

---

---

## **Dampak Limbah Pabrik Kertas Terhadap Kualitas Air Kanal Mangetan Kabupaten Sidoarjo**

Dhea Maulufinah<sup>✉</sup> & Abdus Salam Junaedi  
Universitas Trunojoyo Madura

### **ABSTRAK**

*Kualitas Air Kanal Mangetan banyak mengalami perubahan akibat adanya pencemaran yang dilakukan oleh industri, salah satunya oleh pabrik kertas. Penelitian bertujuan untuk mengetahui tingkat kesehatan Kanal Mangetan melalui parameter fisika, kimia, dan biologi. Sampel air sungai diambil dari 6 stasiun yang dimulai dari hulu hingga hilir Kanal Mangetan. Analisis dilakukan dengan membandingkan air limbah pabrik kertas dengan baku mutu kualitas air sungai. Analisis parameter fisika menggunakan suhu, kekeruhan, dan TDS, untuk parameter kimia menggunakan pH, DO, besi, amonia, fosfat dan klorin. Adapun untuk parameter biologi menggunakan perhitungan indeks biotilik. Hasil untuk parameter kualitas air sungai yang berada diatas baku mutu adalah suhu, DO, kekeruhan, amonia, fosfat dan klorin, sedangkan untuk parameter yang berada di bawah baku mutu adalah pH, TDS, dan besi. Hasil TSS dan COD air limbah berada diatas baku mutu. Nilai perhitungan indeks biotilik menunjukkan bahwa Kanal Mangetan tergolong perairan yang kotor dengan tingkat pencemaran yang agak berat. Perlu adanya pengawasan dan pemeriksaan secara rutin terhadap limbah cair yang akan dibuang ke sungai.*

*Kata kunci: Kualitas Air, Biotilik, Kanal Mangetan, Sidoarjo*

The Impact of Paper Factory Waste on the Water Quality of the Mangetan Canal  
Sidoarjo Regency

### **ABSTRACT**

*The water quality of the Mangetan Canal has undergone many changes due to pollution carried out by industry, one of which is paper factories. The research aims to determine the health level of the Mangetan Canal through physical, chemical and biological parameters. River water samples were taken from 6 stations starting from upstream to downstream of the Mangetan Canal. The analysis was carried out by comparing paper factory wastewater with river water quality standards. Analysis of physical parameters uses temperature, turbidity and TDS, for chemical parameters uses pH, DO, iron, ammonia, phosphate and chlorine. As for biological parameters, biometric index calculations are used. The results for river water quality parameters that are above the quality standards are temperature, DO, turbidity, ammonia, phosphate and chlorine, while for parameters that are below the quality standards are pH, TDS and iron. The TSS and COD results of waste water are above the quality standards. The calculated value of the biotilic index shows that the Mangetan Canal is classified as dirty waters with a rather heavy level of pollution. There needs to be regular monitoring and inspection of liquid waste that will be discharged into rivers.*

*Keywords: Water Quality, Biotilik, Mangetan Canal, Sidoarjo*

### **PENDAHULUAN**

Air menjadi suatu bahan alam yang sangat dibutuhkan bagi kehidupan makhluk hidup. Diperlukan upaya pemanfaatan air untuk memenuhi kebutuhan sehari-hari. Maka dalam penggunaannya harus mem-

pertimbangkan ketersediaannya di waktu yang akan datang. Sumber mata air yang biasa digunakan manusia ataupun makhluk hidup lainnya untuk memenuhi kebutuhan hidupnya adalah air sungai.

---

<sup>✉</sup> Corresponding author  
Address : Lamongan, Jawa Timur  
Email : dheaafinah12@gmail.com

Sungai menjadi salah satu ekosistem *lotik* (perairan mengalir) memiliki fungsi sebagai tempat hidup bagi suatu organisme serta, dapat dimanfaatkan masyarakat untuk memenuhi kebutuhan sehari-hari. Trisnaini et al. (2018) menegaskan bahwa sungai menjadi salah satu pemasok air terbesar bagi kebutuhan makhluk hidup terutama bagi manusia. Pada sisi lain, tingginya aktivitas di sekitaran perairan sungai dapat memberikan pengaruh terhadap kualitas airnya, bahkan dapat menyebabkan pencemaran atau menurunnya tingkat kualitas air sungai.

Kualitas air sungai dapat dianggap mengalami penurunan ketika airnya tidak memenuhi standar penggunaan sesuai dengan keperluan yang diinginkan peruntukan air secara normal. Belladonna (2017) menyatakan, aktivitas dari adanya kegiatan industri ataupun rumah tangga memungkinkan faktor pemicu terjadinya pencemaran kualitas air. Artinya, pembuangan limbah baik limbah rumah tangga ataupun limbah industri cukup mempengaruhi terhadap kondisi dari ekosistem sungai. Dampak yang ditimbulkan dari pembuangan limbah dapat mengakibatkan air sungai menjadi kotor bahkan terjadi perubahan warna air.

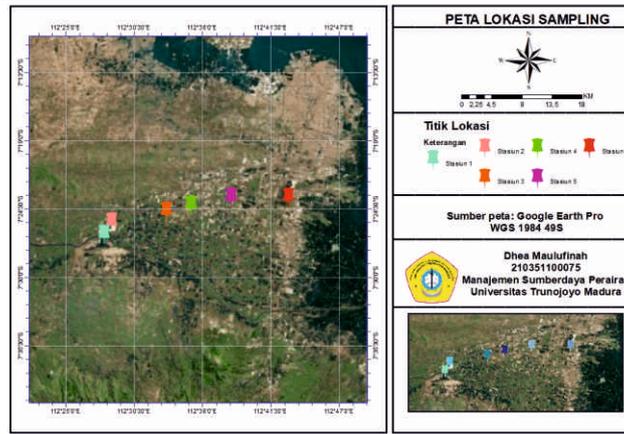
Kanal Mangetan merupakan salah satu anak sungai Daerah Aliran Sungai (DAS) Brantas yang berada di Kabupaten Sidoarjo, Provinsi Jawa Timur. Kanal ini, memiliki panjang berkisar 36,3 km dengan arus sungai yang cukup deras pada daerah hulu dan melambat pada bagian hilir. Irsanda et al. (2014) mengungkapkan tingkat parameter warna aliran Kanal Mangetan tidak memenuhi standar baku mutu perairan yang sehat dengan ciri air yang tidak jernih (berwarna kecoklatan). Hal tersebut perlu dilakukan tindakan pengelolaan sungai sebagai acuan untuk memperbaiki kondisi lingkungan sungai dengan, melibatkan penetapan kapasitas daya tampung dalam menanggulangi beban pencemaran.

Sekitar DAS Brantas memang banyak dikelilingi oleh industri-industri besar yang berpotensi menyebabkan ter-

jadinya pencemaran sungai karena pelaku perusahaan yang membuang limbah industri secara langsung ke sungai. Hal ini di dukung oleh temuan Basyaiban & Wartiningasih (2021) yang melaporkan adanya kontaminasi atau cemaran yang berasal dari industri produksi kertas dan menghasilkan limbah cair sehingga menimbulkan kerugian dan rusaknya lingkungan sungai dan juga kerugian bagi para petani karena ikan hasil budidayanya banyak yang mati.

Aliran Kanal Mangetan menjadi limpasan aliran limbah industri kertas yang secara fisik terlihat nyata dengan adanya serat kertas yang melayang-layang di air. Industri kertas yang berada di sekitaran DAS Brantas yang berada di aliran sungai Kanal Mangetan adalah PT. Tjiwi Kimia. Siswansyah & Kuntjoro (2023) menyebutkan nilai COD (*Chemical Oxygen Demand*) yang ada di aliran Kanal Mangetan sebesar 48,50 mg/ L dan masuk kategori melebihi kadar batas baku mutu COD untuk kelas II yang besarnya 25 mg/L.

Monitoring kualitas air sangat perlu dilakukan guna menilai dampak yang timbul dari berbagai aktivitas yang dilakukan manusia di sekitar sungai. Upaya pemantauan kualitas air yang umum digunakan menggunakan komponen fisika, kimia dan biologi. Namun penggunaan parameter fisika dan kimia cenderung hanya memberikan gambaran seketika dan seringkali menghasilkan data dengan tingkat interpretasi dan kisaran yang bersifat umum. Sedangkan untuk pengujian dengan menggunakan parameter biologi sangat penting karena kemampuannya dalam mengantisipasi perubahan kualitas lingkungan perairan (Trisnaini et al. 2018). Pengujian kualitas air dengan parameter biologi dapat dilakukan menggunakan metode biotilik atau menggunakan *biota makroinvertebrata* sebagai bioindikator. Kelompok biota jenis ini cenderung menetap relatif lebih lama dan mampu berfungsi sebagai indikator yang sensitif dalam mendeteksi perubahan kondisi kualitas perairan (Luthfi et al 2018).



Sumber: Data Primer Diolah, (2023)

**Gambar 1**  
**Peta Lokasi Penelitian**

Berdasarkan paparan tersebut, penelitian ini bertujuan untuk menganalisis kualitas air Kanal Mangetan untuk mengetahui tingkat kesehatan air menggunakan parameter fisika, kimia, dan biologi, serta menguji air limbah industri untuk mendukung hasil uji kualitas air sungai.

**METODE PENELITIAN**

Penelitian ini dilakukan melalui pengumpulan data primer berupa sampel air Kanal Mangetan di beberapa stasiun. Penentuan stasiun penelitian dilakukan menggunakan metode *cluster sampling*. Metode ini dilakukan dengan pengambilan sampel yang mampu merepresentasikan setiap wilayah di aliran Kanal Mangetan. Pengambilan sampel biota dan sampel air dilakukan dengan melihat serta mempertimbangkan akses pengambilan sampel. Titik koordinat lokasi pengambilan sampel dan deskripsi karakteristik sungai dari stasiun 1 sampai stasiun 6 disajikan pada Tabel 1.

Setiap stasiun pengambilan sampel air dan biota dilakukan dengan

memperhatikan arah arus air. Pengambilan sampel air untuk uji laboratorium dilakukan dengan arah yang berlawanan dengan arah arus air sungai. Pengamatan dan pengambilan sampel makroinvertebrata dari setiap stasiun diambil dari tiga titik yang mewakili daerah tepian sungai dengan jarak 5 meter per sub-stasiun. Makroinvertebrata diambil dengan jaring yang ukuran mata jaringnya 1,0 mm. Alat yang digunakan dalam penelitian baik pada saat dilapang ataupun di laboratorium ini terdiri dari pipet tetes, gelas beaker, botol sampel air, botol sampel biota, nampan, *loop*, penggaris, panduan biotilik, cawan petri, pinset, *water quality checker*, *iron checker*, *ammonia checker*, *phosphate checker*, *free chlorine checker*, *turbidity checker*, meteran, kamera, oven, desikator, corong, gelas ukur, timbangan analitik, erlenmeyer, penjepit, hot plate, labu didih, refluks, batang pengaduk, buret, labu takar, statif, dan mangnetic stirrer. Bahan-bahan yang digunakan dalam penelitian ini terdiri dari tisu, air sampel, kertas label, sarung tangan

**Tabel 1**  
**Titik Koordinat Lokasi Pengambilan Sampel**

Nama Stasiun	Titik Koordinat
Stasiun 1	7°26'34"S 112°28'08"E
Stasiun 2	7°25'35"S 112°28'40"E
Stasiun 3	7°24'44"S 112°33'05"E
Stasiun 4	7°24'15"S 112°35'09"E
Stasiun 5	7°23'36"S 112°38'21"E
Stasiun 6	7°23'35"S 112°42'59"E

Sumber: Data Primer Diolah, (2023)

akuades, biota, kertas saring,  $K_2CrO_2$ ,  $H_2SO_4$  pekat, indikator ferroin, FAS,  $HgSO_4$ , dan  $AgSO_4H_2SO_4$ . Identifikasi makroinvertebrata menggunakan buku panduan kesehatan sungai sebagaimana yang dinyatakan Rini (2011).

Pengambilan sampel air pada outlet pabrik kertas dan air Kanal Mangetan serta pengambilan sampel biota makroinvertebrata aliran Kanal Mangetan dilakukan secara in situ dan ex situ. Pengambilan sampel pada enam stasiun dilakukan dengan 3 kali pengulangan tiap stasiun. Pengamatan secara in situ dilakukan secara langsung di lapang meliputi unsur pH, TDS, suhu, DO, dan makroinvertebrata berukuran besar dan kemudian dilakukan perhitungan menggunakan indeks biotilik. Sedangkan pengukuran secara ex situ dilakukan di laboratorium meliputi pengamatan Besi (Fe), Amonia ( $NH_3$ ), Fosfat ( $PO_4$ ), Klorin (Cl), Kekeruhan, TSS, COD, dan makroinvertebrata yang berukuran kecil.

Analisis data dilakukan dengan membandingkan hasil pengukuran sampel dengan baku mutu kualitas air sungai dan limbah pabrik kertas yang telah ditetapkan. Analisis data parameter biologi meliputi analisis indeks biotilik. Rumus perhitungan indeks biotilik dan keterangan dari rumus menurut Rini (2011) adalah sebagai berikut:

$$\text{Indeks Biotilik} = \frac{\text{Jumlah Y}}{\text{Jumlah X}} \quad (1)$$

Jumlah Y adalah nilai  $t_i \times n_i$ , jumlah X adalah seluruh jumlah individu,  $T_i$  adalah skor biotilik, dan  $N_i$  adalah jumlah individu yang didapatkan. Selanjutnya, perhitungan indeks biotilik yang didapat dapat memutuskan apakah perairan tersebut termasuk kedalam kategori perairan yang tercemar atau tidak dengan pedoman ketetapan sebagaimana pada Tabel 2.

## HASIL DAN PEMBAHASAN

### Karakteristik Kualitas Air Sungai

Berdasarkan Peraturan Pemerintah Republik Indonesia Nomor 82 Tahun 2001 tentang Pengendalian Pencemaran Air Kelas II baku mutu suhu ( $22^\circ C - 28^\circ C$ ).

**Tabel 2**  
**Kategori Kualitas Air**

Indeks Biotilik	Kategori kualitas air
4,0 - 5,0	Sangat bersih, dengan tingkat pencemaran sangat ringan
2,6 - 3,0	Bersih, dengan tingkat pencemaran ringan
2,1 - 2,5	Agak bersih, dengan tingkat pencemaran sedang
1,6 - 2,0	Kotor, dengan tingkat pencemaran agak berat
1 - 1,5	Sangat kotor, dengan tingkat pencemaran berat

Sumber: Data Primer Diolah, (2023)

Peraturan Pemerintah Republik Indonesia Nomor Tahun 2021 tentang Pengolahan Kualitas Air dan Pengendalian Pencemaran Kelas II baku mutu pH (6-9), baku mutu DO (4 PPM), baku mutu TDS (1000 mg/L), baku mutu amonia (0,2 mg/L), baku mutu fosfat (0,03 mg/L), dan baku mutu klorin (0,03 mg/L), dan Peraturan Menteri Kesehatan Republik Indonesia Nomor 416 Tahun 1990 Tentang Pengawasan Kualitas Air Bersih baku mutu besi (1,0 mg/L), dan baku mutu kekeruhan (25 NTU) yang dijadikan acuan baku mutu kualitas air Kanal Mangetan. Data tersebut menjadi panduan untuk menilai kualitas air Kanal Mangetan sesuai standar baku mutu yang telah ditetapkan.

Hasil temuan kualitas air Kanal Mangetan untuk parameter fisika dan kimia dari stasiun 1 hingga stasiun 6 disajikan pada tabel 3.

Berdasarkan hasil analisis uji kualitas air Kanal Mangetan nilai pH, TDS, dan besi berada di bawah baku mutu yang telah ditetapkan. Sedangkan untuk parameter suhu, DO, kekeruhan, amonia, fosfat, dan klorin berada di atas baku mutu yang telah ditetapkan.

Nilai pH yang diperoleh dari stasiun 1 hingga stasiun 6 dengan nilai yang berkisar antara 4,4-6,89. Nilai tertinggi diperoleh pada stasiun 6 dengan nilai 6,89, sedangkan untuk nilai pH terendah terdapat pada stasiun 1 dengan nilai 4,4. Hasil pengukuran di atas menunjukkan bahwa air bersifat asam. Berdasarkan nilai pH air pada stasiun 1 yang relatif lebih rendah daripada stasiun-stasiun berikutnya itu dapat disebabkan oleh adanya air tawar yang mengalir dari

**Tabel 3**  
**Karakteristik Kualitas Air Kanal Mangetan**

No.	Parameter	Stasiun 1	Stasiun 2	Stasiun 3	Stasiun 4	Stasiun 5	Stasiun 6
1.	Ph	4,40	5,12	6,58	6,48	6,83	6,89
2.	Suhu	30,0	30,2	29,6	31,0	31,5	31,9
3.	TDS	228	268,3	99,4	350,3	302,3	313,7
4.	DO	5,8	4,74	2,6	0,34	0,63	3.12
5.	Kekeruhan	15,97	22,72	32,3	36,46	24,78	17,49
6.	Besi	0,00	0,1	0,03	0,24	0,25	0,35
7.	Amonia	3,16	3,01	4,5	0,90	0,32	0,95
8.	Fosfat	0,9	0,8	0,3	4,97	2,1	4,6
9.	Klorin	0,00	0,00	0,00	0,00	0,75	0,01

Sumber: Data Primer Diolah, (2023)

hulu sungai memiliki potensi nilai pH yang rendah (asam) hal tersebut dapat dikarena oleh adanya faktor-faktor seperti kehadiran asam organik dari proses dekomposisi bahan organik atau adanya interaksi dengan bebatuan asam -Yolanda et al. (2023).

Yang et al. (2020) menyebutkan bahwa namun tingginya kadar bahan organik yang masuk ke sungai dapat menyebabkan terbentuknya asam organik saat air mengalir ke hilir, hal tersebut dapat disebabkan oleh adanya pencampuran air tawar dari sumber lain seperti air hujan atau aliran permukaan dapat mengalir ke dalam sungai yang dapat mengurangi nilai keasaman air. Hellen et al. (2020) menyatakan bahwa pH memberikan korelasi negatif terhadap jumlah individu biota yang ada pada perairan, yang mana apabila nilai pH tinggi maka jumlah individu menjadi rendah. Nilai pH bagi biota akuatik agar bisa bertahan hidup yaitu pada kisaran pH 7-8,5. Hasil data yang diperoleh memiliki perbedaan hasil dengan penelitian yang di lakukan oleh Pratiwi dan Mirwan (2022) bahwa nilai pH yang ada di aliran Kanal Mangetan memiliki nilai 8, adanya perbedaan hasil diduga dikarenakan adanya perbedaan waktu pengambilan sampel serta perbedaan beban pencemaran baik dari limbah industri dan limbah domestik yang masuk ke perairan.

Nilai suhu yang didapat dari stasi-

un 1 hingga stasiun 6 dengan nilai yang berkisar antara 29,6°C-31,9°C. Nilai tertinggi diperoleh dari stasiun 6 dengan nilai 31,9°C dan untuk nilai terendah berada pada stasiun 3 dengan nilai 29,6°C. Tinggi rendahnya suhu mungkin disebabkan oleh intensitas sinar matahari yang menyinari air sungai, karena lokasi pengambilan sampel merupakan daerah terbuka, tidak memungkinkan sinar matahari mudah menembus ke dalam air, sehingga secara langsung mempengaruhi intensitas paparan radiasi matahari yang masuk ke dalam badan air yang kemungkinan besar akan mempengaruhi suhu air sungai.

Asrini et al. (2017) menegaskan kisaran suhu optimal untuk pertumbuhan fitoplankton di dalam air yaitu dalam kisaran 20°C-30°C. Suhu air Kanal Mangetan pada stasiun 1 hingga stasiun 3 masih dapat mendukung untuk pertumbuhan fitoplankton. Adanya tingkat perbedaan nilai suhu dapat disebabkan oleh adanya perbedaan waktu pengambilan sampel, serta dapat juga dikarenakan oleh adanya beban pencemar yang masuk ke badan sungai seperti adanya aktivitas manusia yang ada pada sekitaran aliran Kanal Mangetan. Paparan cahaya matahari semakin meningkat pada wilayah hilir, adanya pertukaran panas antara air dan udara pada wilayah hilir lebih besar sehingga dapat menyebabkan peningkatan suhu perairan.

Nilai TDS yang diperoleh dari stasiun 1 hingga stasiun 6 dengan nilai berkisar antara 99,4-350,3 mg/L. Nilai tertinggi terdapat pada stasiun 4 dengan nilai 350,3 mg/L, sedangkan untuk nilai terendah terdapat pada stasiun 3 dengan nilai 99,4 mg/L. Hasil pengukuran parameter TDS memiliki perbedaan hasil dengan penelitian yang dilakukan oleh Kifly et al. (2021) yang mana nilai TDS pada sungai Ayung Bali pada kisaran antara 583,7 mg/L, yang mana kadar TDS yang tinggi dapat disebabkan oleh banyaknya senyawa organik atau anorganik yang dapat larut dalam air. Nilai kadar TDS pada perairan sangat dipengaruhi oleh adanya pelapukan batuan, aliran tanah, dan pengaruh dari manusia. Kadar TDS relatif tinggi terdapat pada stasiun 4, hal ini dapat disebabkan oleh adanya pencampuran dengan adanya limbah hasil kegiatan aktivitas masyarakat seperti limbah perikanan, limbah rumah tangga, bahkan limbah dari industri yang dibuang ke aliran sungai. Marlinae et al. (2022) menyatakan bahwa kadar TDS yang tinggi jika tidak dikelola dapat menyebabkan pencemaran air, selain itu juga dapat mempengaruhi terhadap kehidupan biota akuatik.

Nilai DO yang didapat dari stasiun 1 hingga stasiun 6 dengan nilai yang berkisar antara 0,34-5,8 ppm. Nilai tertinggi terdapat pada stasiun 1 dengan nilai 5,8 ppm, sedangkan untuk nilai DO terendah terdapat pada stasiun 4 dengan nilai 0,34 ppm. Hasil pengukuran parameter DO memiliki perbedaan hasil dengan penelitian Asrini et al. (2017) yang mana nilai suhu Sungai Legundi Probolinggo bernilai pada kiran antara 6,95-8,86 mg/L. Perbedaan nilai DO yang diperoleh dapat dikarenakan perbedaan lokasi pengambilan sampel serta adanya perbedaan kandungan bahan organik yang masuk ke badan air kemungkinan disebabkan adanya pembuangan limbah industri atau limbah domestik ke badan air. Dilla et al. (2023) menegaskan bahwa kandungan bahan organik yang tinggi dalam air dapat menurunkan konsentrasi DO, karena DO digunakan sebagai bio-

degradasi bahan organik yang ada di dalam perairan.

Hasil data yang diperoleh memiliki perbedaan hasil dengan penelitian yang dilakukan oleh Pratiwi dan Mirwan (2022) bahwa nilai DO yang ada di aliran Kanal Mangetan memiliki nilai 4,9 mg/L adanya perbedaan hasil hal tersebut dapat dikarenakan oleh adanya tinggi rendahnya bahan organik yang terkandung di dalam perairan. Hasil pengamatan tersebut dapat disimpulkan bahwa aliran Kanal Mangetan memiliki tingkat penurunan kandungan DO perairan yang cukup signifikan hal tersebut dapat dikarenakan adanya tingkat pengendapan cukup tinggi yang diakibatkan oleh adanya bubur kertas yang ada di Kanal Mangetan yang dapat mempengaruhi nilai DO yang semakin rendah. Konsentrasi DO yang rendah dalam perairan dapat menyebabkan terganggunya ekosistem perairan yang ditandai dengan matinya ikan, perairan yang bau, bahkan adanya perubahan warna pada perairan, sedangkan nilai kadar DO yang dibutuhkan oleh makroinvertebrata untuk bisa bertahan hidup berkisar antara 1,00-3,00 mg/L.

Nilai kekeruhan yang diperoleh dari stasiun 1 hingga stasiun 6 dengan nilai yang berkisar antara 12,7-36,46 NTU. Nilai tertinggi terdapat pada stasiun 4 dengan nilai 36,46 NTU, sedangkan untuk nilai terendah terdapat pada stasiun 1 dengan nilai 12,7 NTU. Hasil pengukuran parameter kekeruhan memiliki perbedaan hasil dengan penelitian yang dilakukan oleh Asrini et al. (2017) yang menyebutkan bahwa nilai kekeruhan pada Sungai Pakerisan yang dilakukan pada daerah hulu mendapatkan nilai 0,8 NTU sedangkan untuk daerah hilir sebesar 7,6 NTU. Nilai kekeruhan yang tinggi dapat dikarenakan oleh adanya bahan tersuspensi seperti pasir, tanah liat, dan bahan organik yang dibawa oleh limbah lebih banyak. Tingginya tingkat kekeruhan maka akan berpengaruh terhadap menurunnya oksigen yang ada di dalam perairan. Tingginya nilai kekeruhan yang ada pada stasiun 2 sampai

stasiun 4 dapat disebabkan oleh adanya padatan tersuspensi yang berasal dari bahan organik pada air limbah industri yang telah tercampur oleh air sungai yang kemudian dibawa oleh arus air yang menuju aliran hilir Sungai Kanal Mangetan. Mengingat bahwasannya pada stasiun 2 nilai kekeruhan mulai mengalami peningkatan, yang mana pada stasiun 2 merupakan lokasi sesudah outlet limbah cair pabrik kertas.

Hellen et al. (2020) menyatakan bahwa tingkat kekeruhan yang tinggi dapat menghalangi sinar matahari menembus badan air, hal tersebut menjadi penghambat fotosintesis, menurunkan nilai nilai oksigen terlarut dalam air, dan dapat mempengaruhi jumlah makroinvertebrata yang ada di dalam perairan tersebut. Hasil data yang diperoleh memiliki perbedaan hasil dengan penelitian yang dilakukan oleh Suning et al. (2023) bahwa nilai kekeruhan yang ada di aliran Kanal Mangetan pada musim penghujan memiliki nilai 1,23 NTU adanya perbedaan hasil tersebut dapat dikarenakan oleh adanya perubahan waktu pengambilan sampel. Hasil pengamatan tersebut dapat disimpulkan bahwa pada saat musim kemarau nilai tingkat kekeruhan yang ada pada aliran Kanal Mangetan memiliki nilai yang cukup meningkat dibandingkan pada saat musim penghujan, hal tersebut didukung oleh adanya pengendapan bubuk kertas yang terlihat yang diakibatkan oleh limbah cair industri kertas dengan ciri-ciri limbah yang ada pada aliran Kanal Mangetan yang berupa serat-serat kertas yang melayang-layang pada air Sungai Kanal Mangetan.

Nilai besi yang didapatkan dari stasiun 1 hingga stasiun 6 dengan nilai yang kisaran antara 0-0,35 mg/L. Nilai tertinggi diperoleh pada stasiun 6 dengan nilai 0,35 dan untuk nilai besi terendah berada pada stasiun 1 dengan nilai 0 mg/L. Hasil pengukuran parameter besi memiliki perbedaan hasil dengan penelitian yang dilakukan oleh Firmansyaf et al (2013) dengan nilai 1,35-25,29 mg/L. Logam berat akan bercampur

dengan air melalui proses adsorpsi, emulsi serta pengenceran sebelum mengendap pada pada dasar perairan. Kenaikan nilai kadar besi yang dimulai pada stasiun 2 hingga 6 dapat selain diduga karena adanya aktivitas manusia yang ada disekitaran sungai namun ada juga dugaan adanya pembuangan limbah industri kertas yang mana pada stasiun 2 merupakan awal munculnya kandungan kadar besi disisi lain pada stasiun 2 tersebut merupakan lokasi setelah outlet pembuangan limbah cair pabrik kertas, dengan adanya pengaruh pasang surut dan arus sungai yang dapat menyebarkan logam berat ke hilir. Organisme akuatik yang hidup di perairan yang terkontaminasi logam berat dapat mengakumulasi logam berat dari air di jaringan tubuhnya.

Nilai amonia yang didapatkan dari stasiun 1 hingga stasiun 6 dengan nilai yang kisaran antara 0,32-4,5 mg/L. Nilai tertinggi diperoleh pada stasiun 3 dengan nilai 4,5 dan untuk nilai terendah berada pada stasiun 5 dengan nilai 0,32 mg/L. Ernawati & Restu (2015) menyatakan bahwa amonia dapat menjadi racun bagi organisme jika kadarnya melebihi nilai ambang batas maksimum. Amonia yang ada dalam air berasal dari pecahan nitrogen organik (protein dan urea) dan nitrogen anorganik yang ada di dalam air. Peningkatan konsentrasi amonia dalam air berkaitan erat dengan masuknya bahan organik yang dapat terurai secara hayati (mengandung unsur hara nitrogen ataupun tidak).

Nilai fosfat yang didapatkan dari stasiun 1 hingga stasiun 6 dengan nilai yang kisaran antara 0,3-4,97 mg/L. Nilai tertinggi diperoleh pada stasiun 4 dengan nilai 4,97 mg/L dan untuk nilai yang terendah berada pada stasiun 3 dengan nilai 0,3 mg/L. Hasil pengukuran parameter fosfat memiliki hasil yang sedikit berbeda penelitian yang dilakukan oleh Patricia et al. (2018) yang menyatakan bahwa kandungan fosfat yang ada di Sungai Ciliwung mendapatkan nilai dengan kadar fosfat sebesar 1,03-10,87 mg/L. Tingginya nilai kadar fosfat dapat

dipengaruhi oleh adanya limbah rumah tangga mengandung detergen.

Detergen dapat meningkatkan nilai kadar fosfat pada air hal tersebut dikarenakan ion fosfat merupakan salah satu komposisi penyusun detergen. Tingginya nilai kadar fosfat pada stasiun 4 hingga 6 hal tersebut dikarenakan bahwasanya pada lokasi pengamatan parameter fosfat sendiri merupakan daerah yang padat dengan kawasan pemukiman penduduk yang tidak lepas dari adanya pembuangan limbah domestik, maka dari itulah yang dapat memungkinkan bahwa nilai kadar fosfat menjadi tinggi. Kurniawan et al. (2016) menyatakan bahwa fosfat memiliki korelasi negatif terhadap keberadaan makroinvertebrata. Kandungan fosfat memiliki mempunyai hubungan berbanding terbalik dengan komposisi makroinvertebrata, kenaikan dari kandungan fosfat akan menjadikan komposisi makroinvertebrata yang meningkat.

Nilai klorin yang didapatkan dari stasiun 1 hingga stasiun 6 dengan nilai yang kisaran antara 0-0,75 mg/L. Nilai terendah berada pada stasiun 1 hingga 4 dengan nilai 0 mg/L, sedangkan untuk nilai kadar yang tertinggi diperoleh pada stasiun 5 dengan nilai 0,75 mg/L. Hasil pengukuran parameter klorin memiliki hasil yang hampir sama dengan penelitian yang dilakukan oleh Prasiwi & Wardhani (2018) bahwa nilai kadar klorin bebas pada Sungai Citarum adalah 10,3 mg/L. Tingginya kadar klorin pada perairan mungkin disebabkan karena banyaknya limbah organik yang dibuang secara langsung ke badan air sehingga akan berdampak pada lingkungan. Klorin dianggap sebagai senyawa beracun yang dapat membahayakan untuk kehidupan organisme perairan seperti adanya asam hipoklorin dan kloramin.

Karakteristik Kualitas Air Limbah Pabrik Kertas

Karakteristik kualitas air limbah pabrik kertas didasarkan pada parameter klorin, besi, kekeruhan, TSS dan COD. Pengamatan dilakukan 2 periode waktu .

yang berbeda dengan hasil disajikan pada tabel 4.

**Tabel 4**  
**Karakteristik Kualitas Air Air Limbah Pabrik Kertas dan Baku Mutu**

Tanggal	Waktu	Parameter	Baku Mutu	Hasil
29 September 2023	01:00 WIB	Klorin		0,33 Mg/L
		Besi	10 Mg/L	0,03 Mg/L
		Kekeruhan		293,7 Mg/L
	02:12 WIB	TSS	200 Mg/L	300 Mg/L
		COD	350 Mg/L	305,28 Mg/L
		Klorin		0,13 Mg/L
16 Oktober 2023	15:00 WIB	Besi	10 Mg/L	4 Mg/L
		Kekeruhan		88,7 Mg/L
		TSS	200 Mg/L	200 Mg/L
	15:00 WIB	Klorin		0,0 Mg/L
		Besi	10 Mg/L	0,19 Mg/L
		Kekeruhan		25,45 Mg/L
		TSS	200 Mg/L	200 Mg/L
		COD	350 Mg/L	547,2 Mg/L

Sumber: Data Primer Diolah, (2023)

Hasil pengukuran klorin pada limbah cair pabrik kertas memiliki nilai yang berbeda-beda. Nilai pengukuran kadar klorin tertinggi ada pada limbah yang dibuang oleh perusahaan tersebut terjadi pada waktu dini hari pukul (01:00 WIB) pada tanggal 29 September 2023. Hasil dengan nilai 0,33 mg/L hasil tersebut didapatkan dari sampel yang telah diencerkan dengan menggunakan akuades yang telah dikalikan 200, hasil pengukuran kadar klorin pada air limbah tersebut tergolong tinggi. Hasan (2006) menyatakan penggunaan klorin pada industri kertas biasanya digunakan untuk proses pemutih dan penghalus serta untuk menguatkan permukaan kertas. Maka tidak salah apabila perusahaan tersebut mempunyai limbah yang mengandung klorin. Limbah yang mengandung klorin sebelum dibuang ke sungai tanpa pengolahan terlebih dahulu dapat mencemari lingkungan. Pembuangan limbah yang mengandung klorin ke aliran sungai berpotensi mencemari sumber air dan ekosistem perairan.

Nilai hasil pengukuran besi pada limbah cair pabrik kertas memiliki nilai yang berbeda, nilai pengukuran kadar besi tertinggi ada pada limbah yang dibuang oleh perusahaan tersebut pada waktu dini hari yaitu pada pukul 02:12 WIB pada tanggal 29 September 2023 yaitu dengan nilai 4 mg/L hasil tersebut didapatkan dari sampel yang telah diencerkan dengan

menggunakan akuades yang telah dikalikan 200, hasil pengukuran kadar besi pada air limbah tersebut tergolong masih aman karena nilai tersebut masih berada di bawah nilai baku mutu yang ditetapkan oleh Kepmen LH No. 51 Tahun 1995 bahwa baku mutu untuk air limbah cair golongan II untuk industri pulp dan kertas sebesar 10 mg/L. Bahril et al. (2019) menyatakan bahwa limbah industri yang memiliki kandungan besi dapat berasal dari korosi pipa-pipa air dari industri tersebut.

Nilai hasil pengukuran kekeruhan pada limbah cair pabrik kertas memiliki nilai yang berbeda, nilai pengukuran tingkat kekeruhan tertinggi ada pada limbah yang dibuang oleh perusahaan tersebut pada waktu dini hari yaitu pada pukul 01:00 WIB pada tanggal 29 September 2023 dengan nilai 293,7 NTU hasil tersebut didapatkan dari sampel yang telah diencerkan dengan menggunakan akuades yang telah dikalikan 200, hasil pengukuran kekeruhan pada air limbah tersebut tergolong tinggi. Munandar et al. (2020) menyatakan bahwa kekeruhan air merupakan hasil dari pengaruh adanya zat pengotor dalam air limbah, yang dinilai melalui proses pengukuran berdasarkan kemampuan cahaya untuk menembus air, dan nilai kekeruhan juga dipengaruhi oleh zat padat yang masih terkandung di dalamnya sehingga kemampuan dalam menyaring berkurang. Pratiwi dan Mirwan (2022) menyatakan bahwa apabila limbah industri yang akan di buang ke sungai dengan nilai kadar kekeruhan yang tinggi maka akan menyebabkan penurunan kelimpahan pada makroinvertebrata yang hidup di sungai.

Nilai hasil pengukuran TSS pada limbah cair pabrik kertas memiliki nilai yang berbeda, nilai pengukuran parameter TSS yang tertinggi berada pada air limbah yang dibuang oleh perusahaan tersebut pada saat dini hari pukul 01:00 WIB pada tanggal 29 September 2023 yaitu dengan nilai 300 mg/L. Nilai tersebut tergolong tinggi dikarenakan melebihi

nilai baku mutu yang ditetapkan oleh Keputusan Menteri Negara Lingkungan Hidup Kep 51-/MENLH/10/1995 bahwa baku mutu air limbah cair untuk industri pulp dan kertas sebesar 200 mg/L. Gazali et al. (2013) menyatakan bahwa kandungan TSS memiliki hubungan yang signifikan antara kandungan Total Suspended Solids (TSS) dan kecerahan perairan menunjukkan bahwa analisis zat padat dalam air memiliki relevansi penting untuk penilaian komponen-komponen air, dalam konteks industri pengolahan kertas, kandungan TSS, yang mencakup serat halus, lumpur, dan bahan aditif, menjadi faktor utama dalam menentukan nilai TSS pada limbah produksi tinggi. Proses perencanaan di industri ini melibatkan pemahaman mendalam terhadap karakteristik zat padat tersuspensi, yang esensial untuk mengelola dan mengurangi dampak pencemaran air akibat limbah industri pengolahan kertas.

Nilai hasil pengukuran COD pada limbah cair pabrik kertas memiliki nilai yang berbeda, nilai pengukuran parameter COD yang tertinggi berada pada air limbah yang dibuang oleh perusahaan tersebut pada saat sore hari pukul 15:00 WIB pada tanggal 16 Oktober 2023 yaitu dengan nilai 547,2 mg/L. Nilai tersebut tergolong tinggi dikarenakan melebihi nilai baku mutu yang ditetapkan oleh Keputusan Menteri Negara Lingkungan Hidup Kep 51-/MENLH/10/1995 bahwa baku mutu air limbah cair untuk industri pulp dan kertas sebesar 350 mg/L. Sundra (2011) menyebutkan bahwa tingginya COD pada air limbah dapat disebabkan oleh tingginya kandungan bahan organik serta dapat juga dikarenakan adanya pengaruh degradasi bahan-bahan anorganik. Kandungan bahan anorganik yang tinggi dapat berasal dari limbah atau proses pencucian kertas, di mana larutan kimia yang terkandung dalam bahan pembuatan kertas tidak dapat disaring secara sempurna. Hal ini mengindikasikan bahwa tingginya kandungan bahan anorganik dalam konteks ini terkait

dengan proses pengolahan dan pemurnian bahan baku kertas, yang menghasilkan larutan yang kemudian dapat menyebabkan peningkatan konsentrasi bahan anorganik dalam limbah. Pemahaman akan sumber dan jenis bahan anorganik ini menjadi penting dalam upaya mengelola dan mengurangi dampak lingkungan dari limbah industri pengolahan kertas.

Tingginya bahan organik akan mengacu pada pertumbuhan mikroba. Nilai COD yang tinggi dari limbah pabrik kertas tersebut jika air limbahnya sampai di buang ke sungai dapat menyebabkan tingkat penurunan kadar oksigen terlarut dalam air (DO) dapat menyebabkan degradasi bahan organik oleh mikroorganisme, baik secara aerob maupun anaerob. Proses ini dapat menghasilkan komponen-komponen lain yang berpotensi merugikan bagi lingkungan, baik itu tanah maupun air.

Kondisi Kualitas Air Kanal Mangetan secara Biologi

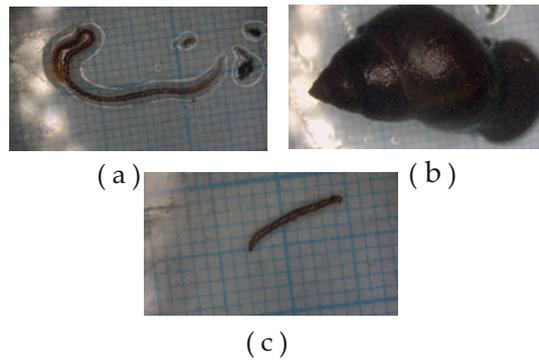
Kondisi kualitas air Kanal Mangetan berdasarkan parameter biologi diperoleh dari 6 stasiun. Analisis dilakukan pada 6 stasiun yang secara lengkap disajikan pada Tabel 5.

**Tabel 5**  
**Jenis dan Total Individu yang Didapat**

No.	Nama Spesies	Stasiun	Stasiun	Stasiun	Stasiun	Stasiun	Stasiun
		1	2	3	4	5	6
1.	Atyidae	65	125			24	129
2.	Gerridae	189	8			31	5
3.	Mesovillidae	6					1
4.	Thiaridae - B	72					
5.	Thiaridae - A	3	397	139			
6.	Parathelphusidae - B	1	3	13			1
7.	Thiaridae - A	7	15				
8.	Corixidae - B	113					
9.	Chironomidae - merah	6	43		44		
10.	Buccinidae	1	6				
11.	Tubificidae		59	150	283	421	240
12.	Viviparidae		8	288	183	18	23
13.	Coenagrionidae - B		11				
14.	Hymenosomathidae		4				
15.	Parathelphusidae - A		2				

Sumber: Data Primer Diolah, (2023)

Penelitian ini dimulai dengan pengambilan sampel makroinvertebrata menggunakan jaring vertebrata dengan ukuran mata jaring sebesar 1,0 mm. Pemantauan kualitas air sungai dengan menggunakan parameter biologi yang bertujuan untuk mencari tahu apa yang



Sumber: Data Primer Diolah, (2023)

**Gambar 2**

(a) *Tubificidae*, (b) *Viviparidae*, (c) *Chironomidae - merah*

menjadi penyebab sehingga sampai terjadi adanya pencemaran kualitas air sungai. Berdasarkan hasil pemantauan identifikasi biota yang ada di Kanal Mangetan, peneliti mendapatkan 15 jenis makroinvertebrata yang didapatkan masing-masing memiliki berbagai tingkat toleransi yang berbeda terhadap beban pencemaran yang ada pada sungai. Dari ke 15 jenis makroinvertebrata yang ditemukan oleh peneliti termasuk dalam golongan non EPT (*Ephemeroptera*, *Plecoptera*, dan *Trichoptera*). Kesesuaian temuan di lapangan menunjukkan bahwa jenis makroinvertebrata yang ditemukan tidak memiliki variasi yang signifikan dan menunjukkan sifat yang sangat toleran bahkan sangat toleran terhadap pencemaran. Selain itu, ketidakhadiran kelompok EPT (*Ephemeroptera*, *Plecoptera*, dan *Trichoptera*) sebagaimana dicatat oleh Rini (2011) juga memberikan indikasi bahwa sungai tersebut telah mengalami pencemaran.

Makroinvertebrata yang ditemukan pada stasiun 1 sebanyak 10 famili yaitu famili *Atyidae*, *Corixidae - A*, *Gerridae*, *Mesovillidae*, *Thiaridae - B*, *Parathelphusidae - B*, *Thiaridae - A*, *Corixidae - B*, *Chironomidae - merah*, dan *Buccinidae*. Makroinvertebrata yang ditemukan pada stasiun 2 sebanyak 12 famili yang diantaranya adalah *Atyidae*, *Corixidae - A*, *Thiaridae - B*, *Parathelphusidae - B*, *Thiaridae - A*, *Corixidae - B*, *Chironomidae - merah*, *Buccinidae*, *Coenagrionidae - B*, *Tubificidae*, *Viviparidae*, *Hymenosomathidae*,

dan *Parathelphusidae - A*. Jenis makroinvertebrata yang ditemukan pada stasiun 3 sebanyak 4 famili yang diantaranya adalah *Thiaridae-B*, *Parathelphusidae-B*, *Tubificidae*, dan *Viviparidae*. Makroinvertebrata yang ditemukan pada stasiun 4 sebanyak 3 famili yang diantaranya adalah *Chironimidae - merah*, *Tubificidae*, dan *Viviparidae*. Makroinvertebrata yang ditemukan pada stasiun 5 sebanyak 4 famili yang diantaranya adalah *Atyidae*, *Corixidae - A*, *Tubificidae*, dan *Viviparidae*. Makroinvertebrata yang ditemukan pada stasiun 6 sebanyak 6 famili yang diantaranya adalah *Atyidae*, *Corixidae-A*, *Gerridae*, *Parathelphusidae-B*, *Tubificidae*, dan *Viviparidae*.

Data hasil keragaman jenis makroinvertebrata yang ada di aliran Kanal Mangetan memiliki perbedaan hasil dengan penelitian yang dilakukan oleh Akbar (2021) yang menyebutkan bahwa ditemukannya jenis biota *Thiaridae* sebanyak 156, *Ampullariidae* sebanyak 73, *Unionidae* sebanyak 4, *Achatanidae* sebanyak 3, *Chironomidae* sebanyak 292, dan *Viviparidae* sebanyak 25. Dari hasil perbandingan jenis biota yang didapatkan tersebut memiliki nilai perbedaan jenis dan jumlah biota yang ditemukan. Jenis *Thiaridae* diketahui lebih meningkat pada saat penelitian kali ini yang mana kenaikannya mencapai 405, dan pada spesies *Viviparidae* mengalami kenaikan hingga 521, sedangkan untuk spesies *Chironomidae* mengalami penurunan hingga 199. Adanya perbedaan hasil data jenis biota yang didapat tersebut kemungkinan dapat dikarenakan adanya waktu pengambilan sampel yang berbeda. Zulkifli & Setiawan (2012) menyatakan bahwa terjadi adanya perbedaan jenis biota makroinvertebrata yang didapatkan dapat disebabkan oleh perubahan kondisi lingkungan, terutama akibat masuknya limbah dari industri atau rumah tangga, dapat memberikan dampak signifikan terhadap makroinvertebrata di perairan sungai. Pengaruh dari bahan organik yang terdapat di dalam air sungai dapat menimbulkan tekanan lingkungan

terhadap kelompok makroinvertebrata tertentu.

Jenis biota yang di dapat dari hulu hingga hilir sungai memiliki perbedaan jenis spesies serta perbedaan jumlah populasinya. Jenis biota yang didapat dari stasiun 1 hingga stasiun 6 cukup bervariasi. *Tubificidae* dan *Thiaridae - B* merupakan salah satu jenis famili yang paling banyak ditemukan pada aliran Kanal Mangetan. Berdasarkan penelitian Rini (2011) yang menggolongkan bahwa *Tubificidae* merupakan biota yang masuk dalam trofik yang sangat toleran terhadap pencemaran yang ada pada lingkungan hidupnya Dornfeld et al (2019) menyatakan bahwa famili tersebut memiliki ketahanan terhadap polutan seperti logam kadmium dan tembaga pada sedimen maka tidak heran jika keberadaan jenis biota ini dapat menunjukkan kualitas air yang buruk, sedangkan untuk *Thiaridae - B* tergolong biota yang toleran terhadap pencemaran.

Tingkat pencemaran perairan dapat diketahui melalui analisa indeks biotilik, yang dihitung berdasarkan kelimpahan serta tingkat toleransi yang sudah dikelompokkan berdasarkan warna yang telah di telah dilakukan oleh Rini (2011). Hasil penilaian kualitas air sungai Kanal Mangetan mendapatkan hasil atau skor rata-rata antara 1,2 hingga 2,8 yang tergolong perairan yang sangat kotor dengan pencemaran berat hingga perairan bersih dengan tingkat pencemaran yang ringan. Hasil skor penilaian kesehatan sungai Kanal Mangetan memiliki nilai yang berbeda-beda sesuai dengan titik lokasi pengambilan sampel atau setiap stasiunnya. Penilaian kualitas air sungai menggunakan metode biotilik dilakukan dengan menghitung 4 parameter biotilik, yaitu keragaman jenis famili, keragaman jenis EPT, presentase kelimpahan EPT, dan Indeks Biotilik. Nilai indeks biotilik pada setiap stasiun memiliki nilai yang berbeda untuk stasiun 1 mendapatkan nilai indeks 2,8 yang menyatakan bahwa perairan yang ada pada stasiun tersebut tergolong bersih, dengan tingkat pencemaran ringan, stasiun 2 mendapat

nilai indeks biotilik 1,9 yang mengartikan bahwa perairan pada stasiun tersebut tergolong kotor dengan pencemaran agak berat, stasiun 3 mendapatkan nilai indeks biotilik 1,7 yang mengartikan bahwa perairan yang ada pada stasiun tersebut tergolong kotor, dengan pencemaran agak berat, stasiun 4 mendapatkan nilai indeks biotilik 1,3 yang mengartikan bahwa perairan yang ada pada stasiun tersebut sangat kotor, dengan pencemaran berat, stasiun 5 mendapatkan nilai indeks biotilik 1,2 yang mengartikan bahwa perairan yang ada pada stasiun tersebut tergolong kotor, dengan pencemaran agak berat, dan untuk stasiun 6 mendapatkan nilai indeks biotilik 1,7 yang mengartikan bahwa perairan yang ada pada stasiun tersebut tergolong kotor, dengan pencemaran agak berat. Perlu adanya pengawasan dan pemeriksaan secara rutin terhadap limbah cair yang akan dibuang ke sungai, agar tidak memcemari kualitas perairan kanal Mangetan.

#### SIMPULAN

Tingkat kesehatan habitat Kanal Mangetan berdasarkan parameter fisika dan kimia menunjukkan hasil bahwa di bawah baku mutu atau diluar batas aman adalah pH dan besi. Sedangkan untuk parameter yang berada diatas baku mutu atau aman berkaitan dengan unsur suhu, DO, kekeruhan, amonia, fosfat, dan klorin. Adapun tingkat kesehatan sungai yang dinilai menggunakan parameter biologi melalui indeks biotilik tergolong perairan yang kotor dengan tingkat pencemaran yang agak berat. Kondisi ini didukung oleh temuan jenis *Tubificidae* dan *Thiaridae* - *B* yang lebih dominan ditemukan. Jenis biota tersebut merupakan biota yang hidupnya toleran bahkan sangat toleran terhadap pencemaran. Air limbah pabrik kertas menjadi salah satu faktor buruknya tingkat kualitas air Kanal Mangetan. Temuan ini juga didukung oleh pengujian kualitas air limbah yang menunjukkan nilai kadar TSS dan COD berada di atas baku mutu yang telah ditentukan.

#### UCAPAN TERIMAKASIH

Terima kasih disampaikan kepada Yayasan ECOTON yang telah memberi fasilitas berupa pendampingan dan laboratorium selama dilaksanakannya penelitian.

#### DAFTAR PUSTAKA

- Akbar. (2021). Identifikasi Jenis dan Kelimpahan Mikroplastik Air Kali Pelayaran Anak Sungai Brantas Kabupaten Sidoarjo Jawa Timur. *Environmental Pollution Journal*, 1 (3), 229-236.
- Asrini, K., Sandi Adnyana, I. W., & Rai, I. N. (2017). Studi Analisis Kualitas Air Di Daerah Aliran Sungai Pakerisan Provinsi Bali. *ECOTROPHIC : Jurnal Ilmu Lingkungan*, 11(2), 101. <https://doi.org/10.24843/ejes.2017.v11.i02.p01>
- Bahril, B., Armid, A., Jabir, J., Takwir, A., & Rahim, A. (2019). Distribusi Spasial Logam Berat Besi (Fe) di Perairan Teluk Staring, Sulawesi Tenggara. *Alchemi*, 7 (2), 30. <https://doi.org/10.18860/al.v7i2.7192>
- Belladonna, M. (2017). Analisis Tingkat Pencemaran Sungai Akibat Limbah Industri Karet Di Kabupaten Bengkulu Tengah. *Seminar Nasional Sains Dan Teknologi Fakultas Teknik Universitas Muhammadiyah Jakarta*, November, 1-2.
- Dilla, A. A., Threewasti, A., Efendi, D. S., Iqbal, M., Ramadhoni, W., Astutik, W., & Ni, C. (2023). Analisis Kualitas Air Sungai Kalibokor, Kelurahan Bratajaya, Kecamatan Gubeng, Kota Surabaya menggunakan Metode Biotilik. 1-7.
- Dornfeld, C. B., Rodgher, S., Negri, R. G., Espindola, E. L. G., & Daam, M. A. (2019). *Chironomus sancticaroli* (Diptera, Chironomidae) as a Sensitive Tropical Test Species in Laboratory Bioassays Evaluating Metals (Copper and Cadmium) and Field Testing. *Archives of Environmental Contamination and Toxicology*, 76(1), 42-50. <https://doi.org/10.1007/s00244-018-0575-1>

- Ernawati, N. M., & Restu, I. W. (2015). Kondisi Parameter Fisika Dan Kimia Perairan Teluk Benoa, Bali. *Angewandte Chemie International Edition*, 6(11), 951-952., 6(1), 25-36.
- Firmansyaf, D., Bambang, Y., dan Sri. S. (2013). Studi Kandungan Logam Berat Besi (Fe) dalam Air, Sedimen dan Jaringan Lunak Kerang Darah (*Anadara granosa* Linn) di Sungai Morosari dan Sungai Gonjol Kecamatan Sayung, Kabupaten Demak. *Journal of Marine Research*, 2(2), 45-54.
- Gazali, I., Widiatmono, B. R., & Wirosoedarmo, R. (2013). Evaluasi Dampak Pembuangan Limbah Cair Pabrik Kertas Terhadap Kualitas Air Sungai Klinter Kabupaten Nganjuk. *Jurnal Keteknikan Perairan Tropis Dan Biosistem*, 1(2), 1-8.
- Hasan, A. (2006). Dampak penggunaan klorin. *J. Tek. Lingk. P3TL-BPPT*, 7(1), 90-96. <http://ejurnal.bppt.go.id/ejurnal2011/index.php/JTL/article/view/456/472>
- Hellen, A., Rahardjo, D., & Kisworo. (2020). Komunitas Makroinvertebrata Bentik Sebagai Bioindikator Kualitas Air Sungai Code. *Prosiding Seminar Nasional Biologi Di Era Pandemi COVID-19, September, 294-303*. <http://journal.uin-alauddin.ac.id/index.php/psb/>
- Irsanda, P. G. R., Karnaningroem, N., & Bambang, D. (2014). Analisis Daya Tampung Beban Pencemaran Kali Pelayaran Kabupaten Sidoarjo Dengan. *Teknik POMITS*, 3(1), 47-52. <http://ejurnal.its.ac.id/index.php/teknik/article/view/5681/1687>
- Kholid Basyaiban, M., & Wartiningsih. (2021). Penegakan Hukum Lingkungan terhadap Pencemaran lingkungan oleh PT. Pakeirn di Kabupaten Mojokerto. *Environmental Pollution Journal*, 1(2), 119-149. <https://doi.org/10.58954/ejp.v1i2.14>
- Kifly, Tomtommy, Perwira Ima Yudha, K. I. W. D. (2021). Kandungan Padatan Teruspensi dan Padatan Terlarut pada Air di Bagian Hilir Sungai Ayung, Bali. *Aquatic Science*, IV(2), 128-132.
- Kurniawan, K., Ida, A., & Purwiyanto, A. I. S. (2016). Hubungan Nitrat, Fosfat Dan Ammonium Terhadap Keberadaan Makrozoobentos Di Perairan Muara Sungai Lumpur Kabupaten Ogan Komering Ilir Sumatera Selatan Relationship of Nitrate, Phosphate, and Ammonium To the Existence of Macrozoobenthos in Lumpur Estuary,. *Maspari Journal*, 8(51), 101-110.
- Luthfi, O. M., Citra, S. U. D., Respati, D. S., Dimas, S. A., Dimas, B. D. P., dan Firly, Y. (2018). Kelimpahan Inventarisasi di Pulau Sempu sebagai Indeks Bioindikator, Ekonomis Penting Konsumsi, dan Komoditas Koleksi Akuarium. *Journal of Fisheries and Marine Research*, 3(2), 137-148.
- Marlinae, L., Biyatmoko, D., Husaini, Irawan, C., Kahiriyati, L., Waskito, A., & Suhartono, E. (2022). Pengaruh Penerapan Tehnik Dan Metode Pengolahan Air Sederhana Berdasar Sumber Daya Lokal Dalam Penyediaan Sumber Air Untuk Pasca Banjir, Pertambangan dan Lahan Basah. *Prosiding Seminar Nasional Lingkungan Lahan Basah*, 7(1), 234. <https://snllb.ulm.ac.id/prosiding/index.php/snllb-lit/article/view/698>
- Munandar, A., Avri, V., & Hasianny, S. (2020). Daur Ulang Air Buangan Menjadi Air Baku Dengan Sistem Filtrasi Di PT P (Industri Kertas). *Media Ilmiah Teknik Lingkungan*, 5(2), 71-75. <https://doi.org/10.33084/mitl.v5i2.1395>
- Patricia, C., Astono, W., & Hendrawan, D. I. (2018). Kandungan nitrat dan fosfat di Sungai Ciliwung. *Seminar Nasional Cendekiawan Ke 4, 4*, 179-185.
- Prasiwi, I., & Wardhani, E. (2018). Analisis Hubungan Kualitas Air Terhadap Indeks Keanekaragaman Plankton dan Bentos Di Waduk Cirata. *Jurnal*

- Rekayasa Hijau*, 2 (3).  
<https://doi.org/10.26760/jrh.v2i3.2510>
- Rini. (2011). *Panduan Penilaian Kesehatan Sungai Melalui Pemeriksaan Habitat Sungai dan BIOTILIK*.
- Siswansyah Pratama, R. P., & Kuntjoro, S. (2023). Hubungan Jenis-Jenis Gastropoda dengan Parameter Fisik dan Kimia Air di Sungai Mangetan Kanal Desa Kraton, Sidoarjo. *Lentera Bio*, 12(3), 371–380. <https://journal.unesa.ac.id/index.php/lenterabio/index>
- Sundara, Ketut, I. (2011). Kualitas Air Limbah Pabrik Kertas PT. Bali Kertas Mitra Jembrana. *ECOTROPHIC : Jurnal Ilmu Lingkungan (Journal of Environmental Science)*, 6.
- Suning, Sugito, & Amirullah, A. (2023). Kualitas Sumber Air Baku Sungai Mangetan Kanal - 3 Untuk Ketersediaan Air Bersih. *Jurnal Perencanaan Dan Rekayasa Sipil*, 6(2), 126–129. <https://doi.org/10.25139/jprs.v6i2.6753>
- Trisnaini, I., Kumala Sari, T. N., & Utama, F. (2018). Identifikasi Habitat Fisik Sungai dan Keberagaman Biotilik Sebagai Indikator Pencemaran Air Sungai Musi Kota Palembang. *Jurnal Kesehatan Lingkungan Indonesia*, 17(1), 1. <https://doi.org/10.14710/jkli.17.1.1-8>
- Yang, W., Zhao, Y., Wang, D., Wu, H., Lin, A., & He, L. (2020). Using principal components analysis and idw interpolation to determine spatial and temporal changes of Surfacewater quality of Xin'Anjiang river in huangshan, china. *International Journal of Environmental Research and Public Health*, 17(8), 1–14. <https://doi.org/10.3390/ijerph17082942>
- Yolanda, Y., Mawardin, A., Komarudin, N., Risqita, E., & Ariyanti, J. A. (2023). Hubungan Antara Suhu, Salinitas, Ph, Dan Tds Di Sungai Brang Biji Sumbawa. *Jurnal Teknologi Lingkungan Lahan Basah*, 11(2), 522. <https://doi.org/10.26418/jtllb.v11i2.67133>
- Zulkifli, H., & Setiawan, D. (2012). Struktur Komunitas Makrozoobentos di Perairan Sungai Musi Kawasan Pulokerto sebagai Instrumen Biomonitoring. *Jurnal Natur Indonesia*, 14 ( 1 ) , 95 .  
<https://doi.org/10.31258/jnat.14.1.95-99>