

Perbandingan Kualitas Air Menggunakan Parameter *Macro Invertebrates* dan Plankton pada Industri Penyedap Rasa Korea dan Jepang

Fernando Ardiansyah[✉] & Seftiawan Samsu Rijal
Universitas Brawijaya

ABSTRAK

Sungai merupakan salah satu wilayah yang harus dijaga kelestariannya, oleh karena itu, penelitian ini bertujuan mengetahui kualitas air sungai di outlet pembuangan limbah pabrik penyedap makanan dari Korea dan Jepang. Hasilnya akan menjadi perbandingan tentang siapa yang lebih mencemari lingkungan. Sampel yang diambil berupa plankton dan Makroinvertebrata (Indeks Kualitas Air) dengan metode pengambilan sampel purposive judgement sampling. Sampel diambil dengan menggunakan plankton net dan jaring biotilik. Air disaring sebanyak 15 liter yang dibagi masing-masing ke dalam 3x pengulangan di setiap outlet pabrik penyedap rasa. Hasilnya menunjukkan IKA pada PT Daesang Ingredients yaitu 1.68, PT Ajinomoto 2.25 dan PT Cheiljedang 1.75. Hal ini berbanding terbalik dengan keragaman plankton yang bernilai 2.466 pada PT Daesang Ingredients, 2.1 pada PT Ajinomoto, dan 2.233 pada PT Cheiljedang. Hal ini dikarenakan pada daerah yang tercemar ditemukan beberapa plankton yang mengindikasikan lokasi tersebut sedang tercemar. Kehadiran plankton tersebut dapat membuktikan adanya kontaminasi logam berat dan polutan lain. Plankton tersebut memiliki resistensi yang tinggi terhadap lingkungan tercemar.

Kata kunci: Plankton, Limbah, Makro invertebrata, Pabrik

Comparison of Water Quality Using Parameters of Macro Invertebrates and Plankton in Korean and Japanese Flavoring Industries

ABSTRACT

River is one of some places that must be conserved, that's why this research is about to be knowing and getting data about water quality in waste disposal pipes of three seasoning industrials from Korea and Japan. The result will be compared about which one that damaged more to our river. Sample that we take is plankton and macroinvertebrates (Water Quality Index) with purposive judgement sampling method. Sample get by filter freshwater from the outlet of industrial. Sampling using 300 mesh plankton net and biomonitoring nets. 15 litre of freshwater are filtered into 3 bottles each outlet that represent as upstream, outlet and downstream. The result is Water Quality Index are inversely proportional with plankton diversity. Each water quality index is 1.68 for PT Daesang Ingredients, 2.25 for PT Ajinomoto, and 1.75 for PT Cheiljedang. And also diversity index for plankton is 2.466 for PT Daesang Ingredients, 2.1 for PT Ajinomoto, and 2.233 for PT Cheiljedang. Its because in polluted water contains some poisonous plankton that indicating the water is contaminated with heavy metals or etc. That damned plankton has invincible resistance to polluted water, Heavy Metal contaminations and etc.

Keywords: Plankton, Pollution, Macro invertebrates, Industrials

PENDAHULUAN

Sungai merupakan salah satu sumber air yang digunakan oleh masyarakat Indonesia. Sungai memegang peranan penting dalam siklus air di daratan. 80%

wilayah laut dan sungai Indonesia tercemar oleh sampah daratan yang terbawa melalui aliran sungai (Patuwo et al., 2020). Hal ini tentu memperhatikan,

[✉] Corresponding author
Address : Jawa Timur
Email : fernandoardian1@gmail.com

mengingat kekayaan alam Indonesia pada sektor kelautan yang sangat tinggi. Oleh karena itu, maka menjaga kelestarian sungai menjadi salah satu cara yang paling efektif dalam hal menjaga kualitas laut. Sungai sendiri merupakan tempat berkumpulnya air di suatu daratan yang mengalir dari tempat tinggi ke tempat yang lebih rendah (Yogafanny, 2015).

Wilayah sungai Indonesia merupakan wilayah vital terhadap kualitas siklus air yang terjadi di wilayah Indonesia. Dimana sungai merupakan tempat berkumpulnya air dalam fase presipitasi dalam siklus hidrologi. Air sungai yang tercemar di sungai akan terus mengalir ke laut atau dimanfaatkan manusia maupun makhluk hidup lainnya dalam menjalankan kehidupan. Air yang terbawa menuju laut akan mengalami evaporasi kembali dan mengulangi siklus hidrologi dengan membawa kontaminan yang berbahaya di dalamnya. Hal ini akan menjadi penyebab degradasi kualitas air di berbagai wilayah lain.

Oleh karena itu, pemantauan atau *Monitoring* kualitas air harus dilakukan secara seksama demi menjaga dan mengetahui kondisi nyata dari kualitas air sungai di sekitar. Salah satu cara melakukan *monitoring* kualitas air yang sederhana adalah menggunakan parameter biologis yang ada pada air sungai. Parameter tersebut diantaranya adalah *macro invertebrates* (makro invertebrata) dan fitoplankton. Dengan menggunakan dua parameter biologis tersebut, dapat ditentukan tingkat pencemaran suatu wilayah sungai sehingga dapat menghasilkan data yang mampu mewakili untuk menyatakan apakah suatu sungai dapat dikatakan baik, sedang ataupun tercemar.

Kualitas air adalah suatu ukuran kelayakan guna pada suatu sampel air yang dilihat dari kondisi fisik, kimia maupun biologisnya. Kualitas air juga biasanya dapat dijadikan ukuran standar Kesehatan ekosistem air (Yogafanny, 2015). Selain itu uji kualitas air dapat dilakukan kadar kontaminasi atau pencemaran limbah organik maupun an-

organik. Jumlah atau indeks pencemaran yang ada di suatu wilayah akan selalu berbanding terbalik dengan kualitas air di suatu tempat.

Kualitas air juga dapat diartikan sebagai beberapa parameter yang dapat dinilai dari kemampuan untuk menunjang kehidupan suatu biota di lingkungan perairan (Astrid Kusumaningtyas et al., 2014). Kualitas air juga menunjukkan seberapa banyak akumulasi pencemaran yang terdapat di suatu wilayah. Ketika jumlah limbah yang terakumulasi sangat banyak atau melebihi kapasitas yang dapat ditoleransi maka kualitas air juga akan menurun dengan drastis (Bahriyah et al., 2018).

Macro invertebrates (makro invertebrata) merupakan jenis hewan yang hidup di perairan dengan ciri utama yaitu tidak memiliki tulang belakang (Meena et al., 2019). Perubahan iklim juga akan turut merubah beberapa variabel pada kualitas air, seperti keadaan pH, dan distribusi suhu. Hal ini juga akan turut mengubah pola hidup serta persebaran makro invertebrata pada perairan atau sungai (Delpla et al., 2009). Makro invertebrate cenderung terdistribusi secara horizontal sesuai dengan keadaan atau kualitas air di suatu perairan. Sungai atau danau dengan kualitas air yang baik, cenderung akan dapat menopang kehidupan ekologis dari makro invertebrate (Mehari et al., 2014).

Persebaran makro invertebrate akan cenderung tidak merata pada perairan darat. Hal ini dikarenakan tingkat adaptasi mereka yang berbeda-beda. Indikator kontaminan yang akan mempengaruhi kehidupan dan sebaran makro invertebrata yaitu kandungan atau kadar COD, BOD, Nutrien dan logam berat (Perić et al., 2018). Aktivitas antropogenik juga akan menjadi pengaruh terbesar dari kehidupan organisme air, hal ini akan menimbulkan limbah rumah tangga yang bervariasi. Ketika limbah dari pemukiman berakumulasi, maka akan membuat kualitas air terus menurun. Organisme dengan tingkat kerentanan tertentu yang tidak mampu beradaptasi

punah atau mati (Feisal et al., 2023).

Sebagai bioindikator, plankton biasa hidup di permukaan atau kolom air yang masih mendapat asupan sinar matahari. Plankton hidup dengan berkoloni di suatu lokasi. Mereka berperan sebagai produsen primer di ekosistemnya. Mereka memproduksi oksigen di wilayah perairan (Wang et al., 2021). Air sungai juga memiliki arus atau aliran, yang artinya hal ini juga akan berpengaruh terhadap sebaran plankton dan polutan. Berdasarkan persepsi ini, dapat dibentuk dan dikategorikan dengan "upstream," "outlet," dan "downstream" (Naskar et al., 2021).

Selain itu, air yang berhenti atau mengalir perlahan juga memiliki dampak yang membuat kondisi pencemaran sungai semakin buruk. Hal ini dikarenakan oleh kontaminasi polutan yang menumpuk dan membuat kondisi perairan semakin menurun, oleh karena itu dapat menyebabkan kematian masal bagi organisme seperti plankton (Rodríguez-Pérez et al., 2021).

Bioindikator merupakan salah satu cara dalam mendeteksi bagaimana kualitas air di suatu perairan. Parameter yang digunakan sebagai bioindicator adalah makhluk hidup (*bio*). Dengan melihat keberadaan makhluk hidup di suatu perairan dapat menandakan kualitas air di wilayah tersebut (Rizo-Patrón V. et al., 2013). Bioindikator dapat berupa organisme makro maupun mikro, karena organisme tersebut memiliki tingkat toleransi yang berbeda mengenai kontaminasi limbah (Dias et al., 2021).

Kebanyakan dari penelitian-penelitian terdahulu menggunakan makro invertebrate dalam melakukan pengamatan. Hal ini dikarenakan jenis makro invertebrate yang ada, memiliki ketahanan atau toleransi yang bervariasi berdasarkan spesiesnya. Pertimbangan kedua yaitu pengamatan yang relatif mudah karena dapat diamati oleh mata telanjang tanpa instrument apapun (Belal, 2019; Harguinteguy et al., 2016). Namun, tidak menutup kemungkinan bahwa mikroorganisme seperti plankton dapat

digunakan sebagai bioindikator karena rentan terhadap polutan (Prazeres et al., 2020).

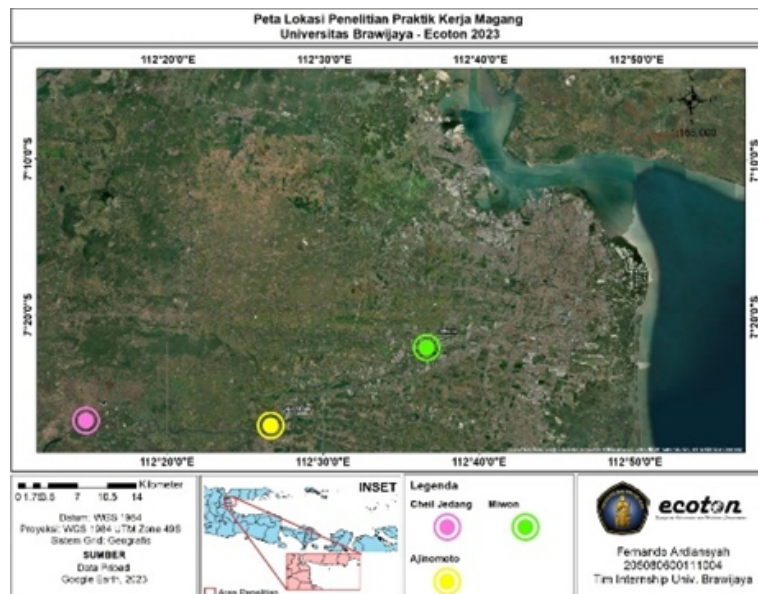
METODE PENELITIAN

Penelitian dilaksanakan dengan metode deskriptif kualitatif. Hal ini membuat hasil penelitian ini akan dipaparkan secara deskriptif mengenai gambaran kondisi mendetail kualitas air di 3 titik lokasi penelitian, yaitu PT Cheiljedang Indonesia, PT Miwon dan PT Ajinomoto. Data yang didapat merupakan keadaan dan kelimpahan plankton serta makro invertebrata yang menggambarkan keadaan kualitas air di site penelitian tersebut. Penelitian ini menggunakan teknik pengambilan data kualitatif, dimana data didapat secara langsung melalui proses penyelidikan dan dipahami secara kompleks dengan sampling secara langsung.

Penelitian ini dilaksanakan secara *cross section* atau satu set waktu dalam beberapa hari. Pengambilan data dilaksanakan pada 7-8 Maret 2023. Penelitian dan sampling dilakukan satu waktu dikarenakan waktu penelitian yang terbatas. Untuk pengambilan sampel dilakukan dengan *purposive sampling* berjenis *judgement sampling*. Hal ini dilakukan dengan pertimbangan dimana dari ketiga site penelitian tersebut akan dibagi 3 stasiun masing-masing yaitu "sebelum," "ketika," dan "setelah" pembuangan limbah. kemudian data inilah yang akan dilakukan analisis dan perbandingan kualitasnya.

analisis data yang digunakan yaitu analisis data korelatif. dimana data yang didapat (*judgement purposive sampling*) antara dua variabel (plankton dan makro invertebrata) akan dikorelasikan. korelasi dari kedua sampel ini akan menunjukkan ideks kualitas air, apakah saling berhubungan atau hanya dua variabel yang saling lepas dan tidak terikat.

Penelitian ini akan dilaksanakan dengan pengambilan sampel plankton menggunakan *Plankton Net* berukuran 300 Mesh. Volume air yang disaring yaitu sebanyak 15 Liter. Lalu penelitian dilanjut-



Sumber: Data Penelitian, (2023)

Gambar 1
Peta Lokasi Penelitian

kan dengan melakukan biomonitoring terhadap serangga air yang dapat menjadi indikator tercemarnya perairan. Untuk fase laboratorium dilakukan pengamatan plankton dengan zoom mikroskop 40x dan 100x. Setelah data didapatkan, maka akan dilanjutkan dengan uji korelasi antara indeks kualitas air dengan indeks keragaman (biodiversitas) plankton.

Penelitian ini akan berlokasi di 3 pabrik penyedap rasa yang berasal dari Korea dan Jepang, yaitu PT. Cheiljedang Indonesia, PT. Miwon dan PT. Ajinomoto. Titik lokasi pabrik penelitian ditunjukkan pada Gambar 1.

Outlet Pabrik yang menjadi *Site* penelitian berada di 3 wilayah yang berbeda. Pabrik tersebut berada di wilayah Gresik, Mojokerto dan Jombang. *Site* penelitian dipilih karena pembuangan limbah dari pabrik-pabrik tersebut mengarah ke sungai Brantas. Sungai Brantas merupakan salah satu sungai strategis di Indonesia yang dimanfaatkan masyarakat untuk memenuhi kebutuhan hidup, seperti memasak, mandi dan bahan baku air minum PDAM sehingga kualitas air nya harus senantiasa di kontrol dan berada dalam kondisi yang baik.

Alat dan Bahan yang diperlukan dalam penelitian ini diantaranya *Plankton Net*, Jaring *Biomonitoring*, lugol, botol vial dan pipet tetes. Untuk fase laboratorium di-

butuhkan Mikroskop, *Sedgewick Rafter Cell*, dan pipet tetes.

HASIL DAN PEMBAHASAN

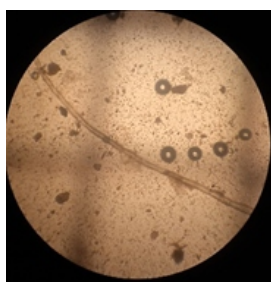
Berdasarkan Tabel 1, plankton pada PT Cheiljedang Indonesia didominasi oleh genus *Lyngbya*, *Oscillatoria* dan *Synedra*. *Oscillatoria* merupakan salah satu genus plankton yang dapat bertahan hidup pada lingkungan yang tercemar. Genus ini hidup dalam koloni-koloni berkelompok di kolom hinggapermukaanperairan. (Li et al., 2021). Genus *Oscillatoria* juga dapat mengindikasikan bahwa suatu perairan tidak memiliki kondisi yang prima dalam menunjang kehidupan ekosistem di tempat tersebut. Pasalnya, genus ini memiliki resistensi yang tinggi terhadap lingkungan yang tercemar dan memiliki kadar nutrient yang rendah. (Hariyati & Putro, 2019).

Berdasarkan Tabel 2, pada outlet PT Daesang Indonesia (Miwon), Plankton didominasi oleh genus *Lyngbya*, *Stigeoclonium* dan *Synedra*. Ketiga plankton tersebut memiliki pola yang sama dengan menurun, lalu naik kembali pada stasiun after. *Lyngbya* merupakan salah satu genus dari golongan *Cyanobacter*, berbentuk Panjang tanpa adanya cabang dan memiliki segmen-segmen di sepanjang permukaan tubuhnya. Adanya *Lyngbya*

Tabel 1
Plankton pada Outlet PT. Cheiljedang Indonesia

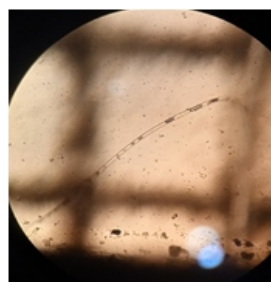
Nama	Upstream	Outlet	Downstream
<i>Chaetoceros</i>	4	4	2
<i>Chattonella</i>	1	0	1
<i>Euglena</i>	10	4	3
<i>Fragillaria</i>	3	0	3
<i>Lyngbya</i>	12	16	17
<i>Microspora</i>	1	2	2
<i>Nauplius</i>	2	0	0
<i>Oscillatoria</i>	6	9	12
<i>Pediastrum</i>	0	1	0
<i>Spirogyra</i>	3	2	0
<i>Staurastratum</i>	0	1	1
<i>Stigeoclonium</i>	6	9	7
<i>Synedra</i>	12	13	9
<i>Tabellaria</i>	4	2	4
<i>Ulothrix</i>	1	1	1

Sumber: Data Primer Diolah, (2023)



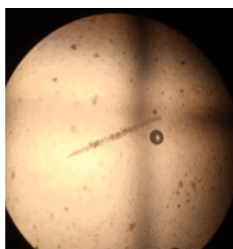
Sumber: Data Primer Diolah, (2023)

Gambar 2
Oscillatoria



Sumber: Data Primer Diolah, (2023)

Gambar 3
Lyngbya



Sumber: Data Primer Diolah, (2023)

Gambar 4
Synedra

sendiri mengindikasikan bahwa adanya lingkungan dengan kadar nutrient yang rendah (Metz et al., 2022; Narayana et al., 2020).

Begitu pula dengan genus *Synedra*. Genus ini merupakan salah satu jenis plankton permukaan yang biasa hidup di perairan oligotropik dan mesotropik (perairan dengan kadar nutrient rendah hingga menengah).

Berdasarkan Tabel 3, pada outlet

Ajinomoto, ditemukan dominasi total oleh genus *Pediastrum*. *Pediastrum* merupakan salah satu genus dari *Chlorophyta* atau Alga Hijau. Sebagai Alga Hijau, tentu saja *Pediastrum* membutuhkan kondisi habitat yang baik dan menunjang proses fotosintesisnya. Oleh karena itu, spesies ini cenderung hidup pada perairan yang memiliki kualitas air menengah hingga tinggi. (Khalil et al., 2021; Xiang et al., 2021).

Tabel 2
Plankton pada Outlet PT. Daesang International

Nama	Upstream	Outlet	Downstream
<i>Chaetoceros</i>	0	2	6
<i>Chattonella</i>	3	1	0
<i>Chroococcus</i>	1	0	0
<i>Closterium</i>	2	1	1
<i>Coscinodiscus</i>	2	0	1
<i>Daphnia</i>	1	0	0
<i>Eudorina</i>	1	0	0
<i>Euglena</i>	3	1	3
<i>Fragillaria</i>	4	3	4
<i>Lecane</i>	1	0	0
<i>Lyngbya</i>	28	23	36
<i>Microspora</i>	9	2	4
<i>Nauplius</i>	1	0	0
<i>Nephrocytium</i>	2	0	0
<i>Oscillatoria</i>	5	3	10
<i>Pediastrum</i>	2	0	1
<i>Spirogyra</i>	1	0	1
<i>Staurastrum</i>	1	0	0
<i>Stigeoclonium</i>	11	3	5
<i>Synedra</i>	16	14	16
<i>Tabellaria</i>	3	2	1
<i>Ulothrix</i>	0	7	3
<i>Collotheca</i>	0	0	1

Sumber: Data Primer Diolah, (2023)



Sumber: Data Primer Diolah, (2023)

Gambar 5
Pediastrum

Tabel 6 menunjukkan nilai sig. 0.361 pada pengujian korelasi di aplikasi SPSS. Yang artinya nilai 0.3 lebih tinggi dari alpha (0.05). Hal ini mengindikasikan bahwa adanya korelasi di antara kedua variable ini (IKA dan Keragamanjenis plankton). Dengan gambaran data pada Tabel 5, dapat dinyatakan bahwa keragaman yang ada di lapangan menunjukkan perbandingan yang terbalik dengan IKA. Hal ini dikarenakan pada wilayah dengan IKA yang rendah terdapat beberapa spesies yang menjadi indikasi pencemaran perairan, seperti adanya *daphnia* pada outlet PT Daesang. *Daphnia* sendiri merupakan salah satu genus yang hidup

pada outlet PT Daesang. *Daphnia* sendiri merupakan salah satu genus yang hidup pada perairan tercemar. *Daphnia* atau yang biasa disebut sebagai Kutu Air ini menimbulkan beberapa kondisi seperti ruam merah pada kulit, gatal-gatal hingga iritasi kepada orang yang berinteraksi secara langsung dengannya (Ma et al., 2019).

Pada stasiun pertama yakni PT Daesang Internasional sangat didominasi oleh genus *Lyngbya*. Yaitu genus yang berasal dari divisi *Cyanobacter*. *Cyanobacter* sendiri merupakan jenis plankton yang menghasilkan racun disebut *Cyanotoxins* (J. Wang et al., 2022). Jenis racun ini adalah

Tabel 3
Plankton pada Outlet PT. Ajinomoto International, Tbk.

Nama	Upstream	Outlet	Downstream
<i>Cascinodiscus</i>	1	0	0
<i>Chaetoceros</i>	3	3	5
<i>Chattonella</i>	1	0	0
<i>Closterium</i>	8	2	0
<i>Eudorina</i>	3	0	0
<i>Euglena</i>	6	4	1
<i>Fragillaria</i>	1	2	0
<i>Lyngbya</i>	1	7	1
<i>Microspora</i>	0	1	0
<i>Navicula</i>	1	5	2
<i>Oscillatoria</i>	4	2	8
<i>Pediastrum</i>	69	2	1
<i>Scenedesmus</i>	1	0	0
<i>Stigeoclonium</i>	4	1	0
<i>Synedra</i>	16	0	4
<i>Tabellaria</i>	1	1	1
<i>Ulothrix</i>	1	1	0

Sumber: Data Primer Diolah, (2023)

Tabel 4
Indeks Kualitas Air (IKA) dan Keragaman Plankton

Pabrik	IKA	Indeks Keragaman Plankton
PT Daesang International (Miwon)	1.68	2.466
PT Ajinomoto International Tbk	2.25	2.1
PT Cheiljedang Indonesia	1.75	2.233

Sumber: Data Primer Diolah, (2023)

salah satu racun yang berbahaya bagi tubuh, dapat menyebabkan gangguan pada kulit serta tubuh manusia (Poirier-Larabie et al., 2020). Kadar racun ini harus benar-benar dihindari oleh manusia yang akan menjadikan air yang terpapar racun ini sebagai air minum. Karena akan sangat berbahaya jika kandungan racun *Cyanotoxins* sampai masuk ke dalam tubuh manusia (J. Wang et al., 2022; Yeager & Carpenter, 2019).

Hal ini juga sejalan dengan adanya penurunan jumlah indikator perairan tercemar logam berat dan minim nutrisi seperti *Synedra*, *Oscillatoria* dan *Stigeoclonium*. Genus *Stigeoclonium* merupakan salah satu genus yang menandakan adanya kontaminasi logam berat pada suatu perairan. Hal tersebut dikarenakan ketahanan atau kemampuan

adaptasi makhluk ini yang sangat kuat terhadap adanya kontaminasi logam berat pada habitatnya. (Aubaeed et al., 2023).

Stigeoclonium dapat menjadi bioindikator terhadap adanya kontaminasi logam berat. Hal ini dikarenakan genus ini cenderung mengikat logam berat. Dengan adanya *Stigeoclonium* dapat menjadi indikator adanya kandungan logam berat di suatu perairan. Dengan adanya genus *Stigeoclonium*, kadar logam berat dapat ditahan dan diserap serta disimpan dalam kolom perairan. Hal ini akan meningkat seiring dengan perkembangan biomasa perairan. *Stigeoclonium* juga dapat melepaskan kembali kandungan logam berat ke dalam perairan. Selain itu, adanya genus *Oscillatoria* juga mengindikasikan adanya pencemaran. Pada daerah yang

Tabel 5
Tabel Hasil Analisis Korelasi

		IKA	IKP
IKA	Pearson Correlation	1	-.843
	Sig. (2-tailed)		.361
	N	3	3
IKP	Pearson Correlation	-.843	1
	Sig. (2-tailed)	.361	
	N	3	3

Sumber: Data Primer Diolah, (2023)



Sumber: Data Primer Diolah, (2023)

Gambar 6
Stigeoclonium

tercemar, Oscillatoria dapat membentuk densitas tinggi atau lapisan di permukaan air.

Sebaliknya, di stasiun penelitian yang memiliki indeks kualitas air tertinggi memiliki genus *Pediastrum* yang sangat tinggi pada pos "upstream." Hal ini menunjukkan bahwa kualitas air di pos tersebut sangat baik, memiliki kadar oksigen yang tinggi dan pH yang stabil serta baik untuk kelangsungan kehidupan. Namun disayangkan, di pos "outlet" dan setelah mengalami penurunan jumlah yang sangat drastis. Hal ini menunjukkan bahwa limbah yang dihasilkan masih mencemari keadaan lingkungan sekitar meskipun IKA yang didapat relatif tinggi.

SIMPULAN

Berdasarkan data yang diambil, IKA pada outlet pembuangan limbah pabrik penyedap rasa berbanding terbalik dengan keragaman plankton yang ada. Hal ini dikarenakan adanya spesies-spesies yang cenderung hidup di wilayah

Oligotropik atau daerah miskin nutrient. Pada pabrik Cheiljedang dan Miwon (Korea), didominasi dengan plankton Genus *Lyngbya* dan *Synedra*. Hal ini dikarenakan genus tersebut menunjukkan bahwa suatu perairan sedang tercemar atau setidaknya memiliki kadar kesuburan yang rendah. Bahkan genus *Lyngbya* merupakan salah satu genus dari Cyanobacter yang memiliki kandungan racun Cyanotoxins sehingga tidak memungkinkan air di wilayah tersebut untuk dikonsumsi langsung oleh manusia. Sedangkan pada pabrik Ajinomoto (Jepang), masih didominasi genus *Pediastrum* yang menurun drastis jumlahnya pada daerah pipa pembuangannya. Hal ini menunjukkan bahwa limbah dari PT Ajinomoto masih terbukti menurunkan kualitas air yang ada di wilayah tersebut.

UCAPAN TERIMAKASIH

Terimakasih kepada pihak ECOTON Foundation yang telah memfasilitasi penelitian hingga terbitnya artikel ini.

DAFTAR PUSTAKA

- Astrid Kusumaningtyas, M., Bramawanto, R., Daulat dan Widodo Pranowo Pusat Penelitian dan Pengembangan Sumberdaya Laut dan Pesisir, A. S., Penelitian dan Pengembangan Kelautan dan Perikanan, B., Kelautan dan PerikananJln Pasir Putih, K., & Timur Jakarta, A. (2014). Kualitas perairan Natuna pada musim transisi. *Depik*, 3(1), 10–20. <https://doi.org/10.13170/depik.3.1.1277>
- Aubaeed, M. A., Oda, A. M., & AL-Sultan, E. Y. A. (2023). Isolation and Classification of Green Alga *Stigeoclonium attenuatum* and Evaluation of its Ability to Prepare Zinc Oxide Nanoflakes for Methylene Blue Photodegradation by Sunlight. *Baghdad Science Journal*. <https://doi.org/10.21123/BSJ.2023.7231>
- Bahriyah, N., Laili, S., Syauqi, A., Biologi, J., Matematika, F., Ilmu, D., & Alam, P. (2018). Uji Kualitas Air Sungai Metro Kelurahan Merjosari Kecamatan Lowokwaru Kota Malang. *Jurnal Ilmiah Biosaintropis (Bioscience-Tropic)*, 3(3), 18–25. <https://doi.org/10.33474/E-JBST.V3I3.145>
- Belal, A. A. M. (2019). Macro-benthic invertebrates as a bio-indicator for water and sediment quality in Suez Bay, Red Sea. *The Egyptian Journal of Aquatic Research*, 45(2), 123–130. <https://doi.org/10.1016/J.EJAR.2019.03.003>
- Delpla, I., Jung, A. V., Baures, E., Clement, M., & Thomas, O. (2009). Impacts of climate change on surface water quality in relation to drinking water production. *Environment International*, 35(8), 1225–1233. <https://doi.org/10.1016/J.ENVINT.2009.07.001>
- Dias, R. J. P., de Souza, P. M., Rossi, M. F., Wieloch, A. H., da Silva-Neto, I. D., & D'Agosto, M. (2021). Ciliates as bioindicators of water quality: A case study in the neotropical region and evidence of phylogenetic signals (18S-rDNA). *Environmental Pollution*, 268. <https://doi.org/10.1016/J.ENVPOL.2020.115760>
- Feisal, N. A. S., Kamaludin, N. H., Abdullah Sani, M. F., Awang Ahmad, D. K., Ahmad, M. A., Abdul Razak, N. F., & Tengku Ibrahim, T. N. B. (2023). Anthropogenic disturbance of aquatic biodiversity and water quality of an urban river in Penang, Malaysia. *Water Science and Engineering*. <https://doi.org/10.1016/J.WSE.2023.01.003>
- Harguinteguy, C. A., Noelia Cofré, M., Fernández-Cirelli, A., & Luisa Pignata, M. (2016). The macrophytes *Potamogeton pusillus* L. and *Myriophyllum aquaticum* (Vell.) Verdc. as potential bioindicators of a river contaminated by heavy metals. *Microchemical Journal*, 124, 228–234. <https://doi.org/10.1016/J.MICROC.2015.08.014>
- Hariyati, R., & Putro, S. P. (2019). Bioindicator for environmental water quality based on saprobic and diversity indices of planktonic microalgae: a study case at Rawapening lake, Semarang district, Central Java, Indonesia. *Journal of Physics: Conference Series*, 1217(1), 012130. <https://doi.org/10.1088/1742-6596/1217/1/012130>
- Khalil, S., Mahnashi, M. H., Hussain, M., Zafar, N., Waqar-Un-Nisa, Khan, F. S., Afzal, U., Shah, G. M., Niazi, U. M., Awais, M., & Irfan, M. (2021). Exploration and determination of algal role as Bioindicator to evaluate water quality - Probing fresh water algae. *Saudi Journal of Biological Sciences*, 28(10), 5728–5737. <https://doi.org/10.1016/J.SJBS.2021.06.004>
- Li, H., Gu, X., Chen, H., Mao, Z., Zeng, Q., Yang, H., & Kan, K. (2021). Comparative toxicological effects of planktonic *Microcystis* and benthic *Oscillatoria* on zebrafish embryonic development: Implications for cyanobacteria risk assessment. *Environmental Pollution*, 274, 115852. <https://doi.org/10.1016/J.ENVPOL.2020.115852>

- Ma, X., Hu, W., Smilauer, P., Yin, M., & Wolinska, J. (2019). *Daphnia galeata* and *D. dentifera* are geographically and ecologically separated whereas their hybrids occur in intermediate habitats: A survey of 44 Chinese lakes. *Molecular Ecology*, 28(4), 785–802. <https://doi.org/10.1111/MEC.14991>
- Meena, D. K., Lianthuamluaia, L., Mishal, P., Swain, H. S., Naskar, B. K., Saha, S., Sandhya, K. M., Kumari, S., Tayung, T., Sarkar, U. K., & Das, B. K. (2019). Assemblage patterns and community structure of macrozoobenthos and temporal dynamics of eco-physiological indices of two wetlands, in lower gangetic plains under varying ecological regimes: A tool for wetland management. *Ecological Engineering*, 130, 1–10. <https://doi.org/10.1016/J.ECOLEN.2019.02.002>
- Mehari, A. K., Wondie, A., Mingist, M., & Vijverberg, J. (2014). Spatial and seasonal variation in the macroinvertebrates and physico-chemical parameters of the Enfranz River, Lake Tana sub-basin (Ethiopia). *Ecology & Hydrobiology*, 14(4), 304–312. <https://doi.org/10.1016/J.ECOHYD.2014.07.004>
- Metz, T. T., Putnam, S. P., Scott, G. I., & Ferry, J. L. (2022). Shoreline Drying of *Microseira* (Lyngbya) wollei Biomass Can Lead to the Release and Formation of Toxic Saxitoxin Analogues to the Water Column. *Environmental Science and Technology*, 56(23), 16866–16872. https://doi.org/10.1021/ACS.EST.2C05579/SUPPL_FILE/ES2C05579_SI_001.PDF
- Narayana, S., Tapase, S., Thamke, V., Kodam, K., & Mohanraju, R. (2020). Primary screening for the toxicity of marine cyanobacteria *Lyngbya bouillonii* (Cyanophyceae: Oscillatoriales) recorded for the first time from Indian Ocean. *Regional Studies in Marine Science*, 40, 101510. <https://doi.org/10.1016/J.RSMA.2020.101510>
- Naskar, M., Das Sarkar, S., Sahu, S. K., Gogoi, P., & Das, B. K. (2021). Impact of barge movement on phytoplankton diversity in a river: A Bayesian risk estimation framework. *Journal of Environmental Management*, 296, 113227. <https://doi.org/10.1016/J.JENVMAN.2021.113227>
- Patuwo, N. C., Pelle S, W. E., Si, M., Hermanto Manengkey, I. W., Schadu, J. N., M Si, S. I., Manembu, I. S., Edwin A Ngangi, I. L., Studi Ilmu Kelautan FPIK Unsrat Manado, P., & Studi Budidaya Perairan FPIK Unsrat Manado, P. (2020). Karakteristik Sampah Laut di Pantai Tumpaan Desa Tateli Dua Kecamatan Mandolang Kabupaten Minahasa. *Jurnal Pesisir dan Laut Tropis*, 8(1), 70–83. <https://doi.org/10.35800/JPLT.8.1.2020.27493>
- Perić, M. S., Kepčija, R. M., Miliša, M., Gottstein, S., Lajtner, J., Dragun, Z., Marijić, V. F., Krasnići, N., Ivanković, D., & Erk, M. (2018). Benthos-drift relationships as proxies for the detection of the most suitable bioindicator taxa in flowing waters – a pilot-study within a Mediterranean karst river. *Ecotoxicology and Environmental Safety*, 163, 125–135. <https://doi.org/10.1016/J.ECOENV.2018.07.068>
- Poirier-Larabie, S., Hudon, C., Poirier Richard, H. P., & Gagnon, C. (2020). Cyanotoxin release from the benthic, mat-forming cyanobacterium *Microseira* (Lyngbya) wollei in the St. Lawrence River, Canada. *Environmental Science and Pollution Research*, 27(24), 30285–30294. <https://doi.org/10.1007/S11356-020-09290-2/FIGURES/5>
- Prazeres, M., Martínez-Colón, M., & Hallock, P. (2020). Foraminifera as bioindicators of water quality: The FORAM INDEX revisited. *Environmental Pollution*, 257, 113612. <https://doi.org/10.1016/J.ENVPOL.2019.113612>
- Rizo-Patrón V., F., Kumar, A., McCoy Colton, M. B., Springer, M., & Trama, F. A. (2013). Macroinvertebrate

- communities as bioindicators of water quality in conventional and organic irrigated rice fields in Guanacaste, Costa Rica. *Ecological Indicators*, 29, 68–78. <https://doi.org/10.1016/J.ECOLIND.2012.12.013>
- Rodríguez-Pérez, H., Pannard, A., Gorzerino, C., Pellan, L., Massé, S., Bouger, G., Chorin, M., Roussel, J. M., & Piscart, C. (2021). Ecological consequences of consecutive river damming for three groups of bioindicators. *Ecological Indicators*, 131. <https://doi.org/10.1016/J.ECOLIND.2021.108103>
- Wang, C., Jia, H., Wei, J., Yang, W., Gao, Y., Liu, Q., Ge, D., & Wu, N. (2021). Phytoplankton functional groups as ecological indicators in a subtropical estuarine river delta system. *Ecological Indicators*, 126, 107651. <https://doi.org/10.1016/J.ECOLIND.2021.107651>
- Wang, J., Zhang, S., Mu, X., Hu, X., & Ma, Y. (2022). Research Characteristics on Cyanotoxins in Inland Water: Insights from Bibliometrics. *Water* 2022, Vol. 14, Page 667, 14(4), 667. <https://doi.org/10.3390/W14040667>
- Xiang, L., Huang, X., Huang, C., Chen, X., Wang, H., Chen, J., Hu, Y., Sun, M., & Xiao, Y. (2021). Pediastrum (Chlorophyceae) assemblages in surface lake sediments in China and western Mongolia and their environmental significance. *Review of Palaeobotany and Palynology*, 289. <https://doi.org/10.1016/J.REVPALBO.2021.104396>
- Yeager, N., & Carpenter, A. (2019). State approaches to addressing cyanotoxins in drinking water. *AWWA Water Science*, 1(1), e1121. <https://doi.org/10.1002/AWS2.1121>
- Yogafanny, E. (2015). Pengaruh Aktifitas Warga di Sempadan Sungai terhadap Kualitas Air Sungai Winongo. *Jurnal Sains & Teknologi Lingkungan*, 7(1), 29–40. <https://doi.org/10.20885/JSTL.VOL7.ISS1.ART3>