, ISSN 2352-801X, <https://doi.org/10.1016/j.gsd.2020.100520>.
- Ann Hubbs, Dale W. Porter, Robert Mercer, Vincent Castranova, Linda Sargent, Krishnan Sriram. 2013. Chapter 43 - Nanoparticulates, Editor(s): Wanda M. Haschek, Colin G. Rousseaux, Matthew A. Wallig, Haschek and Rousseaux's Handbook of Toxicologic Pathology (Third Edition), Academic Press, Pages 1373-1419, ISBN 9780124157590, <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-415759-0.00043-1>.
- Atnafu, T., Leta, S. 2021. A novel fragmented anode biofilm microbial fuel cell (FAB-MFC) integrated system for domestic wastewater treatment and bioelectricity generation. *Bioresour. Bioprocess.* 8, 112 <https://doi.org/10.1186/s40643-021-00442-x>
- Avalos, Mariana & Garbeva, Paolina & Raaijmakers, Jos & Wezel, Gilles. (2019). Production of ammonia as a low-cost and long-distance antibiotic strategy by *Streptomyces* species. *The ISME Journal*. 14. 1-15. Doi: 10.1038/s41396-019-0537-2.
- Chattopadhyay I, J RB, Usman TMM, Varjani S. 2022. Exploring the role of microbial biofilm for industrial effluents treatment. *Bioengineered*. Mar;13(3):6420-6440. doi: 10.1080/21655979.2022.2044250. PMID: 35227160; PMCID: PMC8974063.
- Chairani, Mustika., Elystia, Shinta., Muria, Sri Rezeki. 2021. Penyisihan Nitrogen Total dalam Limbah Cair Hotel dengan Sistem Moving Bed Biofilm Reactor Menggunakan *Chlorella Sp.* *Jurnal Sains dan Teknologi* Vol. 10 No.1. P-ISSN : 2303-3142
- Collivignarelli MC, Baldi M, Abbà A, Caccamo FM, Carnevale Miino M, Rada EC, Torretta V. 2020. Foams in Wastewater Treatment Plants: From Causes to Control Methods. *Applied Sciences*; 10(8):2716. <https://doi.org/10.3390/app10082716>
- Dickdoyo, A., & Cahyonugroho, O. 2021. Pengolahan Limbah Domestik Rumah Makan Dengan Moving Bed Biofilm Reactor (Mbbbr). *Envirotek : Jurnal Ilmiah Teknik Lingkungan*, 13(1), 33-36. DOI: <https://doi.org/10.33005/envirotek.v13i1.116>
- Dhuhan, Fitria, F., Kadaria, U. 2021. Efisiensi Pengolahan Limbah Cair Hotel Menggunakan Moving Bed Biofilm Reactor (MBBR). *Jurnal Teknologi Lingkungan Lahan Basah*, Vol. 09, No. 2 : 051 - 061. DOI : [10.26418/jtlb.v9i2.47491](https://doi.org/10.26418/jtlb.v9i2.47491)
- Eslami, H., Ehrampoush, M.H., Falahzadeh, H. dkk., 2018. Biodegradation and nutrients removal from greywater by an integrated fixed-film activated sludge (IFAS) in different organic loadings rates. *AMB Expr* 8, 3 <https://doi.org/10.1186/s13568-017-0532-9>
- Elkhatat, A.M. 2022. Recent trends of microbial decontamination for occupational, industrial and domestic applications. *Bull Natl Res Cent* 46, 75 <https://doi.org/10.1186/s42269-022-00761-9>
- Feng, G., Cheng, Y., Wang, SY. et al. 2015. Bacterial attachment and biofilm formation on surfaces are reduced by small-diameter nanoscale pores: how small is small enough?. *npj Biofilms Microbiomes* 1, 15022. <https://doi.org/10.1038/npjbiofilms.2015.2>
- Hadjeres, H., Pradhanang S, Boving, T., Meadows, M., Benzerrouk, S. 2019. The Case for LED-UVC as a Primary Disinfectant for Small Sustainable Drinking Water Systems. *MATEC Web of Conferences* 280. <https://doi.org/10.1051/mateconf/20192800501>
- Herlina N, dkk. 2020. Studies on decreasing Chemical Oxygen Demand (COD) and Phosphate on laundry wastewater using anaerobic and phytoremediation with algae plants (*Hydrillaverticillata*). *Journal of Physics: Conference Series*. IOP Publishing. DOI 10.1088/1742-6596/1542/1/012027.
- Justyna Koc-Jurczyk, Lukasz Jurczyk.,2018.

- Biological Removal of Ammonia from Municipal Landfill Leachate (Kozodrza, Poland) at Limited Oxygen Access and Presence of Kaldnes Media. *J. Ecol. Eng.* 2018; 19(2):131–139.  
<https://doi.org/10.12911/22998993/81818>
- Karo Michaelian, Norberto Santillán Padilla. 2019. UVC photon-induced denaturing of DNA: A possible dissipative route to Archean enzyme-less replication, *Heliyon*, Volume 5, Issue 6, e01902, ISSN 2405-8440,  
<https://doi.org/10.1016/j.heliyon.2019.e01902>.
- Kholif, Muhammad Al, Sutrisno, J., Prasetyo, Ilham Dwi. 2018. Penurunan Beban Pencemar Pada Limbah Domestik dengan Menggunakan Moving Bed Biofilter Reaktor (MBBR). *Al-Ard: Jurnal Teknik Lingkungan*. Vol.4 No.1 DOI:[10.29080/alard.v4i1.365](https://doi.org/10.29080/alard.v4i1.365)
- Kholif, M. A., Alifia, A. R., Pungut, Sugito, dan Sutrisno, J. 2020. Kombinasi Teknologi Filtrasi Dan Anaerobik Buffled Reaktor (ABR) Untuk Mengolah Air Limbah Domestik. *Jurnal Kesehatan Masyarakat Indonesia*. Volume 15, Nomor 2, DOI: [10.26714/jkmi.15.2.2020.19-24](https://doi.org/10.26714/jkmi.15.2.2020.19-24)
- Kreitenberg, A. 2022. Leejay Polacci BA , Would it be Helpful to Infection Control Professionals to Have the FDA Regulate Whole-Room UVC Devices?, *AJIC: American Journal of Infection Control* doi: <https://doi.org/10.1016/j.ajic.2022.08.021>
- Lazarova, V. 1995. Biofilm characterization and activity analysis in water and wastewater treatment. *Water Research*, 29(10), 2227–2245. doi:10.1016/0043-1354(95)00054-o
- Liang Shen, Tiffany Maria Griffith, Paul Onkundi Nyangaresi, Yi Qin, Xin Pang, Guolong Chen, Minglun Li, Yinghua Lu, Baoping Zhang. 2020. Efficacy of UVC-LED in water disinfection on *Bacillus* species with consideration of antibiotic resistance issue, *Journal of Hazardous Materials*, Vol. 386, 2020, 121968, ISSN 0304-3894,  
<https://doi.org/10.1016/j.jhazmat.2019.121968>.
- Morillas, L., Roales, J., Cruz, C., & Munzi, S. 2022. Lichen as Multipartner Symbiotic Relationships. *Encyclopedia*, 2(3), 1421–1431. MDPI AG. Retrieved from <http://dx.doi.org/10.3390/encyclopedia2030096>
- Nandini Moondra, Namrata D Jariwala, Robin A Christian. 2021. Role of Phycoremediation in Domestic Wastewater Treatment. *Water Conservation and Management*, 5(2): 66-70. DOI: <https://doi.org/10.26480/wcm.02.2021.66.70>
- Nguyen TMH, Suwan P, Koottatep T, Beck SE. Application of a novel, continuous-feeding ultraviolet light emitting diode (UV-LED) system to disinfect domestic wastewater for discharge or agricultural reuse. *Water Res.* 2019 Apr 15;153:53-62. doi: 10.1016/j.watres.2019.01.006. Epub 2019 Jan 16. PMID: 30690218; PMCID: PMC6382465.
- Novembrianto, R. , Hikmah Ayu M, R. , & Rosariawari, F. 2021. Tofu Wastewater Treatment with the Growth Suspended Microorganism Using Different Air Flowrate. *Al-Ard: Jurnal Teknik Lingkungan*, 7(1), 01–08. DOI: <https://doi.org/10.29080/alard.v7i1.1299>
- Nurhayati, I., Ratnawati, R., dan Sugito. 2019. Effect of potassium and carbon addition on bacterial algae bioremediation of boezem water, *Environmental Engineering Research*, 24(3): 495-500. DOI: <https://doi.org/10.4491/eer.2018.270>
- Fikri, E., Putri N, Y., Djuhriah, N., Hanurawaty, N, Y., Khair, A. S. E. 2022. The Effectiveness of Melt-Blown Filter Cartridge and UV-C Rays on the Reduction of Total Coliform and Water Hardness in Production Process Water. *Journal of Ecological Engineering* 23(4), 181–190. <https://doi.org/10.12911/22998993/146677> ISSN 2299–8993, License CC-BY 4.0
- Raditias, Maulana, R., Ruhmawati, T.,

- Ardiani, Y., Teguh Budi. 2019. Perbedaan Waktu Operasional Aerator Lumpur Aktif Terhadap Kadar BOD, DD, SVI Limbah Cair Industri Susu. Jurnal Riset Kesehatan Poltekkes Depkes Bandung Volume 11 No 2.
- Ratnawati, R., Ulfah S, L. 2020. Pengolahan Air Limbah Domestik menggunakan Biosand Filter. Jurnal Ilmu Lingkungan. DOI: [10.14710/jil.18.1.8-14](https://doi.org/10.14710/jil.18.1.8-14)
- Skouteris, G. Rodriguez-Garcia, S.F. Reinecke, U. 2020. Hampel, The use of pure oxygen for aeration in aerobic wastewater treatment: A review of its potential and limitations, Bioresource Technology, Volume 312, 2020, 123595, ISSN 0960-8524, <https://doi.org/10.1016/j.biortech.2020.123595>.
- Nakhli, S.A.A., Ahmadizadeh, K., Fereshtehnejad. 2014. Biological removal of phenol from saline wastewater using a moving bed biofilm reactor containing acclimated mixed consortia. SpringerPlus 3, 112. <https://doi.org/10.1186/2193-1801-3-112>
- Ningtyas, R. 2015. Pengolahan Air Limbah dengan Proses Lumpur Aktif. Thesis. Jurusan Teknik Kimia, Fakultas Teknologi Industri, Institut Teknologi Bandung
- Said, Nusa Idaman dan Syabani, Muhammad Rizki. 2014. Penghilangan Amoniak di Dalam Air Limbah Domestik dengan Proses Moving Bed Biofilm Reactor (MBBR). Jurnal Air Indonesia Vol. 7 no.1 DOI: <https://doi.org/10.29122/jai.v7i1.2399>
- Subagyo, A., Arifin., Kadaria, U. 2022. Perbandingan Jenis Media Kaldness terhadap Effisiensi Limbah Rumah Makan dengan Metode MBBR. Jurnal Teknologi Lingkungan Lahan Basah, Vol. 10, No. 2 : 239 - 246. DOI:<http://dx.doi.org/10.26418/jtlb.v10i2.56415>
- Sulfikar, Ryo Honda, Mana Noguchi Ryoko Yamamoto-Ikemoto, Toru Watanabe. 2018. Effect of Sedimentation and Aeration on Antibiotic Resistance Induction in the Activated Sludge Process Journal of Water and Environment Technology, Vol. 16, No. 2: 94–105. <https://doi.org/10.2965/jwet.17-046>
- Widyarani, Wulan, D.R., Hamidah, U. et al. 2022. Domestic wastewater in Indonesia: generation, characteristics and treatment. Environ Sci Pollut Res 29, 32397–32414. <https://doi.org/10.1007/s11356-022-19057-6>
- Winarti, Cuti. 2020. Penurunan Bakteri *Total coliform* pada Air Limbah Rumah Sakit Terhadap Pengaruh Lama Waktu Penyinaran Dengan Sinar Ultra Violet. Jurnal Rekayasa Lingkungan. Vol. 20 No. 1. <https://doi.org/10.37412/jrl.v20i1.42>



## Evaluasi Pengelolaan Sampah Kecamatan Gresik Kabupaten Gresik Ditinjau Dari Aspek Teknis

Mohammad Fardi Habibi<sup>1\*</sup>, Wahyono Hadi<sup>2</sup>, Achmad Chusnun Ni'am<sup>3</sup>

<sup>1</sup> Magister Teknik Lingkungan, Institut Teknologi Adhi Tama Surabaya, Surabaya, Indonesia

<sup>2,3</sup> Jurusan Teknik Lingkungan, Institut Teknologi Adhi Tama Surabaya, Surabaya, Indonesia

\*[fardihabibi@gmail.com](mailto:fardihabibi@gmail.com)

---

### Abstract

Solid waste management is a serious challenge for the government in making policies, so integrated and sustainable waste management is needed. Gresik Regency is one of the areas that support the development of the city of Surabaya so it is experiencing rapid growth in all sectors. The condition of the capacity of the Ngipik landfill waste cell serving the Gresik sub-district has experienced an overload. The problem in this research is how solid waste management in Gresik district is viewed from the technical aspect with an evaluation that refers to the applicable laws and regulations on waste so that the research objectives are obtained by analyzing the technical aspects. This study uses quantitative data and qualitative data methods and then analyzed them by conducting a review of aspects related to the validity of existing conditions according to normative standards and waste management theory. The evaluation results obtained as follows: The level of waste reduction has not yet reached 30% and waste services in Gresik sub-district by: 100%, there is still at least a willingness to store segregated containers, there are still TPS without roofs, transportation has been fulfilled but the fleet and containers are still available, not feasible, the location of the Ngipik landfill is feasible based on SNI 03-3141-1994.

Keywords: Gresik, Landfill, Ngipik, Solid Waste Management

### Abstrak

Pengelolaan sampah merupakan tantangan serius bagi pemerintah dalam mengambil kebijakan, sehingga dibutuhkan pengelolaan sampah yang terintegrasi dan berkelanjutan. Kabupaten Gresik merupakan salah satu daerah yang mendukung perkembangan kota Surabaya sehingga mengalami pertumbuhan disegala sektor secara pesat. kondisi kapasitas sel sampah TPA Ngipik yang melayani kecamatan Gresik telah mengalami *overload*. Permasalahan dalam penelitian ini yaitu bagaimana pengelolaan sampah dikecamatan Gresik ditinjau dari aspek teknis dengan evaluasi yang mengacu pada peraturan perundang – undangan tentang persampahan yang berlaku, sehingga diperoleh tujuan penelitian dengan cara menganalisis aspek teknis. Penelitian ini menggunakan metode data kuantitatif dan data kualitatif kemudian dianalisis dengan melakukan tinjauan terhadap aspek yang berkaitan dengan keabsahan kondisi eksisting menurut standar normatif dan teori pengelolaan sampah. Dari hasil evaluasi diperoleh sebagai berikut Tingkat pengurangan sampah belum mencapai 30% dan layanan persampahan di Kecamatan Gresik sebesar: 100 %, masih sedikitnya kesediaan pewadahan terpilah, masih ada TPS tanpa atap, pengangkutan sudah memenuhi namun armada dan kontainer masih ada yg kurang layak, lokasi TPA Ngipik layak berdasarkan SNI 03-3141-1994.

Kata kunci : Gresik, Ngipik, Pengelolaan Sampah, TPA

---

## 1. PENDAHULUAN

Perilaku masyarakat di dunia termasuk di Indonesia dalam menyikapi lingkungan sekitar dapat berpengaruh terhadap kualitas pembangunan lingkungan (Li et al., 2021). Sampah merupakan masalah lingkungan jika tidak dikelola secara baik dapat menimbulkan dampak buruk terhadap faktor ekonomi, kesehatan dan biaya lingkungan. Seiring

dengan meningkatnya pertumbuhan penduduk dan kepadatan kota maka akan meningkat pula jumlah timbulan sampah yang dihasilkan (Timothy et al., 2021). Pengelolaan sampah merupakan tantangan serius bagi pemerintah dalam mengambil kebijakan, sehingga dibutuhkan pengelolaan sampah yang terintegrasi dan berkelanjutan (Behzad et al., 2020).

Kabupaten Gresik merupakan salah satu daerah yang mendukung perkembangan kota Surabaya sehingga mengalami pertumbuhan disegala sektor secara pesat dan juga sebagai daya tarik bagi para pendatang, hal tersebut merupakan ciri khas dalam kehidupan perkotaan (Han et al., 2019). Dengan adanya peningkatan Pembangunan, perkembangan ekonomi dan bertambahnya jumlah penduduk berakibat dalam pengaruh pertumbuhan jumlah sampah. Sehingga perlunya antisipasi adanya potensi permasalahan persampahan dengan tidak ketidaksesuaian antara daya tempung pengelolaan sampah dengan sampah yang dihasilkan oleh masyarakat dan kemampuan lingkungan yang menjadi tempat pembuangan sampah (Tato, 2015), sedangkan kondisi kapasitas sel sampah TPA Ngipik yang melayani kecamatan Gresik telah mengalami *overload* (Fathoni, 2018). TPA merupakan faktor penting dalam pengelolaan sampah di Indonesia dan menjadikan alternatif utama sebagai tempat pemrosesan akhir sampah (Phelia, 2019).

Secara umum tidak optimalnya penanganan persampahan disebabkan dari tata kelola sampah yang tidak baik, adapun tata kelola sampah yang dimaksud adalah perencanaan, pembiayaan, evaluasi dan monitoring (Thamrin et al., 2022). Permasalahan dalam penelitian ini yaitu bagaimana pengelolaan sampah dikecamatan Gresik ditinjau dari aspek teknis dengan evaluasi yang mengacu pada peraturan perundang - undangan tentang persampahan yang berlaku, sehingga diperoleh tujuan penelitian dengan cara menganalisis aspek teknis.

## 2. METODE PENELITIAN

Evaluasi merupakan sebuah cara dalam menilai kegiatan, dimana hasil yang didapatkan dapat seimbang, baik, jelek atau suatu gabungan keduanya. Selain itu evaluasi dapat sebagai alat ukur keberhasilan suatu kegiatan dan hasil dari tahapan evaluasi merupakan informasi dari sebuah perolehan kegiatan tersebut yang sudah dievaluasi (Irawan & Papia, 2021)

Dalam penelitian ini menggunakan jenis data kuantitatif dan data kualitatif. Data kuantitatif merupakan data yang berisi angka atau nilai, yaitu dengan membandingkan data sekunder yang kemudian dibandingkan dengan peraturan perundang - undangan

tentang persampahan yang berlaku (Kharismawati et al., 2017).

Data kualitatif merupakan data yang berisikan gambaran deskriptif atau tidak berupa angka atau nilai. Dengan cara ini penulis dapat memberikan gambaran berupa kata atau kalimat dari hasil penelitian secara detail sesuai dengan kondisi sebenarnya dilokasi penelitian (Azwar et al., 2011)

Data yang digunakan dalam penelitian ini adalah :

1. Data primer merupakan data yang diperoleh dengan cara langsung dari objek penelitian, data tersebut dapat diperoleh dengan cara observasi dan wawancara.
2. Data sekunder merupakan data awal yang berasal dari instansi terkait, data tersebut berupa data tentang persampahan dan peraturan perundang - undangan yang berlaku di lokasi penelitian.

Selanjutnya jika data primer dan data sekunder didapatkan, maka dapat dianalisa dengan meninjau terhadap aspek teknis untuk evaluasi yang berkaitan dengan keabsahan kondisi eksisting di Kecamatan Gresik ( $7^{\circ}09'35,97''S$  ;  $112^{\circ}38'50.40''T$ ) menurut standar normatif dan teori pengelolaan sampah. Gambar 1 di bawah ini menunjukkan peta lokasi penelitian yang berada di Kecamatan Gresik.



Gambar 1 : Peta lokasi penelitian Kecamatan Gresik

## 3. HASIL DAN PEMBAHASAN

### a. Pelayanan pengelolaan sampah

Tabel 1. Cakupan Layanan Persampahan Kec. Gresik berdasarkan jumlah sampah yang diangkut ke TPA Ngipik

NO	Sumber sampah	Vol (m <sup>3</sup> )
1	TPS. Jaksa Agung Suprpto	24,00
2	TPS. Desa Kramat Inggil	12,00
3	TPS. Kramat Langon	12,00

NO	Sumber sampah	Vol (m <sup>3</sup> )
4	TPS. Perum. BP Wetan	12,00
5	TPS. Desa Sidorukun	12,00
6	TPS. Basuki Rachmad	18,00
7	TPS. Martadinata I (Kebungson)	6,00
8	TPS. Martadinata II (Kebungson)	12,00
9	TPS. Trate (SD NU)	12,00
10	TPS. Arif Rahman Hakim (saptanawa)	18,00
11	TPS. Jl. Proklamasi	12,00
12	TPS. Martadinata V (OXO)	12,00
13	TPS. Rusunawa Usman sadar	18,00
14	TPS. Martadinata III (Lumpur)	12,00
15	TPS. Martadinata IV (Kroman)	12,00
16	TPS3R Gubernur Suryo	48,00
17	TPS Rumah Pompa pelabuhan	1,20
18	TPS. Kantor DPRD	1,00
<b>TOTAL</b>		<b>254,20</b>

(Sumber : DLH Kabupaten Gresik, 2022)

Kecamatan Gresik mendapatkan layanan persampahan hingga mencapai 100% namun sistem pengurangan sampah masih 0%, padahal pada PP No. 97 Tahun 2017 tentang kebijakan dan strategi nasional pengelolaan sampah rumah tangga dan sampah sejenis sampah rumah tangga disebutkan bahwa pada tahun 2025 target pengurangan sampah rumah tangga dan sampah sejenis sampah rumah tangga adalah 30% dan target penanganan sampah rumah tangga dan sampah sejenis sampah rumah tangga adalah 70%. Berdasarkan dari target PP No. 97 Tahun 2017 pelayanan pengelolaan persampahan dari target penanganan sampah di Kecamatan Gresik sudah memenuhi target dengan capaian 100% dan untuk target pengurangan sampah di Kecamatan Gresik masih belum ada yang memenuhi target. Sehingga untuk mencapai target pengurangan sampah sebesar 30% maka salah satu metode yang dibutuhkan adalah adanya TPS 3R di tiap desa atau kelurahan (Djiha, 2020).

Kebutuhan TPS3R dapat dihitung berdasarkan Permen PU No: 01/PRT/M/2014 tentang Standart Pelayanan Minimal Bidang Pekerjaan Umum dan Penataan Ruang (Permen PU RI No.01, 2014), hasil perhitungan kebutuhan TPS3R dapat dilihat pada Tabel 2 di bawah ini :

Tabel 2. Kebutuhan TPS3R di Kecamatan Gresik

No	Desa / Kelurahan	Jumlah penduduk (jiwa)	Rencana penduduk terlayani (jiwa)	Jumlah TPS 3R
1	Ngipik	1.375	413	0
2	Tlogopatut	2.999	900	1
3	Sidokumpul	11.272	3.382	3
4	Kramatinggil	3.272	982	1
5	Sidorukun	4.384	1.315	1
6	Pulopancikan	4.408	1.322	1
7	Gapurosukolilo	1.786	536	1
8	Tlogobendung	1.927	578	1
9	Pekauman	1.639	492	0

No	Desa / Kelurahan	Jumlah penduduk (jiwa)	Rencana penduduk terlayani (jiwa)	Jumlah TPS 3R
10	Sukorame	5.317	1.595	2
11	Karangturi	5.174	1.552	2
12	Trate	3.304	991	1
13	Karangpoh	2.933	880	1
14	Bedilan	2.643	793	1
15	Kebungson	2.100	630	1
16	Pekelingan	2.002	601	1
17	Kemuteran	1.633	490	0
18	Sukodono	1.216	365	0
19	Kroman	3.714	1.114	1
20	Lumpur	6.646	1.994	2
21	Tlogopojok	6.603	1.981	2
<b>Jumlah</b>		<b>76.347</b>	<b>22.904</b>	<b>23</b>
<b>Target pengurangan sampah</b>			<b>30,00%</b>	

(Sumber : Hasil analisis, 2022)

### b. Timbulan Sampah

Timbulan Sampah merupakan jumlah sampah yang timbul dari masyarakat dalam satuan volume berat per kapita perhari, atau perluas bangunan, atau perpanjang jalan (Badan Standarisasi Nasional, 2002). Timbulan sampah di Kecamatan Gresik adalah sebesar 2,9 L/org/hr dengan nilai densitas sebesar 0,117 kg/l. Berdasarkan nilai timbulan sampah tersebut maka diketahui potensi sampah yang dihasilkan di Kecamatan Gresik, dengan hasil perhitungan pada tabel 3 :

Tabel 3. Potensi timbulan sampah di Kecamatan Gresik

No	Desa / Kelurahan	Jumlah Penduduk (jiwa)	Vol. Sampah (m <sup>3</sup> /hr)	Timbulan Sampah (ton/hr)
1	Ngipik	1.375	3,99	0,47
2	Tlogopatut	2.999	8,70	1,02
3	Sidokumpul	11.272	32,69	3,82
4	Kramatinggil	3.272	9,49	1,11
5	Sidorukun	4.384	12,71	1,49
6	Pulopancikan	4.408	12,78	1,50
7	Gapurosukolilo	1.786	5,18	0,61
8	Tlogobendung	1.927	5,59	0,65
9	Pekauman	1.639	4,75	0,56
10	Sukorame	5.317	15,42	1,80
11	Karangturi	5.174	15,00	1,76
12	Trate	3.304	9,58	1,12
13	Karangpoh	2.933	8,51	1,00
14	Bedilan	2.643	7,66	0,90
15	Kebungson	2.100	6,09	0,71
16	Pekelingan	2.002	5,81	0,68
17	Kemuteran	1.633	4,74	0,55
18	Sukodono	1.216	3,53	0,41
19	Kroman	3.714	10,77	1,26
20	Lumpur	6.646	19,27	2,25
21	Tlogopojok	6.603	19,15	2,24
<b>Jumlah</b>		<b>76.347</b>	<b>221,41</b>	<b>25,90</b>

(Sumber: Hasil analisis, 2022)

Timbulan sampah di Kecamatan Gresik telah terangkut sebesar 254,20 m<sup>3</sup> sedangkan hasil perhitungan timbulan sampah sebesar 221,41 m<sup>3</sup> dari hal ini dikarenakan lokasi Kecamatan Gresik merupakan pusat pemerintahan dan ekonomi di Kabupaten Gresik sehingga potensi sumber sampah dari sampah non-domestik lebih besar dari kecamatan lain, sampah non-domestik tersebut diantaranya adalah sampah komersial dan sampah sarana umum (Talent Nia Pramestiyawati<sup>1</sup> dan I.D.A.A. Warmadewanthi, 2014). Hasil perhitungan tersebut dapat dilihat pada Gambar 2.



Gambar 2. Perbandingan timbulan sampah dan sampah terangkut ke TPA  
(Sumber: Hasil analisis, 2022)

### c. Pewadahan sampah

Berdasarkan observasi pewadahan sampah di lokasi penelitian yang dapat dilihat pada Gambar 3 dilakukan evaluasi yang mengacu pada SNI 19-2454-2002 didapatkan berikut ini :

1. Pola pewadahan sampah masih sedikit yang melakukan pemilahan sampah pada sumbernya hal ini dapat diketahui dengan adanya sistem pewadahan yang sebagian besar satu tempat sampah pada rumah warga dan dua tempat sampah di tempat sarana kota atau tempat komersial. Pola pewadahan ini yang seharusnya menggunakan minimal tiga tempat sampah yang terbagi dari organik, anorganik dan B3.
2. Lokasi dan penempatan wadah sampah sebagian besar sudah memenuhi syarat yaitu diletakkan didepan rumah atau dibelakang rumah untuk wadah individual. Dan wadah komunal sudah ditempatkan dekat sumber sampah, tidak menghalangi pejalan kaki atau sarana umum lainnya, diluar jalur lalu lintas dan disekitar taman dan pusat keramaian. Untuk jumlah

pewadahan sampah di sarana umum dirasakan masih sedikit sehingga perlu ada penambahan pewadahan sampah.

3. Syarat dari jenis bahan wadah sampah sudah memenuhi yaitu tahan lama dan tidak mudah masuk air, harga terjangkau (mudah didapatkan), dan mudah dikosongkan.
4. Ukuran wadah sebagian besar sudah memenuhi dengan diketahui sampah yang tertampung tidak sampai berserakan.
5. Pengadaan wadah sampah disediakan oleh warga secara individual ataupun oleh pengelola sampah yang biasanya berbentuk pewadahan komunal.



Gambar 3. Pewadahan sampah domestik dan pewadahan sarana kota

### d. Pengumpulan sampah

Pengumpulan sampah yang ada di lokasi penelitian secara umum dilakukan secara langsung maupun tidak langsung. Pengumpulan sampah secara langsung biasanya dilakukan oleh penghasil sampah baik dilakukan mandiri maupun oleh petugas kebersihan RT/RW setempat yang dibawa ke Tempat Pembuangan Sementara (TPS). Sedangkan sumber sampah yang menghasilkan sampah minimal 1 m<sup>3</sup>/hari yang berasal dari pribadi atau badan usaha diwajibkan membawa sampah ke Tempat Pemrosesan Akhir (TPA) dengan cara mandiri.

Pengumpulan sampah secara tidak langsung dilakukan setiap penghasil sampah ke tempat penampungan sampah komunal. Selanjutnya petugas kebersihan akan membawa sampah dari tempat pengumpulan komunal menuju TPS atau depo yang kemudian dipindahkan ke kontainer/dump truk dan diangkut ke TPA. Sedangkan pengumpulan sampah dari penyapuan / pembersihan jalan di wilayah pusat kota seperti jalan protokol, pusat perdagangan, taman kota, saluran dan lain-lain dilakukan oleh petugas kebersihan penyapuan jalan. Berdasarkan data DLH Kabupaten Gresik tahun 2022, TPS yang tersebar di wilayah Kecamatan Gresik sebanyak 18 TPS.

Berdasarkan observasi pengumpulan sampah dengan mengacu SNI 19-2454-2002 dilokasi penelitian, bahwa pengumpulan sampah di Kecamatan Gresik secara keseluruhan sudah memenuhi namun yang perlu diperhatikan masih ada TPS yang terbuka tanpa penutup atap sehingga mengakibatkan TPS tampak kurang bersih. Gambar 4 menunjukkan perbedaan TPS yang memiliki atap dan tidak.



Gambar 4. TPS yang memiliki atap dan tidak

### e. Pengangkutan sampah

Pengangkutan sampah dilokasi penelitian dilakukan menggunakan dump truck dan armroll truck yang mengangkut sampah dari TPS menuju TPA Ngipik. Pemilihan jenis kendaraan pengangkut tersebut berdasarkan kemampuannya yang efisien dan lebih cepat dalam pengangkutan sampah karena kendaraan tersebut sudah dilengkapi dengan sistem operasional hidrolis (Pramestyawati, 2019). Berdasarkan observasi pengangkutan sampah dengan mengacu SNI 19-2454-2002 dilokasi penelitian, bahwa pengangkutan sampah dilokasi penelitian secara keseluruhan sudah memenuhi dengan tidak adanya sampah menumpuk yang perlu diangkat ke TPA namun dari beberapa armada pengangkut sampah masih ada truk sampah dengan kondisi kurang baik dan kontainer yang berlubang akibat berkarat, hal tersebut diperlukan peningkatan perawatan armada pengangkut sampah. Gambar 5 menunjukkan pengangkutan sampah oleh DLH Gresik menggunakan beberapa macam armada.

Tabel 5. Armada pengangkut sampah

No	Jenis Kendaraan	Keterangan
1.	Dump Truck W 8265 BP	Ops. Keliling
2.	Dump Truck W 8246 AP	Ops. Keliling
3.	Dump Truck W 8223 AP	Ops. Keliling
4.	Dump Truck W 8317 BP	Ops. Keliling
5.	Truck Penyapu jalan (W 8336 BP)	Ops. Keliling
6.	Dump. Mini W 8337 AP	Ops. Keliling
7.	Pick Up L 300 W 8305 BP	Ops. Keliling
8.	Pick Up W 8256 AP	Ops. Keliling
9.	Truck Tangki Air	Ops. Keliling
10.	Hillux W 8277 AP	Ops. Keliling
11.	Kijang W 665 AP (Station)	Ops. Keliling
12.	Phanter Patroli W 8278 AP	Ops. Keliling
13.	Sepeda Motor Roda Tiga	Ops. Keliling

(Sumber: DLH Kabupaten Gresik, 2022)



Gambar 5. Pengangkutan sampah oleh DLH Kab Gresik dump truck (A), Sepeda Gerobak (B), Pemerintah Desa (C), Swadaya Masyarakat (D).

### f. Pengolahan sampah

TPA Ngipik merupakan Tempat Pemrosesan Akhir sampah yang dikelola oleh pemerintah Kabupaten Gresik, metode penimbunan sampah yang dilakukan di TPA Ngipik adalah sanitary landfill namun karena beberapa faktor (salah satunya adalah terbatasnya tanah urug), maka berubah menjadi sistem controlled landfill, dimana sampah ditimbun di area terbuka tanpa ditutup tanah secara langsung kemudian dilakukan pemadatan dengan buldozer. Pembuangan dengan sistem tersebut di lahan pembuangan yang sudah lama dan penuh mengakibatkan sering mengalami kebakaran pada musim kemarau.

Dalam menganalisis Kelayakan lokasi TPA Ngipik dapat dilakukan dengan mengacu berdasarkan (03-3241-1994, 1994)SNI 03-3141-1994 yang menghasilkan nilai skor 622 maka lokasi TPA Ngipik masuk pada pada katagori layak dengan rentang nilai 475 -700. Hasil analisis skoring kelayakan TPA Ngipik dapat dilihat pada Tabel 6 di bawah ini.

Tabel 6. Skoring kelayakan lokasi TPA Ngipik

NO	PARAMETER	NILAI	KETERANGAN
I.	UMUM		
1	Batas Adminitrasi		
	o Dalam batas administrasi	50	Lokasi masuk Desa Roomo Kecamatan Gresik Kabupaten Gresik
	o Di luar batas administrasi tetapi dalam satu sistem pengelolaan TPA sampah terpadu		
	o Di luar batas administrasi dan di luar sistem pengelolaan sampah terpadu		
	o Di luar batas administrasi		
2	Pemilik hak atas tanah		
	o Pemerintah daerah/pusat		Pemilik hak atas tanah adalah milik PT. Semen Indonesia
	o Pribadi (satu)		
	o Swasta/perusahaan (satu)	15	
	o Lebih dari satu pemilik hak dan atau status kepemilikan		
	o Organisasi sosial/agama		
3	Kapasitas lahan		
	o > 10 tahun		Kapasitas lokasi TPA saat ini sudah hampir over load.
	o 5 tahun-10 tahun		
	o 3 tahun-5 tahun		
	o Kurang dari 3 tahun	30	
4	Jumlah pemilik tanah		
	o Satu (1) kk		
	o 2-3 kk		
	o 4-5 kk		
	o 6-10 kk		
	o Lebih dari 10 kkk		
5	Partisipasi masyarakat		
	o Spontan	30	Berada dilokasi industri
	o Digerakkan		
	o Negosiasi		
II.	LINGKUNGAN FISIK		
1	Tanah (di atas muka air tanah)		
	o Harga kelulusan < $10^{-9}$ cm/det		Harga kelulusan

NO	PARAMETER	NILAI	KETERANGAN
	o Harga kelulusan $10^{-9}$ cm/det = $10^{-6}$ cm/det		antara > $10^{-6}$
	o Harga kelulusan > $10^{-6}$ cm/det tolak (kecuali ada masukan teknologi)	5	
2	Air tanah		
	o > 10 m dengan kelulusan < $10^{-6}$ cm/det	50	Kedalam air tanah di atas 100 m
	o < 10 m dengan kelulusan < $10^{-6}$ cm/det		
	o = 10 m dengan kelulusan $10^{-6}$ cm/det - $10^{-4}$ cm/det		
	o < 10 m dengan kelulusan $10^{-6}$ cm/det - $10^{-4}$ cm/det		
3	Sistem aliran air tanah		
	o Discharge area/local	30	Merupakan area recharge lokal
	o Recharge area dan discharge area local		
	o Recharge area regional dan lokal		
4	Kaitan dengan pemanfaatan air tanah		
	o Kemungkinan pemanfaatan rendah dengan batas hidrolis	30	Posisi pemanfaatan air tanah sangat kecil karena berada di area industri
	o Diproyeksikan untuk dimanfaatkan dengan batas hidrolis		
	o Diproyeksikan untuk dimanfaatkan tanpa batas hidrolis		
5	Bahaya banjir		
	o Tidak ada bahaya banjir	20	Di area rencana TPA terletak pada wilayah tidak pernah terjadi banjir.
	o Kemungkinan banjir > 25 tahunan		
	o Kemungkinan banjir < 25 tahunan Tolak (kecuali ada masukan teknologi)		
6	Tanah penutup		
	o Tanah penutup cukup	40	Selama operasional tanah penutup tercukupi
	o Tanah penutup cukup sampai $\frac{1}{2}$ umur pakai		
	o Tanah penutup tidak ada		
7	Intensitas hujan		
	o Di bawah 500 mm per tahun		Intensitas hujan di Kecamatan Gresik ± 1.830 mm
	o Antara 500 mm sampai 1000 mm per tahun		
	o Di atas 1000 mm per tahun	3	
8	Jalan menuju lokasi		
	o Datar dengan kondisi baik	50	Jalan masuk ke TPA dengan kondisi datar dan jalan paving
	o Datar dengan kondisi buruk		
	o Naik/turun		
9	Transport sampah (satu jalan)		
	o Kurang dari 15 menit dari centroid sampah		Penelitian ini hanya di kec. Gresik, kec. Kebomas dan kec. manyar
	o Antara 16 menit-30 menit dan centroid sampah	40	
	o Antara 31 menit-60 menit dan centroid sampah		
	o Lebih dari 60 menit dan centroid sampah		

NO	PARAMETER	NILAI	KETERANGAN
10	<b>Jalan masuk</b>		
	o Truk sampah tidak melalui daerah permukiman	40	Lokasi TPA berada di area industri
	o Truk sampah melalui daerah permukiman berkepadatan sedang (<300 jiwa/ha)		
o Truk sampah melalui daerah permukiman berkepadatan sedang (>300 jiwa/ha)			
11	<b>Lalu lintas</b>		
	o Terletak 500 m dari jalan umum	9	Dari jalan umum/utama sekitar 1/2 km.
	o Terletak < 500 m pada lalu lintas rendah		
	o Terletak > 500 m pada lalu lintas sedang		
o Terletak pada lalu lintas tinggi			
12	<b>Tata guna tanah</b>		
	o Mempunyai dampak sedikit terhadap tata guna tanah sekitar	50	Lokasi TPA berada di area industri
	o Mempunyai dampak sedang terhadap tata guna tanah sekitar		
o Mempunyai dampak besar terhadap tata guna tanah sekitar			
13	<b>Pertanian</b>		
	o Berlokasi di lahan tidak produktif	30	Lokasi TPA berada di area industri
	o Tidak ada dampak terhadap pertanian sekitar		
	o Terdapat pengaruh negative terhadap pertanian sekitar		
o Berlokasi di tanah pertanian produktif			
14	<b>Daerah lindung/cagar alam</b>		
	o Tidak ada daerah lindung / cagar alam di sekitarnya	20	Tidak ada cagar budaya ataupun daerah lindung disekitar TPA
	o Terdapat daerah lindung/cagar alam di sekitarnya yang tidak terkena dampak negative		
o Terdapat daerah lindung / cagar alam di sekitarnya terkena dampak negatif			
15	<b>Biologis</b>		
	o Nilai habitat yang rendah	30	Untuk area TPA merupakan area industri
	o Nilai habitat yang tinggi		
o Habitat kritis			
16	<b>Kebisingan, bau</b>		
	o Terdapat zona penyangga	20	Disekitar area TPA masih banyak terdapat pohon
	o Terdapat zona penyangga yang terbatas		
o Tidak terdapat penyangga			
17	<b>Estetika</b>		
	o Operasi penimbunan tidak terlihat dari luar	30	Area sel sampah berada agak kedalam di area TPA
	o Operasi penimbunan sedikit terlihat dari luar		
o Operasi penimbunan terlihat dari luar			
<b>TOTAL SKOR</b>		<b>622</b>	

(Sumber : Hasil analisis, 2022)

#### 4. KESIMPULAN

Berdasarkan penelitian ini bahwa evaluasi persampahan di Kecamatan Gresik dengan analisis aspek teknis dengan hasil yang cukup baik, diantaranya pelayanan pengelolaan sampah mencapai sebesar 100% namun untuk target pengurangan sampah 30% belum tercapai, timbulan sampah yang terkelolah sebesar 114,81%, pewadahan yang digunakan sudah baik namun masih sedikit yang menyediakan pewadahan sampah terpilah, pengumpulan sampah yaitu TPS sudah cukup baik namun masih ada bebarapa yang tidak memiliki atap dan tampak kurang terawat, pengangkutan sampah sudah cukup baik namun perlu adanya perawatan yang lebih baik supaya truk dan kontainer sampah tidak berlubang akibat korosif, dan untuk pengolahan sampah sudah memiliki lokasi TPA yang layak.

#### 5. DAFTAR PUSTAKA

- Badan Standarisasi Nasional. (1994). *SNI 03-3241-1994 Tata Cara Pemilihan Lokasi Tempat Pembuangan Akhir Sampah*. Jakarta: Badan Standarisasi Nasional.
- Azwar, M., Sampah, J., Gilbert, M., & Sampah, S. (2011). *Evaluasi pengelolaan persampahan di kota manado (studi kasus: kec. wenang)*. 1996, 130–140.
- Badan Standarisasi Nasional. (2002). *Tata Cara Teknik Operasional Pengelolaan Sampah Perkotaan*.
- Behzad, M., Hashemkhani, S., Pamucar, D., & Behzad, M. (2020). A comparative assessment of solid waste management performance in the Nordic countries based on BWM-EDAS.
- Djiha, S. R. (2020). *Teknis operasional pengelolaan sampah kabupaten ngawi*. 386–392.
- Fathoni, M. Z. (2018). *Penentuan Lokasi Alternatif Tempat Pembuangan Akhir Sampah ( TPA ) Menggunakan Quantitative Method*. XIX(1), 9–22. <https://doi.org/10.30587/matrik.v19i1.531>
- Han, X., Hu, C., & Lin, L. (2019). *A study on the impact of China ' s urbanization on the quantity of municipal solid waste produced*. *Peraturan Presiden Republik Indonesia Nomor 97 Tahun 2017*.
- Irawan, I., & Papia, J. C. (2021). *Evaluasi Sistem Pengelolaan Persampahan di Perkotaan Amurang Waste Management System Evaluation in Amurang Urban Area*. 10(1), 56–63.

- Tato, S. (2015). *Evaluasi Pengelolaan Sampah Kabupaten Gowa Studi Kasus Kecamatan Somba Opu*. 65–79.
- Kharismawati, W., Putra, H. P., & Iresha, F. M. (2017). *Evaluasi Aspek Teknik Operasional Pengelolaan Sampah Kabupaten Sleman*.
- Li, J., Wu, W., Jin, Y., Zhao, R., & Bian, W. (2021). Research on environmental comfort and cognitive performance based on EEG + VR + LEC evaluation method in underground space. *Building and Environment*, 198(April), 107886.
- Permen PU RI No.01, tahun 2014. (2014). *PERMEN PU RI NO.01 PRT M 2014 Tentang Standar Pelayanan Minimal Bidang Pekerjaan Umum Dan Penataan Ruang*.
- Phelia, A. (2019). *Sistem Pengelolaan Sampah Di TPA ( Studi Kasus TPA Bakung Kota Bandar Lampung )*. 25, 85–100.
- Pramestiyawati, T. N. (2019). *Estimasi Pelayanan Pengangkutan Sampah Kabupaten Pamekasan*. 151–156.
- Talent Nia Pramestiyawati<sup>1</sup> dan I.D.A.A. Warmadewanthi<sup>2</sup> Teknologi, M. K. (2014). *Non Residential Solid Waste Reduction in Krembangan District, North Surabaya*. 113–122.
- Thamrin, H., Dunggio, I., & Rahim, S. (2022). *Evaluasi Kebijakan Pengelolaan Sampah Di Kota Gorontalo*. 4(1), 44–55.
- Timothy, T. D., Moonsammy, S., Deborah, T., Ansel, G., & Natoya, R. (2021). Evaluation of waste dynamics at the local level : The search for a new paradigm in national waste management. *Environmental Challenges*, 4(April), 100130.



## Analisis Daya Dukung Tata Air untuk Monitoring Kinerja Pengelolaan DAS Poleang, Sulawesi Tenggara

La Gandri <sup>1\*</sup>, Hasbullah Syaf <sup>2</sup>, Musram Abadi<sup>3</sup>, Umar Ode Hasani<sup>4</sup>,  
La Ode Kasno Arif<sup>5</sup>, Albasri<sup>4</sup>

<sup>1</sup>Jurusan Ilmu Lingkungan, Universitas Halu Oleo, Kendari, Indonesia

<sup>2</sup>Jurusan Ilmu Tanah, Universitas Halu Oleo, Kendari, Indonesia

<sup>3</sup>Jurusan Peternakan, Universitas Halu Oleo, Kendari, Indonesia

<sup>4</sup>Jurusan Kehutanan, Universitas Halu Oleo, Kendari, Indonesia

<sup>5</sup>Jurusan Penyuluh Pertanian, Universitas Halu Oleo, Kendari, Indonesia

\*[lagandri@uho.ac.id](mailto:lagandri@uho.ac.id)

---

### Abstract

Conditions of quantity, quality and continuity of water in a watershed are factors that affect the carrying capacity of water resources. Lack of information regarding the condition of the Poleang watershed makes it difficult to know the performance of the Poleang watershed. Therefore this study aims to determine the performance of the Poleang watershed through an analysis of the carrying capacity of the Poleang water system, Southeast Sulawesi Province. The analysis used is Flood Analysis, Water Use Index, Flow Regime Coefficient, Annual Flow Coefficient, and Sediment Load. The results showed that the Poleang KRA watershed was in the category of Flow Regime Coefficient  $\leq 20$  with very low class, the Annual Flow Coefficient was in the category  $0.2 < \text{Annual Flow Coefficient} \leq 0.3$  with low class, Sediment Load reached 97.25 tons/day so in the value category  $> 20$  with a very high class, floods occur once a year with a high class, IPA reaches 23,576.5, so it is included in the water use index value category  $> 6,800$  with a very good class. The conclusion obtained is that the carrying capacity of the Poleang watershed is in the good carrying capacity class.

Keywords: Annual Flow Coefficient, Flood, Flow Regime Coefficient, Sediment Load, Water Use Index.

### Abstrak

Kondisi kuantitas, kualitas serta kontinuitas air pada suatu Daerah Aliran Sungai merupakan faktor yang mempengaruhi daya dukung sumber daya air. Kurangnya informasi terkait kondisi DAS Poleang menyebabkan sulitnya mengetahui kinerja DAS Poleang. Oleh karena itu studi ini bertujuan untuk mengetahui kinerja das poleang melalui analisis daya dukung tata air DAS Poleang, Provinsi Sulawesi Tenggara. Analisis yang digunakan adalah Analisis Banjir, Indeks Penggunaan Air, Koefisien Rezim Aliran, Koefisien Aliran Tahunan, dan Muatan Sedimen. Hasil penelitian menunjukkan bahwa KRA DAS Poleang masuk kategori nilai Koefisien Rezim Aliran  $\leq 20$  dengan kelas sangat rendah, Koefisien Aliran Tahunan masuk kategori  $0,2 < \text{Koefisien Aliran Tahunan} \leq 0,3$  dengan kelas rendah, Muatan Sedimen mencapai 97,25 ton/hari sehingga masuk kategori nilai  $> 20$  dengan kelas sangat tinggi, banjir terjadi 1 kali dalam setahun dengan kelas tinggi, IPA mencapai 23.576,5, sehingga masuk kategori nilai Index penggunaan air  $> 6.800$  dengan kelas sangat baik. Kesimpulan yang diperoleh adalah daya dukung DAS Poleang berada pada kelas daya dukung baik.

Kata Kunci: Banjir, Indek Penggunaan Air, Koefisien Regim Air, Koefisien Aliran Tahunan, Muatan Sedimen

---

## 1. PENDAHULUAN

Daerah Aliran Sungai (DAS) merupakan sistem kompleks hidrologi yang memadukan sungai bersamaan jaringan anak sungai lainnya dalam suatu unit pengelolaan guna menjalankan fungsinya dalam menerima, mencadangkan, serta mendistribusikan air hujan yang terhubung dengan sistem alami danau dan laut dimana batasannya berupa

batas topografi berupa punggung bukit dan gunung hingga wilayah laut yang masih mendapat dampak dari kegiatan berbasis daratan (Permen, 2009). Sistem Daerah aliran sungai (DAS) sangat berperan penting dalam menjaga produktifitas sumberdaya air untuk memenuhi kebutuhan manusia. Menurut Guo dkk., (2023) produksi air mencerminkan ketersediaan sumberdaya air DAS.

Keseimbangan DAS menjadi jaminan ketercapaian fungsi DAS tersebut secara optimal dan berkelanjutan baik sebagai penampung, penyimpan, maupun pengatur aliran air yang berasal dari hujan (Siahaan dkk., 2017). Pemenuhan ketersediaan air untuk tujuan pemanfaatan tertentu ditentukan oleh mutu dan kelimpahan sumber daya air baik peruntukan kegiatan usaha maupun bermacam-macam kegiatan pembangunan lainnya, seperti: pasokan air untuk keperluan rumah tangga, mengairi lahan pertanian, kecukupan air untuk sumberdaya perikanan, maupun pengembangan industri dan kebutuhan rekreasi (Sukristiyono dkk., 2021)

Namun pada beberapa dekade terakhir telah terjadi eksploitasi lahan secara berlebihan oleh aktivitas manusia di sekitar daerah hulu DAS yang mengakibatkan penyusutan daerah resapan air (Rahardian & Buchori, 2016; Sudia dkk., 2021) serta perubahan tutupan lahan khususnya tutupan hutan (Salim dkk., 2019). Alih fungsi lahan ini patut mendapat perhatian karena penurunan kualitas lahan di sekitar DAS dapat mengakibatkan penurunan kualitas dan kuantitas air, meningkatnya sebaran lahan kritis, dan meningkatnya resiko bahaya erosi dan sedimentasi (Saidah & Hanifah, 2020). Pada kondisi kritis, peningkatan limpasan permukaan yang berdampak langsung pada menurunnya penyerapan air ke dalam tanah menyebabkan distribusi air yang semakin tidak proporsional pada musim penghujan dan musim kering (Karamma dkk., 2018). Perubahan karakteristik DAS seperti ini secara simultan dapat menyebabkan peluang terjadinya luapan air sungai dan peningkatan intensitas terjadinya banjir (Fadhil dkk., 2021) yang pada akhirnya dapat menyebabkan kerugian serius bagi masyarakat (Jin dkk., 2022).

Dinamika yang terjadi di DAS, baik dari aktivitas manusia maupun dari sistem alam, memberikan tekanan terhadap daya dukung DAS (Isnani & Hasnawir, 2017). Akar permasalahan buruknya kinerja pengelolaan DAS adalah pertumbuhan penduduk yang tidak terkendali serta berdampak pada meningkatnya permintaan pemenuhan kebutuhan sektor lain seperti sandang, pangan dan perumahan (Ekawaty dkk., 2018), sehingga berimplikasi pada pemanfaatan sumberdaya alam DAS tanpa memperhatikan kaidah-kaidah konservasi dan keberlanjutan

DAS (Nugroho & Savitri, 2017). Meningkatnya jumlah penduduk dapat meningkatkan permintaan dan tekanan lahan sehingga terjadi konversi lahan yang sebelumnya merupakan daerah resapan menjadi lahan kedap air dan menyebabkan masalah lingkungan (Gandri dkk., 2019).

Fenomena seperti ini juga terjadi di DAS Poleang, Provinsi Sulawesi Tenggara serta menjadi ancaman serius bagi keberlanjutan pengelolaan DAS tersebut. Menurut Syaf dkk. (2022), tingkat kekritisian lahan DAS Poleang mencapai 19,53% dan termasuk dalam kategori tinggi. Kekritisian lahan di DAS Poleang dapat berdampak pada kondisi kualitas, kuantitas dan kontinuitas air DAS tersebut. Menurut Ningsih dkk., (2020) dan Sukristiyono dkk., (2021) mengemukakan bahwa terbatasnya penyediaan air dan menurunnya mutu air sungai dapat mengindikasikan melemahnya fungsi daerah tangkapan air sebagai sarana penyimpanan dan penjaga kelestarian sumber daya air.

Tekanan pertumbuhan penduduk di DAS Poleang disinyalir turut memberikan dampak terhadap perubahan lahan serta peningkatan lahan kritis DAS Poleang. Data pertumbuhan penduduk menunjukkan bahwa pada tahun 2017 jumlah penduduk DAS poleang sebesar 50.425 jiwa, meningkat pada tahun 2021 menjadi 51.940 jiwa (BPS Provinsi Sulawesi Tenggara, 2022). Pertambahan jumlah penduduk ini mengisyaratkan bertambahnya kebutuhan ruang untuk permukiman dan perluasan lapang usaha di wilayah kerja DAS. Selain itu, tata guna lahan DAS Poleang juga sangat dipengaruhi oleh pemanfaatan dan pembangunan daerah di Kabupaten Bombana, Kolaka, dan Kolaka Timur. Maraknya investasi perkebunan dan pertambangan di Kabupaten Bombana khususnya yang menjadi bagian dari DAS Poleang, akan memberikan dampak signifikan dalam penurunan tutupan lahan vegetasi dan tata air di wilayah kerja DAS. Hasil penelitian Syaf dkk. (2022) menemukan bahwa kiat penghidupan masyarakat di DAS Poleang banyak menimbulkan kemudaratan ketika hutan yang semestinya lestari ditransformasi dalam bentuk pemanfaatan lahan lain yang dinilai lebih ekonomis seperti eksploitasi tambang, kebutuhan lahan pertanian dan pengembangan pemukiman, serta alih fungsi lahan lainnya.

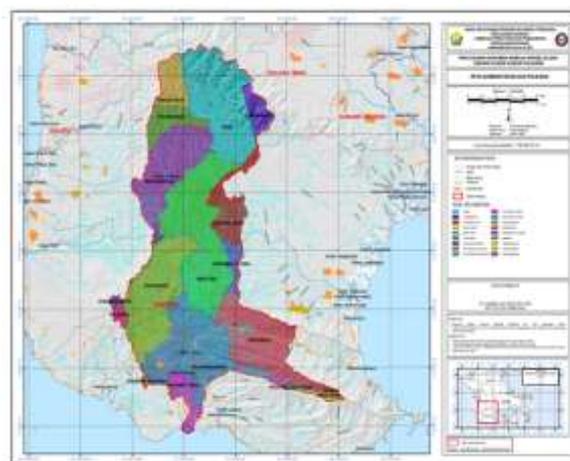
Berdasarkan uraian tersebut, evaluasi daya dukung tata air DAS Poleang sangat penting

dilakukan untuk mendukung penyempurnaan pengelolaan DAS. Menurut Widyaningsih dkk. (2021) penilaian *Water Resource Carrying Capacity* (WRCC) adalah dasar dalam pengembangan strategi pencapaian pembangunan berkelanjutan dan ketahanan air. Monitoring DAS dimaksudkan sebagai media pemindaian terhadap gangguan kinerja DAS (Pramono & Savitri, 2017). Kegiatan diagnosa kesehatan DAS dapat dilakukan dengan monitoring daya dukung DAS salah satunya pada karakteristik tata air. Tujuan pemantauan dan penilaian karakteristik tata air DAS adalah untuk menentukan perkembangan kelimpahan, mutu dan keberlanjutan aliran air dari DAS yang terkait setelah dilakukan tindakan perbaikan dan pemulihan fungsi DAS, yang meliputi rasio debit maksimal dan minimal, ketebalan aliran dan curah hujan, sedimen, intensitas kejadian banjir serta tingkat konsumsi air (Sutopo dkk., 2020). Pada akhirnya, hasil diagnosis harus menjadi dasar perencanaan dan pelaksanaan pengelolaan sumberdaya air DAS sebagai langkah penyembuhan dan peningkatan kinerja DAS (Khalis Ilmi, 2021).

Minimnya penelitian yang dilakukan di DAS Poleang sangat membatasi informasi mengenai daya dukung DAS tersebut. Hal ini mendorong untuk dilakukan upaya monitoring terhadap daya dukung tata air DAS Poleang sehingga tingkat Kesehatan DAS dapat diketahui. Parameter daya dukung tata air DAS dapat diukur melalui penentuan perkembangan kelimpahan air, mutu dan keberlanjutan aliran air DAS Poleang. Oleh karena itu tujuan yang ingin dicapai dalam penelitian ini adalah untuk menganalisis daya dukung tata air DAS Poleang, Provinsi Sulawesi Tenggara.

## 2. METODE PENELITIAN

Pelaksanaan penelitian ini berlokasi di DAS Poleang, Sulawesi Tenggara. Luas total DAS Poleang adalah 108.830,42 hektar di bawah kewenangan pengelolaan Dinas Kehutanan Provinsi Sulawesi Tenggara. Cakupan DAS Poleang meliputi 3 wilayah administratif yaitu Kab. Bombana (72.027,20 ha atau 66,2%), Kab. Kolaka (18.487 ha atau 17%), serta Kab. Kolaka Timur (18.316 ha atau 16,8%). Penelitian dilakukan pada bulan April hingga September 2022. Gambar 1 berikut menunjukkan peta lokasi penelitian Analisis Daya Dukung Tata Air DAS Poleang, Sulawesi Tenggara.



Gambar 1. Peta Lokasi Penelitian DAS Poleang  
(Sumber: Dinas Kehutanan Provinsi Sulawesi Tenggara, 2022)

Kebutuhan data dalam penelitian meliputi data dari sumber primer dan data dari sumber sekunder. Untuk mendapatkan data primer maka dilakukan wawancara mengenai pengetahuan masyarakat terkait intensitas banjir di lokasi penelitian, sedangkan untuk memperoleh data sekunder dilakukan pengumpulan data dari BPS Sulawesi Tenggara, BWS IV Kendari, BPDAS-HL Sampara dan Dinas Kehutanan Provinsi Tenggara, dan instansi lain yang terkait berupa data kependudukan, data ketebalan dan jumlah curah hujan, data sedimen serta data debit dan ketebalan aliran sungai.

Analisis data daya dukung tata air DAS Poleang dilakukan dengan standar penilaian Peraturan Menteri Kehutanan Republik Indonesia Nomor P61/Menhut-II/2014 untuk memantau dan menilai kinerja pengelolaan DAS. Salah satu kriteria daya dukung DAS ditentukan dengan penilaian kondisi tata air yang diidentifikasi berdasarkan 5 variabel yaitu (1) Koefisien Rezim Aliran (KRA), (2) Koefisien Aliran Tahunan (KAT), (3) Muatan Sedimen, (4) Banjir, dan (5) Indeks Penggunaan Air (IPA). Berdasarkan kriteria yang ditentukan tersebut akan dihasilkan daya dukung DAS didasarkan pada karakteristik tata air DAS Poleang.

### A. Analisis Koefisien Rezim Aliran (KRA)

Data debit sungai dibutuhkan untuk menentukan besarnya debit paling tinggi yang umumnya terjadi pada musim basah/hujan ( $Q_{max}$ ) dan debit paling rendah yang umumnya terjadi pada musim kering/kemarau ( $Q_{min}$ ) yang terjadi sepanjang tahun. Koefisien Rezim Aliran dapat diketahui dengan cara membandingkan antara  $Q_{maks}$  dengan  $Q_{min}$

dari data pengamatan tersebut dalam suatu DAS. Perhitungan KRA DAS Poleang menggunakan klasifikasi nilai yang ditampilkan pada Tabel 1 berikut:

Tabel 1. Penilaian dan Klasifikasi Nilai Koefisien Rezim Aliran (KRA)

Parameter	Nilai	Kelas	Skor
$KRA = \frac{Q_{maks}}{Q_{min}}$	$KRA \leq 20$	Sangat Rendah	0,5
	$20 < KRA \leq 50$	Rendah	0,75
	$50 < KRA \leq 80$	Sedang	1
	$80 < KRA \leq 110$	Tinggi	1,25
	$KRA > 110$	Sangat Tinggi	1,5

#### B. Koefisien Aliran Tahunan (KAT)

Untuk mendapatkan nilai koefisien aliran tahunan, maka tebal aliran dalam setahun (Q) dibandingkan tebal curah hujan tahunan DAS. Nilai tebal aliran dihasilkan dari besaran debit (Q) hasil rekaman instansi penanggung jawab selama setahun, dan nilai tebal hujan tahunan bersumber dari rekaman stasiun pengamatan curah hujan. Perhitungan KAT DAS Poleang menggunakan klasifikasi nilai yang ditampilkan pada Tabel 2 berikut:

Tabel 2 Klasifikasi nilai dan Kelas Koefisien Aliran Tahunan (KAT)

Parameter	Nilai	Kelas	Skor
Daerah Basah:	$KAT \leq 0,2$	Sangat Rendah	0,5
$KAT = \frac{Q_{\text{tahunan}}}{P_{\text{tahunan}}}$	$0,2 < KAT \leq 0,3$	Rendah	0,75
	$0,3 < KAT \leq 0,4$	Sedang	1
	$0,4 < KAT \leq 0,5$	Tinggi	1,25
	$KAT > 0,5$	Sangat Tinggi	1,5

#### C. Muatan Sedimen (MS)

Untuk mengetahui besarnya muatan sedimen yang terkandung di dalam aliran air dinyatakan melalui besaran laju sedimen pada sungai dengan melibatkan nilai debit sungai dan kadar muatan sedimen pada obyek yang diteliti. Muatan sedimen pada penelitian ini dihitung dengan menggunakan rumus (Sarah Sheftiana dkk., 2021):

$$Q_s = k \times C_s \times Q \quad (1)$$

Dimana:

$Q_s$  = debit sedimen

$k$  = 0,0864

$C_s$  = kadar muatan sedimen (mg/l)

$Q$  = debit air sungai

Untuk mengetahui kualitas air sungai berdasarkan muatan sedimen, hasil perhitungan laju sedimen diinterpretasikan ke

dalam klasifikasikan sebagaimana ditunjukkan pada Tabel 3 berikut:

Tabel 3 Klasifikasi nilai dan Kelas Muatan Sedimen

Parameter	Nilai	Kelas	Skor
Daerah Basah: $Q_s = k \times C_s \times Q$	$MS \leq 5$	Sangat Rendah	0,5
	$5 < MS \leq 10$	Rendah	0,75
	$10 < MS \leq 15$	Sedang	1
	$15 < MS \leq 20$	Tinggi	1,25
	$MS > 20$	Sangat Tinggi	1,5

#### D. Banjir

Identifikasi intensitas kejadian banjir digunakan untuk mengetahui jumlah banjir dalam setahun selama periode 5 tahun belakangan. Data bersumber dari laporan kejadian bencana daerah yang divalidasi dengan hasil survei lapangan. Penentuan kelas daya dukung pada parameter banjir DAS Poleang menggunakan klasifikasi nilai yang ditampilkan pada Tabel 4 berikut:

Tabel 4 Klasifikasi nilai dan Kelas Frekuensi Kejadian Banjir

Parameter	Nilai	Kelas	Skor
Frekuensi kejadian banjir	Tidak pernah	Sangat Rendah	0,5
	1 kali dalam 5 tahun	Rendah	0,75
	1 kali dalam 2 tahun	Sedang	1
	1 kali tiap tahun	Tinggi	1,25
	Lebih dari 1 kali dalam 1 tahun	Sangat Tinggi	1,5

#### E. Indeks Penggunaan Air (IPA)

Pengamatan penggunaan air dipergunakan untuk memberikan informasi kecukupan ketersediaan air DAS terhadap penduduk yang tinggal di DAS Poleang. Salah satu cara untuk menentukan indeks konsumsi air adalah dengan menghitung ketersediaan air tahunan per penduduk.

Koefisien limpasan tertimbang per penggunaan/penutupan lahan adalah koefisien yang menunjukkan jumlah air yang masuk ke dalam pori tanah menurut jenis penggunaan/penutupan lahan. Rumus untuk menghitung ketersediaan air dengan pendekatan koefisien limpasan (Sari & Koswara, 2019) adalah sebagai berikut:

$$C = \frac{\sum (C_i \times A_i)}{\sum A_i} \quad (2)$$

$$R = \sum R_i / m \quad (3)$$

$$SA = 10 \times C \times R \times A \quad (4)$$

Dimana:

$SA$  = Ketersediaan Air (m<sup>3</sup>/tahun)

$C$  = Koefisien limpasan tertimbang

- Ci = Koefisien limpasan tertimbang penggunaan lahan
- Ai = Luas penggunaan lahan i (ha)
- R = curah hujan tahunan wilayah (mm/tahun)
- Ri = curah hujan tahunan pada stasiun i
- m = jumlah stasiun pengamatan curah hujan
- A = Luas DAS (ha)
- 10 = faktor transformasi dari mm.ha menjadi m<sup>3</sup>

Perhitungan nilai IPA DAS Poleang dengan cara tersebut kemudian diklasifikasikan berdasarkan Tabel 5 berikut:

Tabel 5 Klasifikasi nilai dan Kelas Indeks Penggunaan Air

Parameter	Nilai	Kelas	Skor
$IPA = \frac{\text{Jumlah\_Air\_}(Q)}{\text{Jumlah\_Penduduk\_}(org)}$	IPA > 6.800	Sangat Baik	0,5
	5.100 < IPA ≤ 6.800	Baik	0,75
	3.400 < IPA ≤ 5.100	Sedang	1
	1.700 < IPA ≤ 3.400	Jelek	1,25
	IPA ≤ 1.700	Sangat Jelek	1,5

(Sumber: Permehut Nomor: P.61/Menhut-II/2014)

#### F. Daya Dukung Sistem Tata Air DAS

Daya dukung sistem tata air DAS sebagai dasar pemantauan kinerja sistem pengelolaan tata air DAS dibuat dengan memperhatikan perubahan bobot dan skor parameter kondisi tata air. Klasifikasi daya dukung sistem tata air DAS merupakan hasil akumulasi bobot kriteria tata air dan skor masing-masing parameter sistem tata air. Klasifikasi daya dukung sistem tata air DAS Poleang ditunjukkan pada Tabel 6 berikut.

Tabel 6 Klasifikasi daya dukung sisitem tata air DAS Poleang

Variabel/ Parameter	Bobot		Skor minimal	Skor maksimal
	%	%		
<b>Karakteristik Tata Air</b>	<b>100</b>			
KRA	25	2,5	7,5	
KAT	25	0,75	3,75	
Muatan sedimen	20	1,5	6	
Banjir	10	1,25	2,5	
IPA	20	1,25	5	

Hasil perhitungan daya dukung masing-masing paramater sistem tata air DAS berdasarkan Table 6 kemudian diklasifikasikan berdasarkan klasifikasi daya dukung tata air DAS berdasarkan Peraturan Menteri Kehutanan

Republik Indonesia Nomor P.61/Menhut-II/2014. Klasifikasi daya dukung DAS dapat dilihat pada Tabel 7.

Tabel 7 Klasifikasi Kondisi Daya Dukung DAS

No	Nilai	Kelas
1	DDD ≤ 70	Sangat Baik
2	70 < DDD ≤ 90	Baik
3	90 < DDD ≤ 110	Sedang
4	110 < DDD ≤ 130	Buruk
5	DDD > 130	Sangat Buruk

### 3. HASIL DAN PEMBAHASAN

#### A. Koefisien Rezim Aliran (KRA) DAS Poleang

Nilai Koefisien Rejim Aliran (KRA) dinyatakan sebagai rasio antara debit maksimum-minimum (Qmax/Qmin). Menurut Wulan et al. (2018), nilai Koefisien Rezim Aliran (KRA) menunjukkan keseimbangan aliran sungai sepanjang tahun. Baik buruknya nilai KRA juga memberikan informasi tentang karakteristik penutupan lahan DAS dalam mengatur sistem hidrologi (Murtiyah dkk., 2019). Semakin rendah rasio antara debit maksimum dan minimum, menunjukkan bahwa kondisi DAS stabil. Besarnya nilai debit maksimum dan minimum tersebut tergantung pada besarnya curah hujan pada DAS dan kemampuan lahan dalam menyerap dan menyimpan air (Sutopo dkk., 2020).

Kondisi limpasan air permukaan di DAS Poleang akan digambarkan dengan data debit yang terukur melalui alat pengukur debit yang terpasang di DAS Poleang. Kondisi debit sungai di DAS Poleang, disajikan pada Tabel 8.

Tabel 8 Fluktuasi Kondisi Debit dan KRA DAS Poleang Tahun 2021

Bulan	Debit (m <sup>3</sup> /detik)		KRA
	Maks	Min	
Jan	93,7	2,1	44,6
Feb	16,3	5,4	3,02
Mar	17,5	6,5	2,69
Apr	22,1	11,6	1,91
Mei	66,5	16,4	3,29
Jun	198,1	20,2	9,81
Jul	30,1	4	7,53
Ags	4,6	1	4,6
Sep	37,3	0,6	62,2
Okt	0,6	0,2	3
Nov	0,4	0,2	2
Des	1,6	0,2	8
<b>Debit Tahunan</b>	<b>488,9</b>	<b>68,4</b>	<b>7,15</b>

(Sumber: Hasil Analisis, 2022)

Berdasarkan data dari fluktuasi debit sungai di DAS Poleang menunjukkan bahwa debit maksimum tahunan mencapai 488,9 m<sup>3</sup>/det

dan debit minimum tahunan mencapai 68,4 m<sup>3</sup>/det, sehingga Koefisien Rezim Aliran (KRA) diperoleh sebesar 7,15. Debit maksimum paling tinggi terjadi ada Bulan Juni tahun 2021 dengan total debit mencapai 198,1 m<sup>3</sup>/det dengan debit minimum mencapai 20,2 m<sup>3</sup>/det. Hasil ini menunjukkan bahwa kondisi debit sungai DAS Poleang telah mengalami gangguan dengan perbandingan yang cukup rendah dan signifikan. Berdasarkan Permenhut No. P.61/Menhut-II/2014 (Permen, 2014), hasil analisis kriteria pembobotan, penilaian dan klasifikasi koefisien rezim aliran, KRA DAS Poleang masuk kategori nilai KRA ≤ 20, kelas sangat rendah dengan skor 0,5.

#### B. Koefisien Aliran Tahunan (KAT) DAS Poleang

Koefisien aliran tahunan pada penelitian ini merupakan rasio tebal aliran dalam setahun dengan tebal hujan dalam setahun pada DAS, atau dapat disebut dengan jumlah hujan yang menjadi limpasan ke DAS (Anami dkk., 2020). Kondisi koefisien aliran tahunan DAS Poleang tidak terlepas dari beberapa faktor yang mempengaruhinya. Menurut Ismail dan Kuratmoko (2015), faktor perubahan penggunaan lahan dapat meningkatkan nilai koefisien limpasan selain dari faktor evapotranspirasi dan kecepatan infiltrasi.

Wilayah DAS Poleang memiliki total tebal aliran tahunan mencapai 397,7 mm dan total tebal hujan tahunan mencapai 1720,7 mm. Tebal aliran paling tinggi terjadi pada Bulan Juni dengan ketebalan 141,6 mm dengan tebal hujan 138,5 mm. Hasil analisis koefisien Aliran bulanan dan tahunan berdasarkan kondisi debit aliran sungai dan curah hujan di DAS Poleang ditunjukkan pada Tabel 9.

Tabel 9 Kondisi Tebal Aliran dalam setahun, Ketebalan Hujan dalam setahun dan Koefisien Aliran Tahunan DAS Poleang

Bulan	Tebal Aliran (mm)	Tebal Hujan (mm)	KAT
Jan	17,8	88,6	0,20
Feb	22,9	183,8	0,12
Mar	30,1	438,2	0,07
Apr	41,7	118,7	0,35
Mei	84,8	206,3	0,41
Jun	141,6	138,5	1,02
Jul	34,8	84,8	0,41
Ags	6,3	53,3	0,12
Sep	15,3	104,4	0,15
Okt	0,7	10,3	0,07
Nov	0,5	77,8	0,01
Des	1,2	216,0	0,01

Bulan	Tebal Aliran (mm)	Tebal Hujan (mm)	KAT
<b>Total Tahunan</b>	397,7	1720,7	0,23

(Sumber: Hasil Analisis, 2022)

Berdasarkan Tabel 9 diketahui bahwa koefisien aliran tahunan (KAT) di DAS Poleang sebesar 0,23. Berdasarkan sub kriteria pembobotan, penilaian klasifikasi Koefisien Aliran Tahunan (KAT) berada pada rentang  $0,2 < KAT \leq 0,3$ . Rentang tersebut menggolongkan KAT DAS Poleang pada kelas rendah dengan skor 0,75. Berdasarkan nilai koefisien aliran tahunan DAS Poleang dapat dikatakan bahwa kemampuan DAS Poleang dalam meresapkan air masih sangat kecil.

Daya resap air menunjukkan keadaan karaktersitik infiltrasi (Pandiangan dkk., 2021). Jumlah air yang terserap oleh tanah (infiltrasi) tergantung oleh beberapa faktor penting seperti: Kualitas dan morfologi tanah, humiditas tanah, aktivitas biologis dan bahan biotik, jenis dan ketebalan serasah, jenis dan kerapatan tanaman dan tumbuhan penutup tanah (Irawan & Yuwono, 2016).

#### C. Muatan Sedimen (MS)

Sedimen dapat dipahami secara sederhana sebagai bagian dari tanah yang dibawa oleh aliran air dari lokasi yang terkikis ke suatu daerah tangkapan air (DAS) dan memasuki badan air (Al Ansar dkk., 2014). Keberadaan sedimen dalam suatu aliran sungai dapat muncul di berbagai lokasi sangat dipengaruhi oleh keseimbangan antara kecepatan partikel ke atas (gravitasi dan daya apung) dan kecepatan sedimentasi partikel (Andayani & Yulianti, 2019). Dampak buruk sedimentasi adalah terganggunya aliran sungai berupa peningkatan limpasan permukaan dan penurunan muka air, serta meluarnya areal yang tersekat, ditandai dengan gejala banjir ringan pada musim basah dan potensi kekurangan air pada musim panas, serta pendangkalan sungai yang memicu kejadian banjir. Sedimentasi di muara dapat memiliki banyak efek negatif, misalnya Rute pelayaran kapal dan daerah penangkapan ikan menjadi lebih sempit ketika air surut, bahan organik alami dapat menumpuk di sungai, ketimpangan dalam kehidupan makhluk hidup akuatik, pantai lebih mencuat ke tengah laut, permukaan air naik di hulu sungai dan volume

air sungai meluap menyebabkan banjir di darat (Pamuji dkk., 2015).

Pada penelitian ini, penilaian muatan sedimen (MS) sangat diperlukan untuk memberi informasi mengenai seberapa besar proses sedimentasi yang terjadi di DAS Poleang atau seberapa besar kadar lumpur yang terbawa aliran sungai dengan menggunakan pendekatan debit sedimen. Semakin tinggi kadar sedimen dalam aliran, semakin tidak sehat kondisi DAS tersebut (Afdhaliyah & Ahmad Munir, 2017). Hasil penilaian kadar muatan sedimen DAS Poleang diperoleh 86,8 mg/l. Sedangkan rata-rata debit DAS Poleang sebesar 12,967 m<sup>3</sup>/detik. Hasil analisis muatan sedimen yang terkandung dalam aliran di DAS Poleang mencapai 97,25 ton/hari. Menurut petunjuk Peraturan Menteri Kehutanan Republik Indonesia Nomor P.61/Menhut-II/2014 (Permen, 2014), hasil analisis muatan sedimen DAS Poleang masuk kategori nilai MS > 20, dan termasuk dalam kelas sangat tinggi dengan skor 1,50.

#### D. Banjir

Banjir terjadi pada saat terjadi penjuanan air terhadap tanah yang menyebabkan terjadi peningkatan aliran permukaan (*surface runoff*) (Pratiwi & Jaelani, 2020), air yang masuk ke sungai melampaui kapasitas sehingga daya tampungnya tidak mencukupi (Muharomah, 2014). Banjir dapat disebabkan oleh peristiwa/fenomena alam dan intervensi manusia terhadap lingkungan. Peristiwa/fenomena alam yang dapat memicu terjadinya banjir berupa intensitas dan durasi curah hujan, topografi, jenis tanah, penggunaan/tutupan lahan dan sedimentasi alami. Banjir yang disebabkan oleh aktivitas manusia disebabkan oleh kepadatan penduduk, jaringan drainase yang buruk, perubahan penggunaan lahan, pembangunan pemukiman dan aktivitas lain di dataran banjir dan juga dapat menyebabkan banjir (Arifin dkk., 2021).

Berdasarkan hasil survey lapangan diperoleh bahwa frekuensi terjadinya banjir di DAS Poleang terjadi sekali setiap tahun. Berdasarkan Peraturan Menteri Kehutanan Republik Indonesia Nomor P.61/Menhut-II/2014, frekuensi kejadian banjir tersebut apabila dikategorisasi menurut sub kriteria, bobot, nilai dan klasifikasi banjir masuk kategori nilai terjadi 1 kali setahun, kelas tinggi dengan skor 1,25.

#### E. Indeks Penggunaan Air (IPA)

Penggunaan air di DAS Poleang ditujukan untuk kebutuhan pertanian, domestik dan industri. Kebutuhan air meningkat mengikuti kurva pertambahan jumlah penduduk. Pernyataan tersebut mengandung pengertian bahwa jika penggunaan air tidak dikelola secara efektif dan upaya konservasi tidak dilakukan untuk mempertahankan zona penyangga khusus di bagian hulu DAS Poleang, kekurangan air akan terjadi untuk suatu periode atau waktu tertentu. Berdasarkan hasil pemantauan bahwa jumlah penduduk yang bermukim di DAS Poleang, ditampilkan pada Tabel 10.

Tabel 10 Jumlah Penduduk bermukim di DAS Poleang

No	Kabupaten	Jumlah Penduduk
		Bermukim DAS Poleang (jiwa)
1	Bombana	40.177
2	Kolaka	6.534
3	Kolaka Timur	5.229
<b>Total</b>		<b>51.940</b>

(Sumber: BPS Sultra, 2022)

Berdasarkan Tabel 10 menunjukkan bahwa jumlah penduduk yang bermukim di DAS Poleang berasal dari tiga kabupaten yaitu Bombana berjumlah 40.177 jiwa, Kolaka berjumlah 6.534 jiwa dan Kolaka Timur berjumlah jiwa, sehingga total jumlah penduduk yang bermukim di DAS Poleang sebesar 51.229 jiwa.

Analisis indeks penggunaan air di DAS Poleang didekati dengan perbandingan jumlah air (Q) dengan jumlah kepala keluarga yang bermukim di DAS Poleang. Untuk memperoleh nilai ketersediaan air maka digunakan pendekatan koefisien limpasan yang dikonversi dari persamaan rasional (Sari & Koswara, 2019). Jenis tutupan lahan dan koefisien simpanan permukaan per penggunaan lahan ditunjukkan pada Tabel 11 berikut.

Tabel 11. Jenis tutupan lahan dan koefisien limpasan permukaan per penggunaan lahan

Tutupan lahan	Luas (Ai)	Koefisien limpasan per penggunaan lahan (Ci)
Semak/Belukar	8.439,8	0,5
Hutan Primer	5.006,7	0,6
Hutan Sekunder	38.677,3	0,6
Hutan Mangrove	13,3	0,6
Lahan terbangun	339,0	0,95
Pertambangan	182,4	0,95
Ladang	19.291,9	0,8

Tutupan lahan	Luas (Ai)	Koefisien limpasan per penggunaan lahan (Ci)
Kebun Campur	7.485,6	0,7
Padang rumput	21.471,7	0,6
persawahan	3.573,5	0,56
pertambakan	272,7	0,5
Lahan terbuka	4.001,0	0,8
Badan Air	75,6	0,5
<b>Total</b>	<b>108.830,4</b>	

(Sumber: Analisis GIS; Madhatillah & HAR, 2020)

Berdasarkan Tabel tersebut hasil analisis koefisien limpasan permukaan tertimbang DAS poleang diperoleh sebesar 0,65. Sedangkan informasi mengenai curah hujan DAS Poleang dikumpulkan dari 5 stasiun pengamatan yang tersedia di DAS Poleang. Berdasarkan data tersebut, rata-rata jumlah curah hujan tahunan DAS Poleang sebesar 1.731,1 mm/tahun. Curah hujan tahunan DAS Poleang ditunjukkan pada Tabel 12 berikut.

Tabel 12. Curah Hujan Tahunan DAS Poleang

Stasiun Curah Hujan	Curah Hujan Tahunan (mm)
ST 1	1.714,7
ST 2	1.805,2
ST 3	2.186,0
ST 4	1.038,5
ST 5	1.911,0
<b>Total</b>	<b>8.655,4</b>

(Sumber: BWS IV Sulawesi, 2022 )

Berdasarkan hasil analisis ketersediaan air DAS Poleang diperoleh sebesar 1.224.562.081,7 m<sup>3</sup>/tahun. Bila ketersediaan air tersebut dibandingkan dengan jumlah penduduk maka diperoleh indeks penggunaan air (IPA) DAS Poleang mencapai 23.576,5. Menurut petunjuk Peraturan Menteri Kehutanan Republik Indonesia Nomor P.61/Menhut-II/2014, hasil analisis indeks penggunaan air di DAS Poleang masuk kategori nilai IPA > 6.800, klasifikasi sangat baik dengan nilai 0,5.

#### F. Daya Dukung Tata Air DAS Poleang

Salah satu penilaian kekritisitas DAS adalah mutu, kelimpahan dan keberlanjutan (pasokan air) yang memiliki bobot 20% dari total kriteria daya dukung tata air DAS. Untuk mengetahui kelas daya dukung tata air DAS maka bobot kondisi tata air dikonversi menjadi 100%. Kondisi daya dukung tata air DAS Poleng ditunjukkan pada Tabel 13 berikut.

Tabel 13 Kondisi daya dukung tata air DAS Poleng

Variabel/ Parameter	Bobot		Skor	Bobot*Skor
	%	%		
<b>Kondisi Tata Air</b>	<b>100</b>			
KRA	25	0,5		12,5
KAT	25	0,75		18,75
Muatan sedimen	20	1,5		30
Banjir	10	1,25		12,5
IPA	20	0,5		10
<b>Daya Dukung Tata Air DAS</b>				<b>83,75</b>

(Sumber: Hasil Analisis, 2022)

Hasil penilaian daya dukung tata air DAS diperoleh nilai sebesar 83,75. Berdasarkan Permenhut No. P.61/Menhut-II/2014, hasil analisis daya dukung tata air DAS Poleang masuk dalam kategori  $70 < DDD \leq 90$  dan dapat disimpulkan bahwa DAS Poleng termasuk pada kelas daya dukung baik.

#### 4. KESIMPULAN

Penelitian ini memberi kesimpulan bahwa KRA DAS Poleang = 7 dengan skor 0,5, nilai KAT = 0,23 dengan skor 0,75, nilai MS = 97,25 ton/hari dengan skor 1,5, banjir terjadi 1 kali dalam setahun dengan skor 1,25, IPA mencapai 23.576,5 dengan skor 0,5. Dengan demikian kondisi daya dukung tata air DAS Poleang sebesar 83,75 dan masuk dalam kategori  $70 < DDD \leq 90$  dengan kelas daya dukung baik.

#### 5. DAFTAR PUSTAKA

- Afdhaliah, N., & Ahmad Munir, dan. (2017). Analisis Perhitungan Debit Muatan Sedimen (Suspended Load) Pada Daerah Irigasi Lekopancing Kabupaten Maros. *Jurnal AgriTechno*, 10(2).
- al Ansar, N., Arsyad, M., & Sulistiawaty. (2014). Studi Analisis Sedimentasi Di Sungai Pute Rammang-Rammang Kawasan Karst Maros. *Jurnal Sains Dan Pendidikan Fisika*, 301–307.
- Anami, M. F. K., Lias, S. A., & Ahmad, A. (2020). Analisis Kinerja Sub Das Bila Dengan Pendekatan Lahan Dan Tata Air. *Jurnal Ecosolum*, 9(1). <https://doi.org/10.20956/ecosolum.v9i1.8868>
- Andayani, R., & Yulianti, D. (2019). Analisis Debit Muatan Sedimen Dasar Pada Muara Sungai Ogan. *Jurnal Desiminasi Teknologi*, 7(1).
- Arifin, M., Rasyid, A. R., Yudono, A., Wunas, S., Trisutomo, S., Yamin Jinca, M., Ali, M.,

- Akil, A., Osman, W., Dewi, Y. K., Ekawati, A., Fathien Azmy, M., Lakatupa, G., Wahyuni, S., Mujahid, L. M. A., Mandasari, J., Yanti, S. A., Arifin, M., Rasyid, A. R., ... Ayu, A. D. (2021). Konsep Penanganan Bencana Banjir pada Perumahan Perumnas Manggala Kota Makassar. *Jurnal Tepat*, 4(2), 151–165.
- BPS Provinsi Sulawesi Tenggara. (2022). *Provinsi Sulawesi Tenggara Dalam Angka 2022*.
- Ekawaty, R., Gas Ekaputra, E., & Arbain, A. (2018). Telaahan Daya Dukung Dan Daya Tampung Lingkungan Dalam Pengelolaan Kawasan Daerah Aliran Sungai Di Indonesia Study Of Environment Carrying Capacity In Management Of Watershed In Indonesia. *Journal of Applied Agricultural Science and Technology*, 2(2), 30–40.
- Fadhil, M. Y., Hidayat, Y., & Baskoro, D. P. T. (2021). Identifikasi Perubahan Penggunaan Lahan dan Karakteristik Hidrologi DAS Citarum Hulu. *Jurnal Ilmu Pertanian Indonesia*, 26(2), 213–220. <https://doi.org/10.18343/jipi.26.2.213>
- Gandri, L., Purwanto, M. Y. J., Sulistyantara, B., & Zain, A. F. M. (2019). Pemodelan Bahaya Banjir Kawasan Perkotaan (Studi Kasus di Kota Kendari). *Jurnal Keteknikan Pertanian*, 7(1), 9–16. <https://doi.org/DOI:10.19028/jtep.07.1.9-16>
- Guo, Q., Yu, C., Xu, Z., Yang, Y., & Wang, X. (2023). Impacts of climate and land-use changes on water yields: Similarities and differences among typical watersheds distributed throughout China. *Journal of Hydrology: Regional Studies*, 45. <https://doi.org/10.1016/j.ejrh.2022.101294>
- Irawan, T., & Yuwono, S. B. (2016). Infiltrasi Pada Berbagai Tegakan Hutan di Arboretum Universitas Lampung. *Jurnal Syiva Lestari*, 4(3), 21–34.
- Ismail, A., & Kuratmoko, E. (2015). Pemodelan Perubahan Penggunaan Lahan Dan Pengaruhnya Terhadap Koefisien Aliran Pada Daerah Tangkapan Air Waduk Darma, Kabupaten Kuningan, Provinsi Jawa Barat. *Jurnal Ilmu Kehutanan, Wanakarsa*, 9(2). [www.landsat.usgs.gov](http://www.landsat.usgs.gov).
- Isnan, W., & Hasnawir. (2017). Kajian Daya Dukung Daerah Aliran Sungai (Das) Mapili Provinsi Sulawesi Barat. *Info Teknis EBONI*, 14(2), 89–102.
- Jin, C., Guan, Q., Gong, L., Zhou, Y., & Ji, Z. (2022). Evaluation of Regional Water Environmental Carrying Capacity and Diagnosis of Obstacle Factors Based on UMT Model. *Water (Switzerland)*, 14(17). <https://doi.org/10.3390/w14172621>
- Kamma, R., Sukri, A. S., & Asseng, B. (2018). Study Of Surface Runoff By Using Geographic Information System Case Study: Das (Watersheds) Poleang-Roraya. *International Journal of Engineering Sciences & Research Technology*, 7(2). <https://doi.org/10.5281/zenodo.1189068>
- Khalis Ilmi, M. (2021). Penentuan Indeks Penggunaan Air (IPA) Sebagai Salah Satu Indikator Hidrologi Penilaian Kesehatan Daerah Aliran Sungai (DAS) di DAS Dodokan, Pulau Lombok, Indonesia. *Jurnal SIGMA*, 1(2), 63–69.
- Madhatillah, & HAR, R. (2020). Analisis Debit Air Limpasan Permukaan (RunOff) Akibat Perubahan Tata Guna Lahan pada DAS Kuranji dan DAS Batang Arau Kota Padang. *Jurnal Bina Tambang*, 5(1).
- Muharomah, R. (2014). Analisis Run Off Sebagai Dampak Perubahan Lahan Sekiar Pembangunan UnderPass Simpang Patal Palembang Dengan Memanfaatkan Teknik GIS. *Jurnal Teknik Sipil Dan Lingkungan*, 2(3).
- Murtiyah, N. N. A. P., Sunarta, I. N., & Diara, I. W. (2019). Analisis Kinerja Daerah Aliran Sungai Unda Berdasarkan Indikator Penggunaan Lahan dan Debit Air. *Jurnal Agroekoteknologi Tropika*, 8(2), 202. <https://ojs.unud.ac.id/index.php/JAT>
- Ningsih, R., Gas, E., Putra, E., & Goembira, D. F. (2020). Analisis Ketersediaan, Kebutuhan dan Kualitas Air Pada DAS Batang Merao. *Jurnal Ilmu Lingkungan*, 18(3), 545–555. <https://doi.org/10.14710/jil.18.3.545-555>
- Nugroho, R., & Savitri, E. (2017). Daya Dukung Das Brantas Berdasarkan Evaluasi Kriteria Tata Air. *Prosiding Seminar Nasional Geografi UMS 2017*.
- Pamuji, A., Muskananfolo, M. R., & A'in, C. (2015). Pengaruh Sedimentasi Terhadap Kelimpahan Makrozoobentos Di Muara Sungai Betahwalang Kabupaten Demak. *IJFST*, 10(2), 129–135. <http://ejournal.undip.ac.id/index.php/saintek>
- Pandiangan, N. L., Diara, I. W., & Kusmiyarti, T. B. (2021). Analisis Kondisi Daerah Resapan Air Kecamatan Sukasada Kabupaten Buleleng Menggunakan Sistem Informasi Geografis. *Jurnal Agroekoteknologi Tropika*, 10(3), 324–336. <https://ojs.unud.ac.id/index.php/JAT324>

- [PERMEN], Peraturan Menteri Kehutanan Republik Indonesia Nomor: P.39/Menhut-II/2009 Tentang Pedoman Penyusunan Rencana Pengelolaan Daerah Aliran Sungai Terpadu (2009).
- [PERMEN], Peraturan Menteri Kehutanan Republik Indonesia Nomor P.61/Menhut-II/2014 tentang Monitoring dan Evaluasi Pengelolaan Daerah Aliran Sungai (2014). [www.peraturan.go.id](http://www.peraturan.go.id)
- Pramono, B. I., & Savitri, E. (2017). Evaluasi Tata Air DAS Palung, Pulau Lombok, Nusa Tenggara Barat. *Posiding Seminar Nasional Geografi UMS 2017*.
- Pratiwi, A. Y., & Jaelani, L. M. (2020). Analisis Perubahan Distribusi Urban Heat Island (UHI) di Kota Surabaya Menggunakan Citra Satelit Landsat Multitemporal. *Jurnal Teknik ITS*, 9(2).
- Rahardian, A., & Buchori, I. (2016). Dampak Perubahan Penggunaan Lahan Terhadap Limpasan Permukaan Dan Laju Aliran Puncak Sub DAS Gajahwong Hulu-Kabupaten Sleman. *Jurnal Pembangunan Wilayah & Kota*, 12(2), 127–139.
- Saidah, H., & Hanifah, L. (2020). Analisis Kondisi Tata Air Untuk Pemantauan Kekritisitas Daerah Aliran Sungai Jangkok. *Jurnal Tanah Dan Sumberdaya Lahan*, 7(2), 237–248. <https://doi.org/10.21776/ub.jtsl.2020.007.2.7>
- Salim, A. G., Dharmawan, I. W. S., & Narendra, B. H. (2019). Pengaruh Perubahan Luas Tutupan Lahan Hutan Terhadap Karakteristik Hidrologi DAS Citarum Hulu. *Jurnal Ilmu Lingkungan*, 17(2), 333. <https://doi.org/10.14710/jil.17.2.333-340>
- Sarach Sheftiana, U., Purwanto, M. Y. J., & Tarigan, S. D. (2021). Perkiraan sedimentasi Pada Tahun 2018 di Waduk Jatiluhur, Kabupaten Purwakarta. *Jurnal Ilmu Tanah Dan Lingkungan*, 23(1), 18–21. <https://doi.org/10.29244/jitl.23.1.18-21>
- Sari, S. A., & Koswara, A. Y. (2019). Analisis Ketersediaan dan Kebutuhan Air Kecamatan Prigen, Kabupaten Pasuruan Berdasarkan Neraca Air. *Jurnal Teknik ITS*, 8(2).
- Siahaan, H., Handayani, Y. L., Fauzi, M., Jurusan, M., Sipil, T., & Jurusan, D. (2017). Kondisi Tata Air Sungai Dalam Pengelolaan Daerah Aliran Sungai Di Sub Das Rokan Kiri. *Jom FTEKNIK*, 4(1).
- Sudia, L. B., Gandri, L., Sofyan Hendryanto, H., Bana, S., & Fitriani, V. (2021). Conservation Strategy Analysis In Upstream Watershead: Case Study In Cimandiri Watershead. *Jurnal Ecosolum*, 10(1), 33–48. <https://doi.org/10.20956/ecosolum.v10i1.13100>
- Sukristiyono, S., Purwanto, R. H., Suryatmojo, H., & Sumardi, S. (2021). Analisis Kuantitas dan Kualitas Air dalam Pengembangan Pemanfaatan Sumber Daya Air Sungai di Kawasan Hutan Lindung Sungai Wain. *Jurnal Wilayah Dan Lingkungan*, 9(3), 239–255. <https://doi.org/10.14710/jwl.9.3.239-255>
- Sutopo, Lilis H, Y., & Sujatmoko, B. (2020). Analisis Koefisien Rezim Aliran (Kra) Berdasarkan Permenhut No: P.61/2014 (Studi Kasus: Sub Das Batang Sinamar, Sub Das Batang Ombilin Dan Sub Das Lubuk Ambacang). *Jom FTEKNIK*, 7(1).
- Syaf, H., Abadi, M., Ode Hasani, U., Basri, A., Kasno Arief, L., & Gandri, L. (2022). Penilaian Kinerja Pengelolaan DAS Poleang di Sulawesi Tenggara Berdasarkan Indikator Kondisi Lahan. *Jurnal Ilmiah Membangun Desa Dan Pertanian*, 7(5), 188–199. <https://doi.org/10.37149/jimdp.v7i5.132>
- Widyaningsih, M., Muryani, C., & Utomowati, R. (2021). Analisis Perubahan Daya Dukung Sumberdaya Air Berdasarkan Ketersediaan dan Kebutuhan Air di DAS Gembong Tahun 2010-2020. *Jurnal Sumberdaya Alam Dan Lingkungan*, 8(2), 54–64. <https://doi.org/10.21776/ub.jsal.2021.008.02.1>
- Wulan, A. R., Sirang, K., Syarifuddin, D., Jurusan, K., Fakultas, K., Universitas, K., & Mangkurat, L. (2018). Kuantitas Dan Kualitas Air Daerah Aliran Sungai Satui Kabupaten Tanah Bumbu Water Quantity and Quality of Satui Watershed In Tanah Bumbu District. *Jurnal Sylva Scientiae*, 01(1).



## Pemanfaatan Kulit Singkong sebagai Adsorben dalam Menurunkan Kadar BOD, COD di Air Waduk Manggar Kota Balikpapan

Nia Febrianti<sup>1\*</sup>, Vina Mauliana<sup>2</sup>, Rahmi Yorika<sup>3</sup>

<sup>1,2,3</sup>Institut Teknologi Kalimantan, Balikpapan, Indonesia

\*[niafebrianti@lecturer.itk.ac.id](mailto:niafebrianti@lecturer.itk.ac.id)

---

### Abstract

Balikpapan City is a city that does not have a large river to supply raw water like in several other cities, so to meet the water needs of the community, the main source of raw water is obtained from surface water from the Manggar Reservoir. The presence of high amounts of organic contaminants such as BOD and COD will affect water quality if treatment is not carried out to reduce these pollutants. One of the efforts that can be made to reduce pollutant levels is by the adsorption process using natural adsorbents, namely activated carbon from cassava peels. This research was conducted to find out how the effect of mass, contact time and the effectiveness of adsorbents from activated carbon of cassava peels in reducing BOD and COD levels in Manggar reservoir water, Balikpapan City. The adsorption process was carried out using variations in mass of 1, 3, 5, 7 and 9 gr and contact time variations of 30, 45, 60, 75 and 90 minutes. Based on the results of the study, the efficiency of reducing the BOD concentration of the adsorbent of activated carbon from cassava peels was 95.06% from the initial concentration of 8.3 mg/L to 0.41 mg/L at the optimum mass of 5 grams and the efficiency of reducing the COD concentration was 100% of the initial concentration of 28.54 mg/L to 0 mg/L at an optimum mass of 3 grams with a contact time of 30 minutes. From the results of the statistical analysis tests performed, it was found that the mass variation of the adsorbent did not significantly affect the decrease in BOD and COD concentrations, while the contact time had a significant effect only on the decrease in BOD concentrations.

Keywords: Adsorption, BOD, Cassava Peel Activated Carbon Adsorbent, COD, Reservoir Water.

### Abstrak

Kota Balikpapan merupakan Kota yang tidak memiliki sungai besar untuk memasok air baku seperti di beberapa Kota lainnya, sehingga untuk memenuhi kebutuhan air bagi masyarakat, sumber air baku utama yaitu diperoleh dari air permukaan yang berasal dari Waduk Manggar. Adanya bahan pencemar organik dalam jumlah yang tinggi seperti BOD dan COD akan mempengaruhi kualitas air jika tidak dilakukan pengolahan terlebih dahulu untuk mengurangi polutan tersebut. Salah satu upaya yang dapat dilakukan untuk menurunkan kadar polutan yaitu dengan proses adsorpsi memakai adsorben alami yaitu karbon aktif dari kulit singkong. Penelitian ini dilakukan untuk mengetahui bagaimana pengaruh dari massa, waktu kontak serta efektivitas adsorben dari karbon aktif kulit singkong dalam penurunan kadar BOD dan COD pada air waduk Manggar Kota Balikpapan. Proses adsorpsi dilakukan dengan menggunakan variasi massa sebanyak 1, 3, 5, 7, dan 9 gr serta variasi waktu kontak 30, 45, 60, 75 dan 90 menit. Berdasarkan hasil penelitian, efisiensi penurunan konsentrasi BOD dari adsorben karbon aktif kulit singkong yaitu sebesar 95,06% dari konsentrasi awal yaitu sebesar 8,3 mg/L menjadi 0,41 mg/L pada massa optimum yaitu 5 gram dan efisiensi penurunan konsentrasi COD sebesar 100% dari konsentrasi awal yaitu sebesar 28,54 mg/L menjadi 0 mg/L pada massa optimum 3 gram dengan waktu kontak selama 30 menit. Dari hasil uji analisis statistik yang dilakukan didapatkan bahwa variasi massa adsorben tidak berpengaruh secara signifikan terhadap penurunan konsentrasi BOD dan COD, sedangkan waktu kontak berpengaruh signifikan hanya terhadap penurunan konsentrasi BOD.

Kata Kunci: Adsorpsi, Adsorben Karbon Aktif Kulit Singkong, Air Waduk, BOD, COD.

---

### 1. PENDAHULUAN

Kota Balikpapan merupakan Kota yang tidak memiliki sungai besar untuk memasok air

baku seperti di beberapa Kota lainnya. Sehingga agar dapat memenuhi kebutuhan air bagi masyarakat Kota Balikpapan, sumber air

baku utama yaitu diperoleh dari air permukaan dan juga air tanah. Air permukaan dapat diperoleh dari waduk tadah hujan buatan yaitu Waduk Manggar yang berlokasi di kawasan hutan lindung sungai Manggar. Saat ini, sebagian besar kondisi Waduk Manggar merupakan hutan lindung yang dimana juga terdapat pemukiman, kegiatan jasa, maupun peternakan. Berdasarkan data kualitas air Balikpapan Tahun 2020, nilai konsentrasi parameter BOD dan COD pada air Waduk Manggar melebihi baku mutu kelas satu Peraturan Pemerintah Republik Indonesia Nomor 22 Tahun 2021 yaitu sebesar 6 mg/L dan 59 mg/L. Tingginya konsentrasi BOD dan COD pada air Waduk Manggar tersebut dapat disebabkan karena adanya bahan pencemar organik dalam jumlah yang tinggi dan karena adanya peningkatan aliran limbah domestik dari pemukiman ke Waduk Manggar sehingga hal tersebut dapat mempengaruhi kualitas air Waduk Manggar Kota Balikpapan. Tingginya kadar polutan BOD dan COD menunjukkan bahwa jumlah mikroorganisme baik secara patogen maupun tidak patogen yang terdapat dalam air berjumlah banyak sehingga harus dilakukan pengolahan terlebih dahulu untuk mengurangi polutan tersebut.

Untuk menurunkan kadar polutan tersebut, upaya yang dapat dilakukan yaitu dengan metode adsorpsi. Metode adsorpsi dipilih karena metode ini memiliki efisiensi cukup tinggi dalam menurunkan polutan dan dapat memanfaatkan bahan-bahan alami yang dijadikan karbon aktif sebagai adsorben (Rahmi and Sajidah, 2017). Bahan yang mempunyai potensi untuk dijadikan karbon aktif sebagai adsorben salah satunya adalah kulit singkong. Beberapa kandungan yang terdapat dalam kulit singkong diantaranya C 59,31%; H 9,78%; O 28,74%; N 2,06%; S 0,11%; Abu 0,3% dan H<sub>2</sub>O 11,4%. Selain itu kulit singkong memiliki kadar karbohidrat yang tinggi, sehingga mengindikasikan unsur karbon yang tinggi dan berpotensi untuk dimanfaatkan sebagai adsorben (Sailah, dkk, 2020). Berdasarkan data Badan Pusat Statistik Kota Balikpapan hasil produksi singkong Tahun 2019 mencapai 12.032 ton. Kota Balikpapan merupakan kota yang cukup banyak memanfaatkan singkong mulai dari proses produksi bahan baku hingga pengolahan menjadi bahan makanan sehingga limbah yang dihasilkan berupa kulit singkong juga cukup besar. Kulit singkong yang biasanya

hanya dianggap sebagai limbah, namun sebenarnya dapat dimanfaatkan menjadi karbon aktif. Tidak hanya sebagai salah satu upaya memanfaatkan limbah yang ada, namun juga bahan tersebut mudah didapatkan dan memiliki nilai ekonomis (Pratiwi and Dewi, 2017). Oleh karena itu, sebagai upaya untuk memanfaatkan limbah kulit singkong maka dilakukan analisis efektivitas karbon aktif kulit singkong yang dijadikan adsorben untuk menurunkan nilai polutan BOD, COD pada air Waduk Manggar Kota Balikpapan dengan variasi massa dan lama waktu kontak yang digunakan.

## 2. METODE PENELITIAN

### 2.1 Alat dan Bahan Penelitian

Alat yang digunakan yaitu *furnace*, neraca analitik, kaca arloji, *beaker glass*, erlenmeyer, mortar dan alu, ayakan 100 *mesh*, kertas saring, *hot plate* dan *magnetic stirrer*, pH meter dan pompa vakum. Bahan yang digunakan yaitu kulit singkong, air sampel Waduk Manggar Kota Balikpapan, *aquadest*, larutan NaOH, dan larutan H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>.

### 2.2 Pembuatan Adsorben Kulit Singkong

Tahap pertama yang dilakukan dalam penelitian yaitu mencuci kulit singkong hingga bersih kemudian dikeringkan dibawah sinar matahari. Setelah itu dilakukan proses karbonisasi dengan menggunakan *furnace* pada suhu 500°C dengan waktu 20 menit. Karbon aktif kulit singkong dihaluskan dengan mortar dan alu yang kemudian diayak dengan ayakan 100 *mesh*. Proses aktivasi karbon aktif kulit singkong dilakukan dengan merendam kulit singkong dengan larutan H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> 0,1 N selama 24 jam, kemudian pH diukur dan didapatkan nilai pH sebesar 3, sehingga perlu ditambahkan bahan kimia yang bersifat basa yaitu larutan NaOH hingga mencapai pH netral. Karbon aktif kulit singkong disaring dan di oven untuk menghilangkan kadar air pada suhu yang telah diatur yaitu 110°C selama 3 jam.

### 2.3 Proses Adsorpsi Dengan Sistem Batch

Proses Adsorpsi dilakukan dengan menggunakan air sampel 500 ml yang diaduk menggunakan *magnetic stirrer* pada masing-masing variasi massa yaitu 1, 3, 5, 7, dan 9 gram dan pada masing-masing waktu kontak yaitu 30, 45, 60, 75, dan 90 menit. Air sampel

kemudian disaring untuk memisahkan adsorben dari air sampel yang telah diuji.

## 2.4 Analisis Data

Setelah berbagai tahapan penelitian dilakukan, kemudian dilakukan analisis dan pembahasan mengenai hasil yang didapat seperti massa dan waktu optimum, hubungan pengaruh massa dan waktu kontak terhadap penurunan kadar BOD, COD, melakukan perhitungan efektivitas, penentuan model isoterm adsorpsi, dan uji analisis statistik. Perhitungan efektivitas dilakukan agar mengetahui % removal penyisihan kadar BOD dan COD menggunakan karbon aktif kulit singkong. Adapun perhitungan efektivitas adsorben dengan menggunakan persamaan sebagai berikut:

$$\eta = \frac{C_1 - C_2}{C_1} \times 100 \% \quad (2.1)$$

Keterangan:

$\eta$  = Efektivitas

$C_1$  = Konsentrasi awal BOD, COD (mg/L)

$C_2$  = Konsentrasi akhir BOD, COD (mg/L)

Selanjutnya menentukan model isoterm Freundlich dengan memplot nilai log  $C_e$  terhadap Log (x/m) dan Langmuir dengan memplot nilai  $C_e$  terhadap  $C_e/(x/m)$ . Menurut (Mayangsari, 2021) hasil uji isoterm Freundlich dan Langmuir didasarkan pada nilai koefisien korelasi ( $R^2$ ) yang terbesar diantara hasil data yang didapatkan. Persamaan yang digunakan yaitu dapat dilihat dibawah ini:

Isoterm Freundlich:

$$q_e = K_f \cdot C_e^{1/n} \quad (2.2)$$

$$\text{Log } q_e = \text{log } K_f + \frac{1}{n} \text{log } C_e \quad (2.3)$$

Isoterm Langmuir:

$$\frac{C_e}{q_e} = \frac{1}{q_e} C_e + \frac{1}{K_L \cdot q_m} \quad (2.4)$$

Uji analisis statistik dilakukan agar mengetahui pengaruh adsorben karbon aktif kulit singkong terhadap penurunan konsentrasi BOD dan COD berdasarkan variasi massa dan waktu kontak yang digunakan. Uji analisis yang digunakan terdiri dari uji normalitas, uji homogenitas dan yang terakhir yaitu uji anova. Tujuan adanya uji anova yaitu untuk menempatkan variabel-variabel bebas penting dalam suatu studi dan untuk menentukan bagaimana mereka berinteraksi dan saling mempengaruhi (Rahmawati and Erina, 2020).

## 3. HASIL DAN PEMBAHASAN

### 3.1 Karakteristik Air Waduk Manggar

Air sampel diambil pada titik tepi di dekat pompa hisap PDAM Kota Balikpapan dengan air sampel yang dibutuhkan yaitu sebanyak 25 L. Adapun karakteristik air Waduk Manggar Kota Balikpapan dapat dilihat sebagai berikut:

Tabel 1 Karakteristik Air Waduk Manggar

No	Parameter	Satuan	Hasil Pemeriksaan	Baku Mutu*)
1.	BOD	mg/L	8,3	2
2.	COD	mg/L	28,54	10

\*) Peraturan Pemerintah Republik Indonesia Nomor 22 Tahun 2021

Berdasarkan Tabel 1 di atas diketahui bahwa nilai konsentrasi BOD dan COD masih melebihi nilai baku mutu lingkungan kelas satu yang diperuntukkan sebagai sumber baku air minum. Tingginya nilai kandungan BOD pada air Waduk Manggar disebabkan karena adanya kandungan bahan pencemar organik dalam jumlah yang tinggi yang dapat berasal dari ranting-ranting pohon dan dedaunan yang membusuk di sekitaran air Waduk, sedangkan tingginya nilai kandungan COD pada air Waduk Manggar yaitu dapat disebabkan karena adanya aliran dari limbah domestik yang berupa air bekas mandi, mencuci, dan dari limbah rumah tangga yang mengandung bahan organik (Rezagama and Tamlikha, 2016).

### 3.2 Karakteristik Adsorben Kulit Singkong

Adapun karakteristik dari adsorben yaitu memiliki ukuran 100 mesh dan berbentuk serbuk. Hasil karakterisasi adsorben karbon aktif kulit singkong meliputi uji kadar air yang mengacu pada SNI-06-3730-1995. Tabel 2 di bawah ini menunjukkan hasil uji kadar air yang didapatkan.

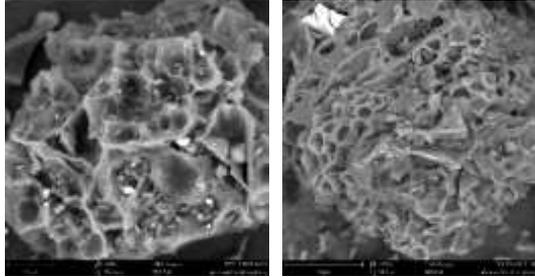
Tabel 2 Karakterisasi Uji Kadar air Karbon Aktif Kulit Singkong

No.	Jenis Uji	Baku Mutu*)	Hasil Uji
1.	Kadar Air	Maks. 15%	0,071%

\*) SNI-06-3730-1995

Menurut (Putri, 2019) rendah dan tingginya kadar air dari hasil pengujian, menunjukkan banyak sedikitnya air yang menutupi pori-pori dari adsorben yang akan mempengaruhi penyerapan adsorbat terhadap adsorben. Dari hasil uji, persentase kadar air karbon aktif kulit singkong sebesar 0,071% yang dimana nilai hasil uji tersebut masih belum melebihi nilai

batas maksimal yaitu 15% sehingga telah memenuhi Standar Baku Mutu yang digunakan. Selanjutnya dilakukan uji analisis SEM (*Scanned Electron Microscope*) untuk mengetahui perbedaan bentuk permukaan pori dari karbon aktif kulit sebelum dan setelah proses aktivasi. Hasil uji SEM karbon aktif kulit singkong dapat dilihat pada Gambar 1 sebagai berikut:

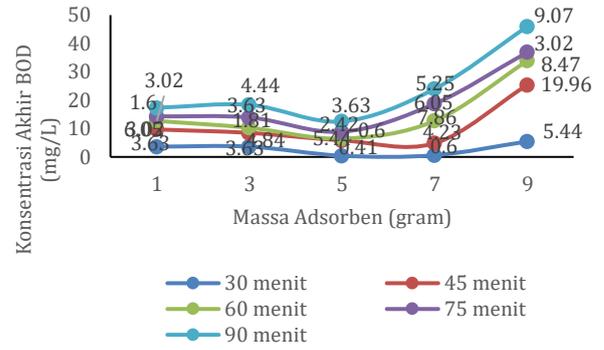


(a) (b)  
**Gambar 1** Hasil Analisis Uji SEM Karbon Aktif Kulit Singkong  
 (a) sebelum aktivasi, (b) setelah aktivasi

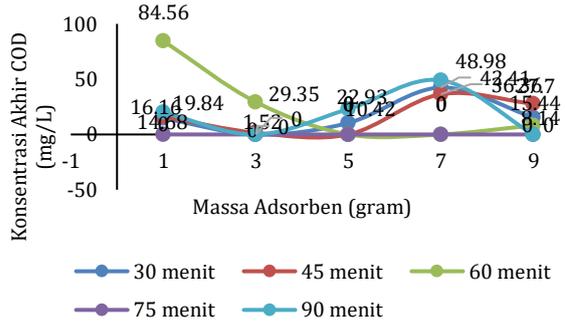
Gambar 3.1 menunjukkan hasil uji SEM karbon aktif kulit singkong sebelum dan setelah diaktivasi. Sebelum diaktivasi tampak permukaan masih terdapat pengotor hasil sisa proses karbonisasi dibandingkan dengan setelah aktivasi yang menunjukkan permukaan karbon aktif kulit singkong terlihat bersih dan jumlah pori yang dihasilkan semakin banyak. Oleh karena itu, dapat dilihat bahwa proses aktivasi akan mempengaruhi jumlah pori-pori karbon aktif kulit singkong sehingga dapat meningkatkan kemampuan dalam penyerapan adsorbat.

**3.3 Pengaruh Variasi Massa dan Waktu Kontak Adsorben Terhadap Parameter BOD dan COD**

Adapun pengaruh massa dan waktu kontak adsorben kulit singkong terhadap parameter BOD dan COD dalam proses adsorpsi dapat dilihat dalam bentuk grafik pada Gambar 2 dan 3 di bawah ini:



**Gambar 2** Grafik Nilai Konsentrasi Akhir BOD



**Gambar 3** Grafik Nilai Konsentrasi Akhir COD

Dapat dilihat pada Gambar 2 bahwa massa adsorben yang digunakan pada penelitian ini menunjukkan bahwa penurunan konsentrasi BOD paling optimum yaitu dicapai pada massa 5 gram dan dengan waktu kontak 30 menit. Penentuan massa dan waktu optimum yaitu didasarkan dengan melihat banyaknya konsentrasi BOD yang terserap oleh adsorben yaitu dari konsentrasi awal yang terdapat pada tabel 3.1 sebesar 8,3 mg/L turun menjadi 0,41 mg/L. Pada variasi massa 9 gram, menunjukkan konsentrasi BOD cenderung mengalami peningkatan dan yang tertinggi yaitu dari konsentrasi awal 8,3 mg/L menjadi 19,96 mg/L.

Gambar 3 menunjukkan bahwa variasi massa adsorben terhadap penurunan konsentrasi COD didapat variasi massa optimum yaitu ketika penambahan massa 3 gram dan waktu optimum yaitu pada pengontakkan 30 menit dengan konsentrasi awal COD yang terdapat pada tabel 3.1 yaitu sebesar 28,54 mg/L turun menjadi 0 mg/L.

Menurut (Anggriani, 2021) semakin banyak massa adsorben yang ditambahkan pada proses adsorpsi, maka semakin tinggi penyerapan konsentrasi yang terjadi. Namun pada hasil penelitian yang telah dilakukan, penggunaan variasi massa dan waktu kontak terhadap konsentrasi BOD dan COD

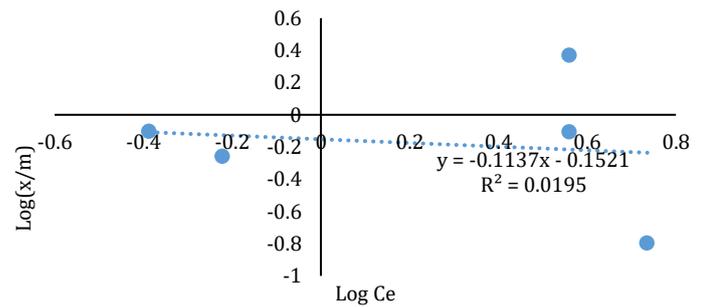
menunjukkan grafik penurunan dan kenaikan yang tidak stabil. Dari Gambar 2 dan 3 memperlihatkan penurunan konsentrasi paling tinggi yaitu pada penggunaan variasi massa 5 gram untuk BOD dan penggunaan variasi massa 3 gram untuk COD, hal tersebut disebabkan karena pada massa tersebut luas permukaan pori masih besar sehingga penggunaan massa tersebut telah optimum dalam menurunkan konsentrasi parameter. Kemudian terjadi peningkatan pada penambahan massa, hal tersebut dapat dikarenakan jika semakin banyak adsorben yang ditambahkan pada saat proses adsorpsi maka akan menyebabkan adsorben saling berdesakan sehingga interaksi antara adsorben karbon aktif kulit singkong dengan air sampel menjadi kurang efektif. Selain itu, meningkatnya nilai konsentrasi BOD dan COD dikarenakan adsorben telah mengalami penjumlahan pada permukaan karbon aktif (Larasati, Haryani and Susatyo, 2018). Penyisihan nilai konsentrasi optimum yaitu pada waktu kontak 30 menit, hal tersebut karena pada waktu kontak 30 menit luas permukaan adsorben masih besar sehingga mengakibatkan semakin banyak kemungkinan adsorbat yang terserap (Swastha, 2010). Hal ini dapat dijelaskan bahwa pada menit awal waktu pengontakkan, jerapan pada BOD dan COD meningkat karena interaksi antara adsorben dan adsorbat atau air sampel terjadi secara efektif. Hal tersebut disebabkan karena semua sisi adsorben karbon aktif kulit singkong yang masih kosong kemudian berikatan dengan adsorbat dalam larutan. Semakin lama waktu pengontakkan, maka penyerapan juga akan semakin meningkat dan akan menurun jika telah mencapai waktu optimum (Anwar, Meicahayanti and Rahayu, 2022).

### 3.4 Efektivitas Adsorben Karbon Aktif Kulit Singkong

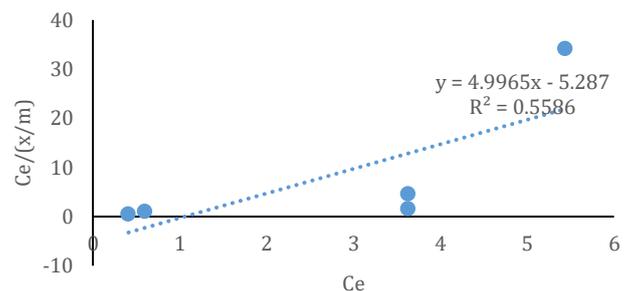
Berdasarkan hasil penelitian, didapatkan efisiensi penurunan paling tinggi untuk parameter BOD yaitu sebesar 95,06% dan untuk parameter COD yaitu sebesar 100%. Efisiensi penurunan BOD dan COD yang menggunakan adsorben kulit singkong tersebut lebih tinggi jika dibandingkan dengan menggunakan adsorben seperti karbon aktif dan zeolit dimana efisiensi penurunan COD sebesar 83% dan efisiensi penurunan BOD sebesar 63% (Nurhayati, I dkk, 2020).

### 3.5 Penentuan Model Isoterm Adsorpsi

Grafik 4 dan 5 di bawah ini menunjukkan penentuan isoterm Langmuir dan Freundlich.

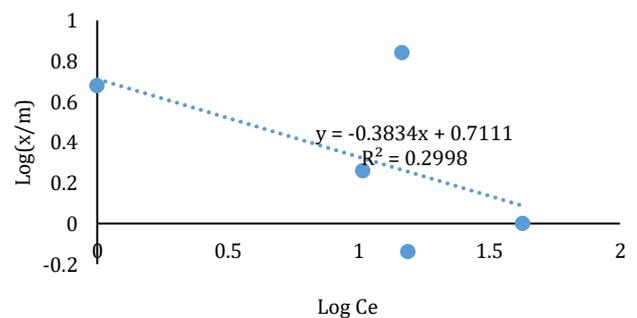


Gambar 4 Grafik Isoterm Freundlich BOD

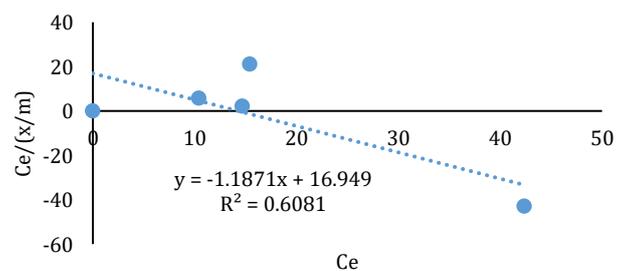


Gambar 5 Grafik Isoterm Langmuir BOD

Berdasarkan nilai koefisien korelasi ( $R^2$ ) yang dilihat pada Gambar 4 dan 5, untuk parameter BOD, didapatkan bahwa nilai  $R^2$  BOD untuk isoterm Freundlich sebesar 0,0195 dan untuk isoterm Langmuir didapatkan  $R^2$  sebesar 0,5586.



Gambar 6 Grafik Isoterm Freundlich COD



Gambar 7 Grafik Isoterm Langmuir COD

Berdasarkan nilai koefisien korelasi ( $R^2$ ) yang dilihat pada Gambar 6 dan 7 di atas dari perhitungan model isoterm adsorpsi COD, didapatkan bahwa nilai  $R^2$  COD untuk isoterm Freundlich sebesar 0,2998 dan untuk isoterm Langmuir didapatkan nilai  $R^2$  sebesar 0,6081. Oleh karena itu dapat disimpulkan bahwa parameter BOD dan COD mengikuti model isoterm Langmuir pada proses adsorpsinya. Dalam model isoterm adsorpsi freundlich, ada perbedaan energi pengikatan pada tiap-tiap permukaan adsorben sehingga tidak semua permukaan adsorben mempunyai daya adsorpsi. Pada isoterm langmuir didefinisikan lapisan permukaan bersifat (*monolayer*) (Sedyanto, 2018).

Isoterm langmuir menunjukkan lapisan terbentuk secara monolayer yaitu memiliki ikatan cukup kuat antara adsorben dan adsorbat karena terbentuknya suatu ikatan kimia. Menurut (Murtihapsari, Mangallo and Handyani, 2017) model isoterm langmuir menggambarkan suatu adsorben yang hanya memiliki beberapa sisi yang aktif untuk mengikat adsorbat. Adapun hasil perhitungan konstanta isoterm ditunjukkan pada Tabel 3 berikut:

**Tabel 3** Konstanta Isoterm adsorpsi BOD dan COD menggunakan Adsorben Karbon Aktif Kulit Singkong

Isoterm	BOD	COD
<b>Freundlich</b>		
N	-8,795	-2,608
$K_f$	0,7045	5,140
$R^2$	0,0195	0,2998
<b>Langmuir</b>		
$q_m$	0,200	-0,842
$K_L$	0,945	0,07
$R^2$	0,5586	0,6081

Pada isoterm langmuir, Nilai  $K_L=0$  menunjukkan adsorpsi yang *ireversibel*, nilai  $0 < K_L < 1$  menunjukkan proses adsorpsi yang disukai, nilai  $K_L > 1$  proses adsorpsi yang terjadi merupakan fenomena yang tidak disukai (*unfavorabel*), dan nilai  $K_L=1$  menunjukkan isoterm linear. Pada penelitian ini nilai  $K_L$  BOD dan COD yaitu sebesar 0,945 untuk BOD dan 0,07 untuk COD. Hal tersebut menggambarkan bahwa proses adsorpsi disukai, berarti adsorben dari karbon aktif kulit singkong cocok digunakan untuk proses adsorpsi pada parameter BOD dan COD. Nilai  $K_L$  pada parameter COD lebih mendekati 0

dibandingkan dengan BOD karena proses yang dilakukan dalam penelitian ini adalah pengolahan secara kimia fisik, sehingga nilai  $K_L$  COD lebih rendah dari nilai  $K_L$  BOD.

### 3.6 Uji Analisis Statistik

Tabel 4 berikut ini menunjukkan hasil uji analisis statistik yang didapatkan pada penelitian:

**Tabel 3.4** Hasil Uji Analisis Statistik

No.	Parameter	Variasi	Uji Normalitas	Uji Homogenitas	Uji Statistik	Nilai p-value
1.	BOD	Massa Adsorben	Normal	Homogen	Uji One Way Anova	0,281
		Waktu Kontak	Normal	Homogen	Uji One Way Anova	0,045
2.	COD	Massa Adsorben	Tidak Normal	-	Uji Kruskal Wallis	0,959
		Waktu Kontak	Tidak Normal	-	Uji Kruskal Wallis	0,351

Dari Tabel 4 tersebut diketahui bahwa hasil uji normalitas berdasarkan variasi massa dan waktu kontak adsorben dari karbon aktif kulit singkong pada parameter BOD didapatkan nilai *p-value* yaitu  $> 0,05$  sehingga menunjukkan bahwa data terdistribusi secara normal. Hasil uji homogenitas terhadap variasi massa dan waktu kontak pada parameter BOD menunjukkan nilai *p-value*  $> 0,05$  sehingga data tersebut bersifat homogen. Setelah itu dilakukan uji anova berdasarkan variasi massa didapatkan nilai *p-value*  $> 0,05$  sehingga dapat diketahui bahwa variasi massa adsorben tidak berpengaruh secara signifikan terhadap penurunan konsentrasi BOD, sedangkan hasil uji anova berdasarkan variasi waktu kontak didapatkan nilai *p-value*  $< 0,05$  sehingga dapat dikatakan bahwa variasi waktu kontak memiliki pengaruh terhadap penurunan konsentrasi BOD.

Hasil uji normalitas berdasarkan variasi massa dan waktu kontak dari karbon aktif kulit singkong pada parameter COD menunjukkan terdapat beberapa data yang tidak terdistribusi secara normal, sehingga dilakukan uji non-parametrik yaitu Kruskal Wallis sebagai alternatif pengujian. Dari hasil uji Kruskal Wallis berdasarkan variasi massa dan waktu kontak terhadap parameter COD didapatkan nilai *p-value*  $> 0,05$  sehingga dapat diketahui bahwa variasi massa dan variasi waktu kontak tidak berpengaruh secara signifikan terhadap penurunan konsentrasi COD.

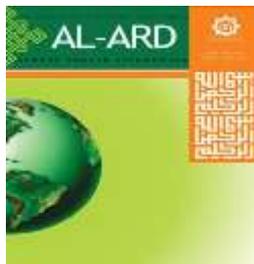
#### 4. KESIMPULAN

Massa dan waktu kontak optimum dalam penurunan konsentrasi BOD yaitu terjadi pada variasi massa 5 gram dengan waktu kontak yaitu 30 menit, sedangkan massa adsorben optimum dalam penurunan konsentrasi COD yaitu terjadi pada variasi massa adsorben 3 gram dan dengan waktu kontak yaitu 30 menit. Dari hasil uji analisis statistik menunjukkan bahwa variasi massa adsorben tidak berpengaruh secara signifikan terhadap penurunan konsentrasi BOD dan COD. Pada variasi waktu kontak, diketahui bahwa waktu kontak memiliki pengaruh yang signifikan terhadap penurunan konsentrasi BOD, tetapi tidak terhadap penurunan konsentrasi COD.

Efisiensi penyisihan menggunakan adsorben karbon aktif kulit singkong dalam menurunkan konsentrasi BOD paling tinggi yaitu didapatkan sebesar 95,06% dan pada konsentrasi COD yaitu sebesar 100%. Parameter BOD dan COD mengikuti model isotherm Langmuir pada proses adsorpsinya dimana pada isotherm tersebut terdapat satu lapisan permukaan (monolayer) pada permukaan adsorben.

#### 5. DAFTAR PUSTAKA

- Anggriani, U. M. (2021) 'Kinetika Adsorpsi Karbon Aktif Kinetic Adsorption Of Activated Carbon In Decreasing Concentrations', 12(02), Pp. 29-37.
- Anwar, N. A. F., Meicahayanti, I. And Rahayu, D. E. (2022) 'Pengaruh Variasi Waktu Kontak Dan Massa Adsorben Kulit Jeruk Siam ( Citrus Nobilis ) Terhadap Penyisihan Kadmium ( Cd ) Dan Merkuri ( Hg )', *Journal Of Environmental Technology*, 6(1), Pp. 54-62
- Larasati, R. I., Haryani, S. And Susatyo, B. (2018) 'Serbuk Kulit Jagung Untuk Menurunkan Kadar Cod Dan Bod Air Sumur Gali', *Indonesian Journal Of Chemical Science*, 7(1), Pp. 5-10.
- Mayangsari, N. E. And Astuti, U. P. (2021) 'Model Kinetika Adsorpsi Logam Berat Cu Menggunakan Selulosa Daun Nanas', *Jurnal Chemurgy*.
- Murthihapsari, M., Mangallo, B. And Handyani, D. D. (2017) 'Model Isoterm Freundlich Dan Langmuir Oleh Adsorben Arang Aktif Bambu Andong (G. Verticillata (Wild) Munro) Dan Bambu Ater (G. Atter (Hassk) Kurz Ex Munro)', *Jurnal Sains Natural*, 2(1),
- Nurhayati, I., Vigiani, S, And Majid, D. (2020) 'Penurunan Kadar Besi (Fe), Kromium (Cr), COD Dan BOD Limbah Cair Laboratorium Dengan Pengenceran, Koagulasi Dan Adsorpsi', *Ecotrophic*, 14(1)
- Pratiwi, I. And Dewi, Y. S. (2017) 'Dalam Mempengaruhi Kadar Fe Dalam Air', *Pemanfaatan Limbah Kulit Singkong (Manihot Utilissima) Dalam Mempengaruhi Kadar Fe Dalam Air*, 10(1), Pp. 52-58.
- Putri, I. D., Daud, S. And Elystia, S. (2019) 'Pengaruh Massa Dan Waktu Kontak Adsorben Cangkang Buah Ketapang Terhadap Efisiensi Penyisihan Logam Fe Dan Zat Organik Pada Air Gambut', *Jom Fteknik*, 6(2), Pp. 1-13.
- Rahmi, R. And Sajidah (2017) 'Pemanfaatan Adsorben Alami (Biosorben) Untuk Mengurangi Kadar Timbal(Pb) Dalam Limbah Cair', *Prosiding Seminar Nasional Biotik*, Pp. 271-279.
- Rezagama, A. And Tamlikha, A. (2016) 'Identifikasi Pencemar Waduk Manggar Kota Balikpapan', *Jurnal Pengembangan Kota*, 4(1), P. 40.
- Sailah, I., Mulyaningsih, F., Ismayana, A., Adnan, A, A, And I, Nastiti, S. (2020) 'Kinerja Karbon Aktif Dari Kulit Singkong Dalam Menurunkan Konsentrasi Fosfat Pada Air Limbah Laundry', *Jurnal Teknologi Industri Pertanian*, 30(2), Pp. 180-189
- Sedyanto, A. P. (2018) 'Adsorben Terenkapsulasi Na-Alginat Penyerap Logam Berat Pb ( Ii ) Dalam Air The Development Of Fiber Adsorbent Based On Cassava Peel To Remove Pb Ion In Water', (Ii), Pp. 1-17.
- Swastha, J. T. (2010) *Kemampuan Arang Aktif Dari Kulit Singkong*. Semarang.



## Evaluasi Jejak Karbon Pada Produksi *Black Garlic* Sembalun Menggunakan Pendekatan Penilaian Daur Hidup (*Life Cycle Assessment*)

Fathul Rakhman<sup>1</sup>, Joni Safaat Adiansyah<sup>2\*</sup>, Mustiana<sup>3</sup>

<sup>1,2,3</sup> Magister Ilmu Lingkungan Program Pascasarjana Universitas Muhammadiyah Mataram, Indonesia

\*[joni.adiansyah@ummat.ac.id](mailto:joni.adiansyah@ummat.ac.id)

### Abstract

Sembalun is well known as one of tourism destination in Lombok Island with main attraction is Rinjani Mountain hiking. Currently, there are also some other tourism attractions such as hill climbing, garden and fruit tours, and photo spots. In addition, many people come to spend their weekend in Sembalun. The increase in the number of tourist visits to Sembalun is an opportunity to develop various Sembalun souvenirs. One of them is Sembalun black garlic. Black Garlic Sembalun uses garlic as a raw material. The purpose of this study is to estimate the carbon footprint of Sembalun black garlic production where the method used is a Life Cycle Assessment. The unit function used is the production of black garlic in a month. A case study was taken from the UMKM KWT Putri Rinjani in Sembalun Bumbung Village which produces black garlic. There are five stages in the black garlic production process, namely transportation, drying, peeling, roasting, and packaging. From the results of the analysis using the OpenLCA software, three process stages contributed to the carbon footprint of Sembalun black garlic production, namely the transportation stage (52.125 KgCO<sub>2eq</sub>), the roasting stage (46.707 KgCO<sub>2eq</sub>), and the packaging process (6.930 KgCO<sub>2eq</sub>). To reduce the carbon footprint, several sustainable improvement alternatives that can be carried out include storing (stock) raw material to reduce the number of transportation trip and using transportation vehicles that have better combustion efficiency and the use of electric vehicles.

Keywords: carbon footprint, black garlic, transporting, roasting, packaging.

### Abstrak

Sembalun terkenal sebagai salah satu tujuan destinasi utama wisata di Pulau Lombok dengan daya tarik utama adalah pendakian ke Gunung Rinjani. Dalam perkembangannya, berkembang atraksi lainnya seperti mendaki bukit, wisata kebun dan buah, tempat foto. Selain itu, banyak warga yang datang untuk menikmati akhir pekan di Sembalun. Peningkatan jumlah kunjungan wisatawan ke Sembalun ini menjadi peluang pengembangan berbagai oleh-oleh khas Sembalun. Salah satunya adalah *black garlic* Sembalun. *Black garlic* Sembalun ini menggunakan bahan baku bawang putih. Tujuan dari kajian ini adalah melakukan estimasi jejak karbon dari produksi *black garlic* Sembalun dimana metode yang digunakan adalah penilaian daur hidup (*Life Cycle Assesment*). Unit fungsi yang digunakan adalah produksi *black garlic* dalam sebulan. Sebuah studi kasus diambil dari UMKM KWT Putri Rinjani di Desa Sembalun Bumbung yang memproduksi *black garlic*. Ada lima tahapan dalam proses produksi *black garlic* yaitu transportasi, penjemuran, pengupasan, pemanggangan, dan pengemasan. Dari hasil analisa menggunakan *software* OpenLCA dihasilkan tiga tahapan proses yang memberikan kontribusi pada jejak karbon produksi *black garlic* Sembalun yaitu tahapan transportasi (52,125 KgCO<sub>2eq</sub>), tahapan pemanggangan (46,707 KgCO<sub>2eq</sub>), dan proses pengemasan (6,930 KgCO<sub>2eq</sub>). Untuk mengurangi jejak karbon maka beberapa alternatif perbaikan berkelanjutan yang bisa dilakukan antara lain melakukan penyimpanan (*stock*) raw material untuk mengurangi jumlah ritase pengangkutan dan menggunakan kendaraan pengangkutan yang memiliki efisiensi pembakaran yang lebih baik serta penggunaan kendaraan listrik.

Kata Kunci: jejak karbon, *black garlic*, sembalun, pengangkutan, pemanggangan, pengemasan.

## 1. PENDAHULUAN

*Black garlic* mulai populer setelah dikenal banyak khasiatnya, salah satunya adalah untuk menurunkan kadar gula darah (Pangestu, Idi, &

Setyawan, 2020). Awalnya masyarakat hanya mengkonsumsi bawang putih mentah atau menjadi bahan bumbu dapur. Proses pengolahan menjadi *black garlic* dianggap sulit

dan membutuhkan waktu lama. Namun demikian, industri pembuatan *black garlic* ada di Kecamatan Sembalun Kabupaten Lombok Timur yang memang dikenal sebagai penghasil bawang putih sejak tahun 1970-an.

Para petani sembalun menjual bawang putih ke pasar-pasar tradisional dan ke pengepul. Tidak ada yang mengolah bawang putih menjadi produk jadi. Pada tahun 2000, dilakukan pelatihan pengolahan bawang putih kepada para petani dan terbentuk kelompok yang dinamakan Kelompok Wanita Tani (KWT) Putri Rinjani. Selanjutnya KWT Rinjani ini membuat lembaga usaha dagang UD Malsye yang menjual produk-produk olahan hasil pertanian seperti kopi, kentang goreng, buncis dan *black garlic*. *Black garlic* adalah salah satu produk andalan mereka karena sudah diekspor hingga ke Jepang.

Tidak ada data resmi jumlah UMKM yang membuat usaha *black garlic*, baik di dalam data BPS Lombok Timur (Sembalun Dalam Angka, 2021) maupun data profil desa. *Black garlic* sebagai produk UMKM yang dipromosikan sebagai makanan sehat, namun dalam prosesnya industri kecil ini memerlukan energi yang cukup besar khususnya dalam proses mengubah bawang putih hingga menjadi hitam (*black garlic*).

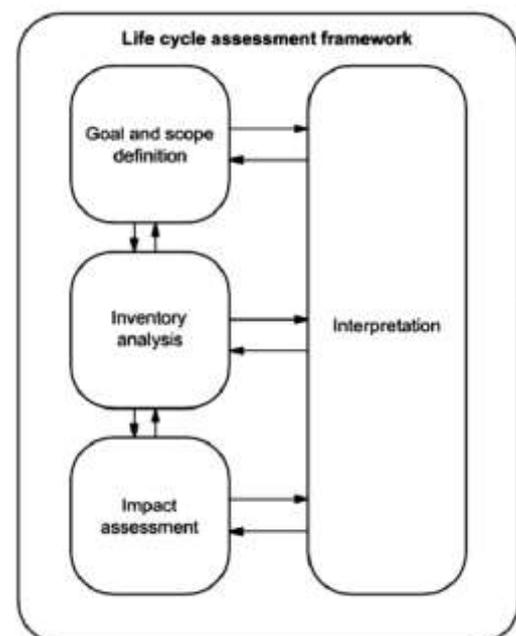
Dampak lingkungan yang dihasilkan dari tahapan proses produksi sebuah produk akan menjadi informasi yang berguna bagi konsumen dan menjadi nilai tambah bagi produk tersebut. Beberapa UMKM telah memiliki kajian dampak lingkungan dengan menggunakan pendekatan daur hidup seperti industri tahu (Rahmawati, dkk., 2022), ekstraksi nanas (Zulfikar & Prasetyawan, 2016). Namun belum ditemukan studi terkait dengan UMKM yang memproduksi *black garlic*.

Studi kasus di UMKM KWT Putri Rinjani diambil sebagai studi kasus untuk menghitung dampak lingkungan berupa jejak karbon dari *black garlic*. Produk *black garlic* yang dihasilkan oleh UMKM KWT Putri Rinjani sampai saat ini belum memiliki analisis dampak (jejak karbon) dari proses produksi yang dilakukan. Dengan demikian, tujuan dari kajian ini adalah untuk menghitung jejak karbon yang dihasilkan dalam proses produksi *black garlic* di UMKM KWT Putri Rinjani Kecamatan Sembalun Kabupaten Lombok Timur. Pendekatan penilaian daur hidup (*Life Cycle Assessment*) digunakan untuk menghitung jejak karbon *black garlic* Sembalun.

## 2. METODE PENELITIAN

Studi kasus produksi *black garlic* di KWT Putri Rinjani Desa Sembalun Bumbung, Kecamatan Sembalun, Kabupaten Lombok Timur dijadikan sebagai dasar perhitungan jejak karbon produksi *black garlic*.

Metode LCA yang digunakan mengacu pada prosedur ISO 14040 yang terdiri dari empat komponen, yaitu penentuan tujuan dan ruang lingkup (*goal and scope*), analisis inventori data (*inventory analysis*), penilaian dampak (*impact assessment*) dan interpretasi (J.S Adiansyah, Ningrum, Pratiwi, & Hadiyanto, 2019; Joni Safaat Adiansyah, 2022; Adiwinata, Suprihatin, & Mulyorini, 2021; Chaerul & Allia, 2020) seperti ditunjukkan pada Gambar 1. Data yang diperoleh selanjutnya diolah dan dianalisis menggunakan *software* OpenLCA versi 1.11(Ciroth, Di Noi, Lohse, & Srocka, 2019) untuk dilakukan penilaian dampak. Adapun perhitungan dampak menggunakan metode CML-AI Baseline (Acero, Rodriguez, & Ciroth, 2016) dengan menggunakan database pendukung yaitu Agribalyse versi 3.0.1. OpenLCA adalah *free software* yang dikembangkan oleh GreenDelta sejak tahun 2006. Dalam OpenLCA melingkup input flow untuk material yang masuk dan keluar dari batasan sistem kegiatan, business process, dan penilaian dampak (*impact assessment*). Hal tersebut merefleksikan tahapan-tahapan LCA seperti yang ditampilkan pada Gambar 1.



Gambar 1. LCA framework (ISO, 2006)

### 3. HASIL DAN PEMBAHASAN

#### 3.1 Tujuan dan Ruang Lingkup

Tujuan dari kajian ini adalah menghitung jejak karbon dari setiap tahapan proses produksi *black garlic*. Selain itu, kajian ini bertujuan untuk memberikan rekomendasi terhadap perbaikan berkelanjutan untuk menurunkan emisi karbon dari proses produksi *black garlic*. Adapun unit fungsi dari kajian ini adalah 150 Kg bawang putih basah yang diproduksi dalam waktu sebulan untuk menghasilkan 1.120 bungkus *black garlic*. Batasan kajian dari pengangkutan *raw material* sampai dengan pengemasan produk (*cradle to gate*). Proses daur hidup pada produksi *black garlic* KWT Putri Rinjani dapat dilihat pada Gambar 2.



Gambar 2. Daur hidup *black garlic*

Proses produksi dimulai dari proses pengangkutan bahan baku berupa bawang putih dari sawah atau rumah petani ke rumah produksi. Bawang putih yang dibeli dari petani berupa bawang putih segar yang masih basah. Pemilihan bawang putih basah agar KWT Putri Rinjani bisa memilih kualitas bawang putih. Bawang putih diangkut dari sawah ke rumah produksi menggunakan motor dan mobil. Proses pengangkutan ini dilakukan beberapa kali sambil memilih bawang putih kualitas bagus.

Setelah bawang putih basah diangkut ke rumah produksi, selanjutnya dilakukan proses penjemuran. Penjemuran masih sederhana, memanfaatkan terik matahari langsung. Penjemuran dilakukan dengan cara digantung, bawang putih disusun di talang bambu, bukan di lepas di tanah. Bahan penjemuran itu berupa bambu dan tali rafia. Selain itu menggunakan terpal khusus untuk bawang putih yang sudah hampir kering.

Setelah proses penjemuran selesai dilanjutkan dengan proses pengupasan.

Bawang yang putih yang rusak dipisahkan. Untuk pembuatan *black garlic* menggunakan bahan baku bawang putih terbaik. Jika ditemukan bawang siung tunggal, akan dipisahkan dan diolah dalam produk lain, yaitu bawang nunggal madu. Bawang putih itu difermentasi di dalam larutan madu. Tapi jumlah bawang putih siung tunggal ini sangat sedikit.

Setelah bahan baku bawang putih kering dan bersih didapatkan, selanjutnya proses pemanggangan. Dulu KWT Putri Rinjani menggunakan panci aluminium dan dipanaskan dengan LPG. Proses ini berlangsung sehari-hari, dan cukup merepotkan. Pemilik usaha harus rutin mengontrol api dan kondisi bawang putih. Perbaikan proses dilakukan dengan mengganti LPG dengan *rice cooker* dan setelah mencoba berbagai ukuran *rice cooker* dan dayanya, akhirnya ditemukan *rice cooker* dengan kapasitas 3 liter dan daya 450 watt yang paling bagus untuk proses pemanggang.

Setelah bawang putih dipanggang hingga menjadi hitam, selanjutnya didinginkan secara alami dan dimasukkan ke dalam kemasan. Saat ini kemasan yang digunakan adalah kemasan plastik *standing pouch*. Berbeda dengan kemasan dulu yang menggunakan kertas tebal dan dibungkus kertas bening. Proses pengemasan menggunakan bungkus kertas tebal lebih lama dan memakan biaya lebih mahal. Sekarang kemasan yang dipakai plastik *standing pouch* yang berimplikasi pada kebutuhan mesin pemanas untuk menutup plastik (*sealer cup*).

#### 3.2 Data Inventori

Inventori data *input* dan *output* dari produksi *black garlic* di KWT Rinjani Putri didapatkan melalui hasil wawancara dan observasi. Berdasarkan hasil wawancara, proses pengangkutan bahan baku berlangsung dalam sekali musim bawang putih. Pengangkutan bahan baku dilakukan beberapa kali dari berbagai lokasi sehingga bahan bakar rata-rata yang dibutuhkan untuk pembuatan *black garlic* sebulan dihitung berdasarkan berapa total pengangkutan dalam setahun, bahan bakar yang dibutuhkan selama proses pengangkutan, dibagi rata-rata selama 12 (dua belas) bulan. Proses pembuatan *black garlic* berlangsung setiap hari. Mesin pemanggang (*rice cooker*) dipakai hingga bawang putih menjadi hitam. Satu kali produksi akan berlangsung selama 13-15 hari sehingga dalam

sebulan mesin bekerja dua kali. Dalam proses pemanggangang tidak boleh terhenti prosesnya karena tidak adanya pasokan panas yang didapat dari listrik, akan mempengaruhi kualitas *black garlic*. Detail data inventori seperti disajikan pada Tabel 1.

Inventori data pada Tabel 1 merupakan sebuah proses kegiatan produksi *black garlic* di KWT Putri Rinjani. Dalam tabel ini terlihat kebutuhan yang berbeda-beda di setiap proses, dan terlihat proses persiapan yang membutuhkan banyak bahan. Nilai setiap material proses itu akan dianalisis menggunakan *software* OpenLCA untuk melihat seberapa besar jejak karbon yang dihasilkan dari proses pembuatan *black garlic* selama satu bulan.

Tabel 1. Data Inventori

UNIT PROSES	INPUT	JUMLAH	SATUAN	OUTPUT	JUMLAH	SATUAN
TRANSPORTASI	Bawang Putih	150	Kg	Bawang Putih	150	Kg
	Terpal Penjemuran	2	Lembar	Terpal Penjemuran	2	Lembar
	Bambu Penjemuran	15	Batang	Bambu Penjemuran	15	Batang
	Tali rafia pengikat bambu	1	Gulung	Tali rafia pengikat bambu	1	Gulung
	Standing Pouch Kemasan	1120	Buah	Standing Pouch Kemasan	1120	Buah
	Bensin	15	Liter	Emisi kendaraan	-	-
TAHAP PENJEMURAN	Bawang Putih	150	Kg	Bawang Putih Kering	142,5	Kg
TAHAP PENGUPASAN	Bawang Putih	142,5	Kg	Bawang putih bersih	140	kg
				Kulit bawang dan bawang rusak	2,5	Kg
TAHAP PEMANGGANGAN	Bawang Putih	140	kg	Black garlic (produk)	112	kg
	Plastik aluminium foil	2	Gulung	Sampah plastik	2	Gulung
	Rice Cooker	8	Buah	Listrik	450	watt
PROSES PENGEMASAN	Kemasan standing pouch	1120	Buah	Kemasan standing pouch	1120	Buah
	Mesin sealer	1	Buah	Listrik	450	watt

Dari data inventori terlihat bahwa material input untuk produksi *black garlic* yaitu antara lain bawang putih (*raw material*), bahan bakar (bensin jenis pertalite), listrik untuk *rice cooker* dan mesin *sealer*, kemasan dan plastik. Total raw material yang masuk ke dalam proses produksi selama satu bulan adalah 142,5 Kg dan setelah pengupasan akan terbagi menjadi dua jenis yaitu bawang putih bersih (140 Kg) dan kulit bawang dan bawang rusak sebesar 2,5 Kg.

### 3.3 Penilaian Dampak

Penilaian dampak merupakan tahapan ketiga untuk mengetahui nilai dan persentase dampak yang ditimbulkan dari sebuah unit-unit proses kegiatan, dimana material *input* dan *output* pada tahapan data inventori dianalisis menggunakan perhitungan LCA di *software* OpenLCA dengan menggunakan metode CML-AI Baseline. Hasil dari analisa penilaian dampak seperti yang ditampilkan

pada Tabel 2. Untuk klasifikasi dampak menggunakan *Global Warming Potential* (GWP-100) dengan faktor emisi (karakterisasi) setiap Gas Rumah Kaca (GRK) adalah sebagai berikut  $CO_2 = 1$ ,  $CH_4 = 28$ ,  $N_2O = 265$ .

Tabel 2. Jejak Karbon Setiap Tahapan

No	Unit Proses	Jumlah	Satuan
1	Proses pengangkutan	52,125	Kg CO <sub>2</sub> eq
2	Proses pemanggangan	46,707	Kg CO <sub>2</sub> eq
3	Proses pengemasan	6,930	Kg CO <sub>2</sub> eq
<b>Total</b>		<b>95,762</b>	

Berdasarkan hasil analisis pada Tabel 2, terlihat proses pengangkutan bahan baku (transportasi) menghasilkan total emisi terbesar yaitu 52,125 KgCO<sub>2</sub>eq. Sebuah kajian penilaian daur hidup terkait dengan produksi bawang merah juga menunjukkan bahwa tahapan transportasi menjadi penyumbang utama pada beberapa dampak antara lain pemanasan global dan eutropikasi (Simanihuruk, 2022). Proses pengangkutan ini menggunakan kendaraan motor dan mobil yang dilakukan dari berbagai sawah dan rumah petani di Kecamatan Sembalun. Metode pengangkutan dilakukan secara bertahap (sedikit demi sedikit) sehingga mempengaruhi pada jumlah bahan bakar yang dibutuhkan.

Proses pemanggangan menghasilkan emisi sebesar 46,707 KgCO<sub>2</sub>eq. Pemanggangan ini menggunakan *rice cooker* sebanyak 8 buah dimana setiap *rice cooker* membutuhkan energi listrik sebesar 450 watt. Penggunaan *rice cooker* pada tahap pemanggangan lebih mudah dikontrol terkait kualitas *black garlic* yang dihasilkan dibandingkan dengan penggunaan LPG seperti yang pernah dilakukan sebelumnya. LPG memerlukan prosesnya lebih rumit karena harus dikontrol setiap saat dan pemanggangan dengan bahan bakar LPG juga ada risiko terjadinya kebakaran dan *black garlic* yang terlalu gosong ketika lalai dikontrol.

Pada tahap pengemasan menggunakan kemasan plastik *standing pouch* sehingga butuh mesin *sealer cup* untuk menutup bagian atasnya. Mesin *sealer cup* yang digunakan kecil hanya 450 watt dan tidak membutuhkan listrik yang banyak. Pada proses ini menghasilkan jejak karbon sebesar 6,930 KgCO<sub>2</sub>eq.

Adapun unit kegiatan proses produksi *black garlic* yang tidak menghasilkan jejak karbon yaitu pada kegiatan penjemuran dan

pengupasan. Penjemuran menggunakan energi matahari dan tidak menggunakan pemanas yang membutuhkan energi listrik atau bahan bakar. Selanjutnya proses pengupasan, hanya menggunakan pisau dan gunting. Output berupa bawang rusak digunakan sebagai bumbu dapur sehingga tidak ada limbah yang harus dibuang ke tempat pembuangan sampah.

#### 4. KESIMPULAN

*Black garlic* sebagai sebuah produk dari UMKM memerlukan dukungan terhadap deklarasi lingkungan produk (*environmental product declaration*). Dukungan terhadap deklarasi lingkungan produk akan memberikan nilai tambah sebuah produk dari aspek keberlanjutan (*sustainability*). LCA yang digunakan sebagai metode untuk menghitung jejak karbon dari produk *black garlic* di Desa Sembalun menunjukkan bahwa penyumbang terbesar jejak karbon adalah proses pengangkutan (transportasi) dari bawang putih (*raw material*). Selanjutnya proses pemanggangang, dan terakhir proses pengemasan sebagai dua penyumbang jejak karbon dari proses produksi *black garlic* Sembalun.

*Environmental hotspot* dari proses pengangkutan berasal dari penggunaan bahan bakar (bensin) saat membawa bawang putih (*raw material*) ke lokasi proses produksi. Disisi lain kebutuhan energi listrik untuk proses pemanggangang dan pengemasan *black garlic* menjadi faktor utama yang menghasilkan jejak karbon. Beberapa perbaikan berkelanjutan yang dapat diterapkan untuk mengurangi jejak karbon dalam proses produksi *black garlic* Sembalun adalah antara lain:

1. Proses pengangkutan dilakukan sekali saja dan dilakukan penyimpanan (stocking) bawang putih di lokasi sentra produksi *black garlic* dimana hal ini dapat menghemat penggunaan bahan bakar (bensin).
2. Menggunakan kendaraan yang memiliki teknologi dengan efisiensi pembakaran yang lebih baik misalnya standar EURO-3 atau EURO-4. Selain itu opsi penggunaan kendaraan listrik bisa juga dipertimbangkan untuk pengangkutan bawang putih dari lokasi panen menuju industri pemrosesan *black garlic*.
3. Menggunakan *rice cooker* dengan sistem *inverter* sehingga penggunaan daya listrik lebih kecil. Dengan penggunaan daya listrik

yang lebih efisien tentu akan menurunkan jejak karbon dari proses pemanggangang.

#### 5. DAFTAR PUSTAKA

- Acerro, A. , Rodriguez, C., & Ciroth, A. (2016). *LCIA methods: Impact assessment methods in Life Cycle Assessment and their impact categories*. Berlin: GreenDelta.
- Adiansyah, J.S, Ningrum, N. P., Pratiwi, D., & Hadiyanto, H. (2019). Kajian Daur Hidup ( Life Cycle Assessment ) dalam Produksi Pupuk Urea : Studi Kasus PT Pupuk Kujang, 17(3), 522-527. <https://doi.org/10.14710/jil.17.3.522-527>
- Adiansyah, Joni Safaat. (2022). Jejak Karbon Pada Tahap Operasional Agro-eduwisata Kota Mataram Menggunakan Pendekatan Penilaian Daur Hidup. *Teknosains*, 11(2), 91-100.
- Adiwinata, F., Suprihatin, S., & Mulyorini, R. (2021). Analisis Daur Hidup (Life Cycle Assessment) Pengolahan Kopi Bubuk Robusta Secara Basah di Industri Kecil Menengah (IKM) Beloe Klasik Lampung. *Agrointek*, 15(4).
- Chaerul, M., & Allia, V. (2020). Tinjauan Kritis Studi Life Cycle Assessment (LCA) di Indonesia. *Serambi Engineering*, 5(1).
- Ciroth, A., Di Noi, C., Lohse, T., & Srocka, M. (2019). *OpenLCA 1.9: Comprehensive User Manual*. Berlin: GreenDelta. Retrieved from [https://www.openlca.org/wp-content/uploads/2019/07/openLCA-1-9\\_User-Manual.pdf](https://www.openlca.org/wp-content/uploads/2019/07/openLCA-1-9_User-Manual.pdf)
- ISO. (2006). Environmental Management - Life Cycle Assessment - Principles and Framework ISO 14040. Geneva Switzerland.
- Pangestu, Idi, T. Y., & Setyawan, A. B. (2020). Pengaruh Pemberian Black Garlic terhadap Perubahan Gula Darah pada Pasien Diabetes Mellitus Tipe II di Wilayah Kerja Puskesmas Segiri Samarinda. *Borneo Student Research*, 1(3).
- Rahmawati, E., Auvaria, S.W., Nengse, S., Yusrianti, Utama, T.T. (2022). *Analysis of Global Warming Potential in Tofu Industry (Case Study: Industry X, Gresik)*. *Serambi Engineering*, Vol VII No.4, 3994-4000. DOI: <https://doi.org/10.32672/jse.v7i4.4913>
- Simanihuruk, J. (2022). *Life Cycle Assessment (LCA) untuk Analisis Energi pada Produksi Bawang Merah (Allium Ascalonicum L.) Sistem Digital Farming*. Universitas Sumatera Utara.

Zulfikar, A., & Prasetyawan, Y. (2016). Analisa Life Cycle Assessment pada Proses Produksi di UMKM Murni Mandiri, Kecamatan Ngancar, Kabupaten Kediri. *Jurnal Teknik ITS*.



## Stabilisasi Merkuri Pada Limbah Tambang Dengan Menggunakan Zeolit Alam

Wawan Budianta<sup>1\*</sup>, Arifudin Idrus<sup>2</sup>, Winarto Kurniawan<sup>3</sup>,  
Widyawanto Prastistho<sup>4</sup>

<sup>1,2</sup>Departemen Teknik Geologi, Fakultas Teknik Universitas Gadjah Mada, Yogyakarta, Indonesia

<sup>3</sup>Tokyo Institute of Technology, Japan

<sup>4</sup>Jurusan Teknik Lingkungan, Universitas Pembangunan Nasional "Veteran", Yogyakarta, Indonesia

\*[wbudianta@ugm.ac.id](mailto:wbudianta@ugm.ac.id)

---

### Abstract

Mercury contamination caused by artisanal gold mining waste would become an environmental problem if there were no remediation actions. This study aimed to investigate the ability of natural zeolite obtained from Gunungkidul Yogyakarta to stabilize mercury in mining waste or tailing. Tailing samples were obtained from three locations on Kulon Progo, Wonogiri, and Banyumas, and the natural zeolite sample was obtained from Gunungkidul, Yogyakarta. The batch experimental study was conducted to test the ability of the effectiveness of natural zeolite in stabilizing mercury in tailing. The result of the study shows that the natural zeolite used in the experimental study can be used to reduce the mercury concentration in tailing. The natural zeolite's ability for stabilization varies and depends on the initial mercury concentration in tailing and the natural zeolite dose. Keywords: stabilization, mercury, tailing, zeolite

### Abstrak

Pencemaran merkuri yang disebabkan oleh limbah tambang emas tradisional menjadi salah satu masalah lingkungan yang berdampak serius jika tidak dilakukan penanggulangan. Penelitian ini bertujuan untuk menginvestigasi kemampuan zeolit alam yang diperoleh dari Gunungkidul Yogyakarta untuk menstabilisasi merkuri yang terdapat pada limbah tambang emas tradisional atau tailing. Sampel tailing diambil dari tiga lokasi di Kulon Progo, Wonogiri dan Banyumas, sedangkan sampel zeolit alam diambil dari Gunungkidul, Yogyakarta. Percobaan batch dilakukan pada skala laboratorium untuk menguji efektifitas zeolit alam dalam menstabilisasi merkuri dalam tailing. Hasil penelitian menunjukkan bahwa zeolit alam yang digunakan dapat menurunkan konsentrasi merkuri dalam tailing. Kemampuan stabilisasi yang dimiliki oleh zeolit bervariasi tergantung pada konsentrasi awal merkuri pada tailing dan dosis zeolit alam yang ditambahkan. Kata Kunci: stabilisasi, merkuri, tailing, zeolit

---

## 1. PENDAHULUAN

Limbah tambang dari hasil pengolahan emas pada pertambangan emas yang dikenal dengan metode almagamasi, banyak menimbulkan masalah pencemaran lingkungan karena penggunaan merkuri pada proses tersebut (Loria dkk, 2022; Esdaile dkk, 2018; Arifin dkk, 2020). Di Indonesia, salah satu lokasi pertambangan emas tradisional terletak di Kulon Progo, Wonogiri dan Banyumas (Rachman dkk 2021; Yudiantoro dkk 2017; Budianta 2021). Penelitian ini bertujuan untuk mengevaluasi kemampuan zeolit alam untuk menstabilisasi merkuri pada limbah tambang atau yang dikenal dengan mana tailing. Hasil penelitian diharapkan akan

dapat memberikan informasi dan kontribusi pemanfaatan zeolit alam untuk mengurangi permasalahan lingkungan, khususnya dalam menstabilisasi merkuri yang dihasilkan pada proses almagamasi pada kegiatan pengolahan emas di pertambangan tradisional.

## 2. METODE PENELITIAN

Sampel limbah tambang atau tailing, diambil dari tiga lokasi penampungan atau kolam tailing di Kulon Progo, Wonogiri dan Banyumas. Sebanyak kurang lebih 2 kilogram sampel tailing diambil pada masing masing lokasi, kemudian ditempatkan dalam kontainer yang tertutup untuk dilakukan analisis konsentrasi merkuri pada sampel. Sampel

zeolit alam diambil dari Gunungkidul, Yogyakarta. Sebanyak kurang lebih 1 kilogram diperoleh dari lokasi dan akan digunakan sebagai material uji laboratorium. Karakterisasi mineralogi zeolit alam dilakukan dengan menggunakan *X-ray diffraction* (XRD) analisis. Zeolit alam yang diambil kemudian dihaluskan, diayak untuk mendapatkan ukuran butir 2 milimeter, kemudian dicuci dengan air murni dan dilakukan pengeringan dalam oven dengan temperatur 103 derajat celsius selama 12 jam. Sebanyak tiga sampel tailing seberat 100 gram yang diperoleh dari masing-masing lokasi yang dijelaskan sebelumnya, kemudian dicampur dengan zeolit alam yang sudah dihaluskan dan dikeringkan ke dalam wadah kontainer plastik sebanyak 20%, 30% dan 40% dari persen berat sampel.

Kemudian, 200 mililiter air murni ditambahkan dalam kontainer, dilakukan proses pencampuran dan dibiarkan selama satu bulan. Setelah satu bulan, 10 gram sampel dari masing-masing kontainer diambil dan dicampurkan ke dalam 20 mililiter air murni, kemudian diaduk selama 20 menit. Kemudian, sampel diambil dari kontainer dan disaring dengan menggunakan filter 0.45 um, dan filtrate yang dihasilkan diukur untuk konsentrasi merkuri.

Semua konsentrasi merkuri baik pada tailing maupun dari hasil percobaan ini dilakukan dengan menggunakan *Inductively Coupled Plasma Atomic Emission Spectroscopy* (ICP-AES). Sampel tailing yang akan dianalisis dilarutkan dalam aqua regia terlebih dahulu dengan proses pengadukan selama 24 jam, dan selanjutnya larutan yang dihasilkan disaring dengan menggunakan filter 0.45 um, kemudian diukur dengan ICP-AES. Prosedur analisis ICP-AES meliputi penggunaan larutan standar dan kalibrasi, merujuk pada prosedur yang dirilis oleh van de Wiel (2003).

### 3. HASIL DAN PEMBAHASAN

Konsentrasi merkuri pada sampel tailing dan komposisi mineralogi sampel zeolit dapat dilihat pada Tabel 1. Secara umum, tidak ada perbedaan yang mencolok hasil konsentrasi merkuri pada tailing yang diambil pada tiga lokasi yang dimaksud, dimana konsentrasi merkuri tersebut sangat tinggi jika dibandingkan dengan konsentrasi alamiah merkuri yang terdapat pada batuan (Jonasson dan Boyle, 1972). Hal ini disebabkan karena penambahan merkuri secara masif pada waktu proses amalgamasi dilakukan. Terlihat bahwa

konsentrasi merkuri pada sampel yang diperoleh dari Banyumas, mempunyai konsentrasi merkuri paling tinggi, hal ini diduga karena umur tailing yang diperoleh lebih muda umurnya jika dibandingkan dengan dua sampel tailing dari lokasi lainnya. Adanya proses dekomposisi dan degradasi diduga berpengaruh terhadap konsentrasi merkuri seiring dengan bertambahnya waktu, sejalan dengan hasil penelitian lain (Nyenda dkk, 2021). Komposisi mineralogi zeolit alam tersusun oleh mineral zeolite jenis klinoptilolit, namun juga dijumpai jenis mordenit dalam jumlah minor. Mineal lain seperti kuarsa, plagioklas dan mineral lempung seperti skektit dan ilit juga dijumpai. Secara teori, komposisi zeolit alam akan tersusun tidak hanya mineral zeolit saja namun akan hadir bersama dengan minerap pengotor lain seperti banyak dijelaskan oleh peneliti lain (Iijima, 1980; Alshameri dkk 2019).

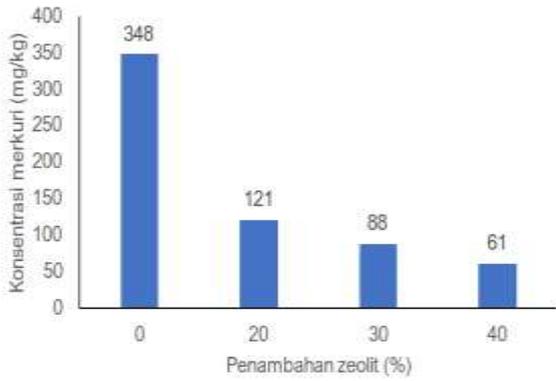
Tabel 1. Konsentrasi merkuri pada tailing dan komposisi mineralogi zeolit alam

Tailing <sup>1)</sup>	merkuri (mg/kg)
Kulon Progo	345
Wonogiri	289
Banyumas	498
Zeolit alam <sup>2)</sup>	Persentase (%)
Mordenit	25
Klinoptilolit	10
Kuarsa	4
Plagioklas	3
Lempung	13

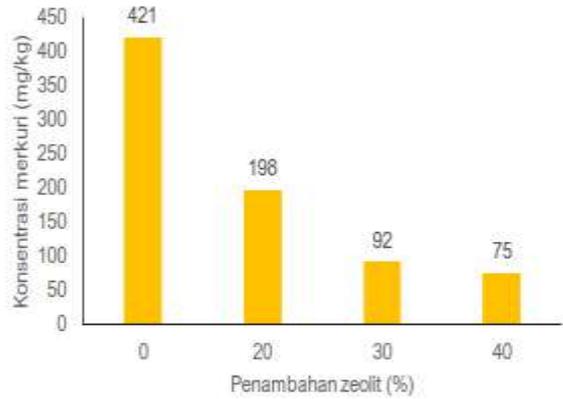
<sup>1)</sup> hasil analisis ICP-AES

<sup>2)</sup> hasil analisis XRD

Hasil percobaan laboratorium menunjukkan bahwa secara umum, terjadi penurunan konsentrasi merkuri dalam tailing setelah ditambahkan zeolit alam. Untuk tailing yang diambil dari Kulon Progo, penambahan zeolit alam sebesar 20%, 30% dan 40% akan mengurangi konsentrasi merkuri berturut turut menjadi sebesar 121, 88, dan 61 mg/kg dari konsentrasi awal sebesar 348 mg/kg seperti ditunjukkan pada Gambar 1.

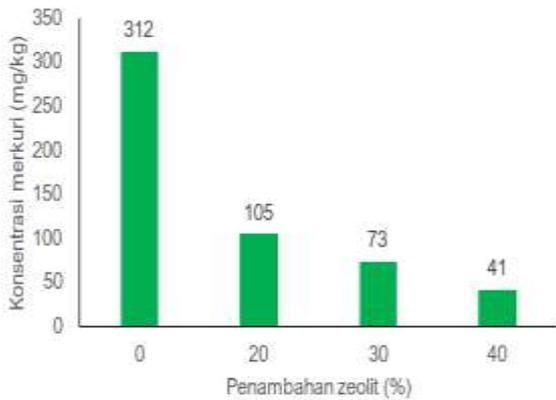


Gambar 1. Pengaruh penambahan zeolit terhadap konsentrasi merkuri pada tailing dari Kulon Progo



Gambar 3. Pengaruh penambahan zeolit terhadap konsentrasi merkuri pada tailing dari Banyumas

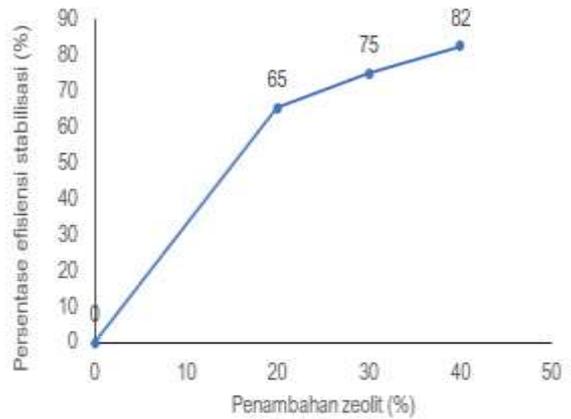
Demikian juga untuk sampel tailing yang diperoleh dari Wonogiri, dengan ditambahkan zeolit alam sebesar 20%, 30% dan 40% akan menurunkan konsentrasi merkuri dalam sampel berturut turut menjadi sebesar 105, 73, dan 41 mg/kg dari konsentrasi awal sebesar 312 mg/kg seperti ditunjukkan pada Gambar 2.



Gambar 2. Pengaruh penambahan zeolit terhadap konsentrasi merkuri pada tailing dari Wonogiri

Untuk sampel tailing yang diambil dari Banyumas, menunjukkan pola yang sama dimana dengan ditambahkan zeolit alam sebesar 20%, 30% dan 40% akan menurunkan konsentrasi merkuri dalam sampel berturut turut menjadi sebesar 198, 92 dan 75 mg/kg dari konsentrasi awal sebesar 421 mg/kg dan dapat dilihat pada Gambar 3.

Persentase efisiensi zeolit alam dalam menstabilisasi merkuri dalam tailing ditunjukkan pada Gambar 4, 5 dan 6.



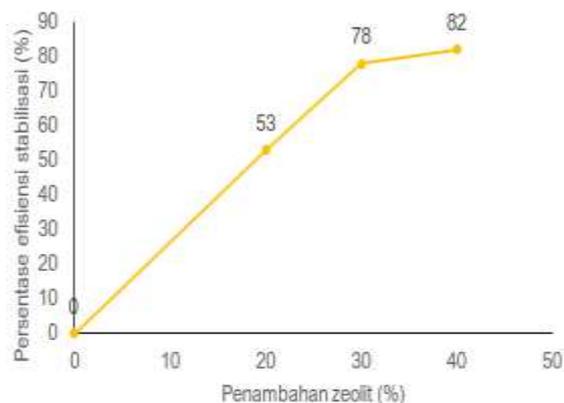
Gambar 4. Persentase efisiensi stabilisasi zeolit terhadap dosis zeolit pada tailing dari Kulon Progo

Secara umum, efisiensi stabilisasi zeolit alam mengalami peningkatan seiring dengan ditambahkan zeolit ke dalam sampel tailing.



Gambar 5. Persentasi efisiensi stabilisasi zeolit terhadap dosis zeolit pada tailing dari Wonogiri

Persentase efisiensi zeolit alam tertinggi dalam menstabilkan merkuri dalam tailing terlihat pada tailing yang diambil dari Wonogiri (Gambar 4).



Gambar 6. Persentasi efisiensi stabilisasi zeolit terhadap dosis zeolit pada tailing dari Banyumas

Hal ini menunjukkan bahwa, semakin rendah konsentrasi merkuri, maka persentase efisiensi stabilisasi zeolit alam akan meningkat, konsisten dengan hasil penelitian lain (Chojnacki dkk, 2004). Pada penelitian ini, pengaruh ini dapat ditunjukkan dari hasil percobaan pada ke-3 sampel tailing, dimana persentase efisiensi stabilisasi paling tinggi diperoleh pada sampel tailing Wonogiri (sebesar 87%) jika dibandingkan dengan dua sampel lain yaitu tailing Kulon Progo (82%) dan tailing Banyumas (82%). Hal ini diduga karena semakin tinggi konsentrasi merkuri, maka akan semakin banyak proses pertukaran ion yang harus dialami oleh mineral zeolit, dimana proses pertukaran ion ini menjadi salah satu kunci efektifitas remediasi yang dimiliki oleh mineral zeolit (Hong dkk, 2019; Tasić dkk, 2019; Morante-Carballo dkk, 2021). Adanya kandungan mineral mordenit yang cukup banyak (25%) (lihat tabel 1) dalam sampel zeolit alam yang digunakan dalam percobaan ini, memberikan kontribusi yang signifikan dalam proses pertukaran ion, karena mineral zeolit jenis mordenit mempunyai nilai kapasitas tukar kation yang tinggi jika dibandingkan dengan mineral zeolit jenis yang lain, seperti dikonfirmasi oleh peneliti lain (Gili dan Conato, 2019; Budianta dkk, 2020).

#### 4. KESIMPULAN

Dari hasil percobaan laboratorium yang telah dilakukan, maka dapat diambil kesimpulan bahwa zeolit alam yang diperoleh dari Gunungkidul, Yogyakarta dapat menurunkan konsentrasi merkuri dalam limbah tambang dengan kemampuan stabilisasi yang bervariasi tergantung pada konsentrasi awal merkuri pada tailing dan dosis zeolit alam yang ditambahkan.

#### UCAPAN TERIMA KASIH

Penulis mengucapkan terima kasih kepada JICA Project for AUN SEED Net yang telah memberikan dukungan dana penelitian. Penulis mengucapkan terima kasih kepada Tokyo Institute of Technology yang memberikan fasilitas untuk analisis sampel.

#### 5. DAFTAR PUSTAKA

- Alshameri, A., Xinghu, W., Dawood, A. S., Xin, C., Yan, C., & Assabri, A. M. (2019). Characterization of Yemeni natural zeolite (Al-Ahyuq area) and its environment applications: A review. *Journal of Ecological Engineering*, 20(4).
- Arifin, Y. I., Sakakibara, M., Takakura, S., Jahja, M., Lihawa, F., & Sera, K. (2020). Artisanal and small-scale gold mining activities and mercury exposure in Gorontalo Utara Regency, Indonesia. *Toxicological & Environmental Chemistry*, 102(10), 521-542.
- Budianta, W., Andriyani, N. D., Ardiana, A., & Warmada, I. W. (2020). Adsorption of lead and cadmium from aqueous solution by Gunungkidul zeolitic tuff, Indonesia. *Environmental Earth Sciences*, 79(8), 172.
- Budianta, W. (2021). Heavy metal pollution and mobility of sediment in Tajum River caused by artisanal gold mining in Banyumas, Central Java, Indonesia. *Environmental Science and Pollution Research*, 28(7), 8585-8593.
- Chojnacki, A., Chojnacka, K., Hoffmann, J., & Gorecki, H. (2004). The application of natural zeolites for mercury removal: from laboratory tests to industrial scale. *Minerals*

- Engineering, 17(7-8), 933-937.
- Esdaile, L. J., & Chalker, J. M. (2018). The mercury problem in artisanal and small-scale gold mining. *Chemistry-A European Journal*, 24(27), 6905-6916.
- Gili, M. B. Z., & Conato, M. T. (2019). Adsorption uptake of mordenite-type zeolites with varying Si/Al ratio on  $Zn^{2+}$  ions in aqueous solution. *Materials Research Express*, 6(4), 045508.
- Hong, M., Yu, L., Wang, Y., Zhang, J., Chen, Z., Dong, L & Li, R. (2019). Heavy metal adsorption with zeolites: The role of hierarchical pore architecture. *Chemical Engineering Journal*, 359, 363-372.
- Iijima, A. (1980). Geology of natural zeolites and zeolitic rocks. *Pure and Applied Chemistry*, 52(9), 2115-2130.
- Jonasson, I. R., & Boyle, R. W. (1972). Geochemistry of mercury and origins of natural contamination of the environment. *Canadian Mining and Metallurgical Bulletin*, 65(717).
- Loria, A., Ramos-Arroyo, Y. R., Rocha, D., Cruz-Jiménez, G., Razo-Soto, I., de la Torre, M. C. A., Wang, F. (2022). Widespread elevated concentrations of gaseous elemental mercury in Guanajuato, Mexico, centuries after historical silver refining by mercury amalgamation. *Science of the Total Environment*, 843, 157093.
- Morante-Carballo, F., Montalván-Burbano, N., Carrión-Mero, P., & Espinoza-Santos, N. (2021). Cation exchange of natural zeolites: Worldwide research. *Sustainability*, 13(14), 7751.
- Nyenda, T., Gwenzi, W., & Jacobs, S. M. (2021). Changes in physicochemical properties on a chronosequence of gold mine tailings. *Geoderma*, 395, 115037.
- Rachman, R. M., Ngii, E., & Sya'ban, A. R. (2021). Investigation of the spread of mercury in the land around the waste storage ponds in the Kulon Progo traditional gold mine. *Journal of Degraded and Mining Lands Management*, 8(4), 2911.
- Tasić, Ž. Z., Bogdanović, G. D., & Antonijević, M. M. (2019). Application of natural zeolite in wastewater treatment: A review. *Journal of Mining and Metallurgy*, 55(1), 67-79.
- van de Wiel, H. J. (2003). Determination of elements by ICP-AES and ICP-MS. National Institute of Public Health and the Environment (RIVM). Bilthoven, The Netherlands, 1-19.
- Yudiantoro, D. F., Nurcholis, M., Sayudi, D. S., Abdurrachman, M., Haty, I. P., Pambudi, W., & Subroborini, A. (2017). Mercury Distribution in the Processing of Jatiroto Gold Mine Wonogiri Central Java Indonesia. In *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*, 71, (1), p. 012023.