



TESIS - RE142541

Penilaian Kualitas Air Sungai Sampean di Jawa Timur Menggunakan Metode Fisik Kimia dan *Bioassessment* dengan Makroinvertebrata

WIDYANTI YULIANDARI
03211650012019

DOSEN PEMBIMBING
Prof. Dr. Yulinah Trihadiningrum, M.AppSc.

PROGRAM MAGISTER TEKNIK LINGKUNGAN
DEPARTEMEN TEKNIK LINGKUNGAN
FAKULTAS TEKNIK SIPIL, LINGKUNGAN, DAN KEBUMIHAN
INSTITUT TEKNOLOGI SEPULUH NOPEMBER
SURABAYA
2018

Tesis disusun untuk memenuhi salah satu syarat memperoleh gelar
Magister Teknik (M.T.)

di
Institut Teknologi Sepuluh Nopember

Oleh:
Widyanti Yuliandari
NRP. 03211650012019

Tanggal Ujian: 12 Juli 2018
Periode Wisuda: September 2018

Disetujui oleh:

- 
1. **Prof. Dr. Yulinah Trihadiningrum, M.AppSc. (Pembimbing)**
NIP.19530706 198403 2 004
- 
2. **Prof. Ir. Wahyono Hadi, M.Sc, Ph.D. (Penguji)**
NIP. 19500114 197903 1 001
- 
3. **IDAA Warmadewanthi, S.T., M.T. (Penguji)**
NIP. 19750212 199903 2 001
- 
4. **Harmin Sulistiyaning Titah, S.T., M.T., (Penguji)**
Ph.D.
NIP. 19750523 200212 2 001



Penilaian Kualitas Air Sungai Sampean di Jawa Timur Menggunakan Metode Fisik Kimia dan *Bioassessment* dengan Makroinvertebrata

Nama Mahasiswa : Widyanti Yuliandari
NRP : 03211650012019
Departemen : Teknik Lingkungan
Pembimbing : Prof. Dr. Yulinah Trihadiningrum, M.AppSc

ABSTRAK

Sungai Sampean yang mengalir melalui Bondowoso dan Situbondo menerima polutan dari limbah pertanian, domestik dan industri. Penilaian kualitas air sungai merupakan salah satu hal penting dalam upaya manajemen kualitas sungai. *Bioassessment* adalah metode yang banyak digunakan di negara maju sebagai salah satu alat pengelolaan sungai, tetapi belum umum digunakan di Indonesia. Penilaian kualitas air sungai, terutama oleh lembaga pemerintah, sering dilakukan dengan metode fisik-kimia. Kedua metode ini dapat digunakan secara bersama-sama untuk mendapatkan hasil penilaian kualitas air yang lebih meyakinkan dan komprehensif. Penelitian ini bertujuan untuk menilai kualitas Sungai Sampean dengan metode fisik-kimia dan *bioassessment* menggunakan makroinvertebrata dan untuk menguji korelasi metode-metode tersebut.

Pengambilan sampel dilakukan di 10 lokasi yang mewakili 5 orde sungai dengan 2 kali ulangan. Metode fisik-kimia dilakukan menggunakan parameter: suhu, pH, COD, BOD, amonium, nitrit, nitrat, dan fosfat. Pengambilan sampel dan analisis kualitas air fisik-kimia dilakukan menurut *Standard Methods for Water and Wastewater Analysis* dan Standar Nasional Indonesia. Makroinvertebrata disampling dengan *handnet* standar (ukuran pori 500 μm), dalam waktu pengumpulan efektif 5 menit. Sampel makroinvertebrata diawetkan dengan alkohol konsentrasi 70% untuk identifikasi lebih lanjut. Penilaian kualitas air dengan metode fisik-kimia menggunakan LISEC Score dan DUTCH Score. Sedangkan penilaian kualitas air berdasarkan makroinvertebrata menggunakan beberapa indeks biotik: *Belgian Biotic Index* (BBI), *Biological Monitoring Working Party* (BMWP), BMWP yang dimodifikasi dan BMWP Thai. Hasil penilaian menggunakan metode fisik-kimia dan biologi diuji korelasi dengan *Spearman's Correlation Rank*.

Kualitas Sungai Sampean berdasarkan LISEC Score berada dalam kisaran: sangat baik hingga sedang, dan berdasarkan DUTCH Score adalah sangat baik hingga agak tercemar. Penilaian kualitas fisik sungai menunjukkan kualitas: baik hingga buruk. Sementara indeks biotik menunjukkan bahwa kualitas Sungai Sampean berada pada rentang: terdampak sedang hingga sangat tercemar berat. Indeks yang dihitung berdasarkan Chironomidae tidak dapat digunakan untuk menilai kualitas sungai karena hanya ditemukan sedikit jenis Chironomidae.

Secara statistik, BMWP Thai berkorelasi kuat dengan skor kualitas fisik. Sedangkan *Belgian Biotic Index* memiliki korelasi kuat dengan parameter DO dan

BOD serta LISEC Score dan Dutch Score. Mengacu pada hasil pengolahan data secara statistik serta mempertimbangkan cakupan taksa yang paling mirip dengan makroinvertebrata yang ditemukan di lokasi studi, BMWP Thai dan BBI dapat dipilih sebagai indeks yang digunakan dalam penilaian kualitas Sungai Sampean.

Kata kunci: *bioassessment*, penilaian kualitas air, makroinvertebrata

Water Quality Assessment of Sampean River in East Java Using Physical-Chemical Method and Bioassessment with Macroinvertebrates

By : Widyanti Yuliandari
Student Identity Number : 03211650012019
Supervisor : Prof. Dr. Yulinah Trihadiningrum, M.App.Sc

ABSTRACT

Sampean River that flows through Bondowoso and Situbondo receives pollutant from agricultural, domestic and slightly industrial waste. Bioassessment is a widely used method in developed countries as one of the of river management tool, but has not been commonly used in Indonesia. Assessment of river water quality, especially by government agencies, frequently conduct by physical-chemical methods. Both of these methods can be complementarily used together to get more convincing and comprehensive water quality assessment results. This study aims to assesst the quality of Sampean River by physical-chemical method and bioassessment using macroinvertebrates and to examine the correlation between the methods.

Sampling was conducted at 10 locations representing 5 orders of the river with 2 replications. Physical-chemical methods are carried out using parameters: temperature, pH, COD, BOD, ammonium, nitrite, nitrate, and phosphate. Sampling and analysis of physical-chemical water quality was held according to *Standard Methods for Water and Wastewater Analysis* and Indonesian National Standard. Macroinvertebrates was obtain with a standard handnet with 500 μm pore size, in effective 5-minute collection time. The macroinvertebrate samples were separated from the sediment and preserved with alcohol of 70% concentration for further identification. Water quality assessment by physical-chemical method using Dutch Score and LISEC Score. While the assessment of water quality based on macroinvertebrates use several biotic indices: Belgian Biotic Index (BBI), Biological Monitoring Working Party (BMWP), modified BMWP and BMWP Thai. Physical-chemical and biological assessment results were correlated with Spearman's Correlation Rank.

Sampean River condition based on the LISEC Score is in the range: very good to medium, and based on DUTCH Score is very good to slightly contaminated. Assessment of physical quality of the river shows the condition of the river is good” to bad. While the biotic index indicates that the Sampean River condition started from moderately impacted to very heavily polluted.

Based on Spearman’s Correlation, BMWP Thai strongly correlates with physical quality of river. While Belgian Biotic Index has strong correlation with DO, BOD, LISEC Score and Dutch Score. According to statistical method and

macroinvertebrates families similarity, BMWP Thai and BBI could be selected as an index used in the Sampean River quality assessment.

Keywords: bioassessment, water quality assessment, macroinvertebrates

Kata Pengantar

Puji dan syukur penulis panjatkan kepada Allah SWT atas segala karunia-Nya sehingga tesis ini berhasil diselesaikan. Tema yang dipilih dalam tesis ini ialah kualitas air sungai, dengan judul: Penilaian Kualitas Air Sungai Sampean di Jawa Timur Menggunakan Metode Fisik Kimia dan *Bioassessment* dengan Makroinvertebrata. Pada kesempatan ini penulis menyampaikan ucapan terima kasih dan penghargaan setinggi-tingginya kepada:

1. Ibu Prof. Dr. Yulinah Trihadiningrum, M.AppSc., selaku dosen pembimbing yang telah memberikan waktu, arahan, motivasi dan segala bentuk bimbingan terus menerus dengan penuh dedikasi dari awal perencanaan penelitian sampai selesainya tesis ini;
2. Bapak Prof. Ir. Wahyono Hadi, M.Sc, Ph.D., Ibu IDAA Warmadewanthi, S.T., M.T., Ph.D. dan Ibu Harmin Sulistiyaning Titah, S.T., M.T., Ph.D., selaku dosen penguji atas arahan, saran, dan koreksi-koreksinya untuk menambah kualitas tesis ini;
3. Rektor ITS Bapak Prof. Joni Hermana, M.Sc.Es, Ph.D., atas dukungan serta bantuan kepada penulis;
4. Dan Bapak Ir. Eddy Setiadi Soedjono, Dipl.SE, M.Sc, Ph.D., atas bantuan dan dukungan kepada penulis;
5. Bapak Adhi Yuniarto, S.T., M.T., Ph.D., selaku Ketua Departemen Teknik Lingkungan, Fakultas Teknik Sipil, Lingkungan dan Kebumihan, ITS Surabaya;
6. Ibu Dr. Ir. Ellina S Pandebesie, M.T. dan Ibu Ipung Fitri Purwanti, S.T., M.T., Ph.D., sebagai ketua dan sekretaris Program Studi Pasca Sarjana Teknik Lingkungan ITS yang telah banyak memberikan bantuan selama penulis menjalankan studi;
7. Bupati Bondowoso, Bapak Drs. H. Amin Said Husni, yang telah memberikan kesempatan kepada penulis untuk mengikuti pendidikan di Institut Teknologi Sepuluh Nopember;

8. Bapak H. Sudirman, SH, selaku kepala Dinas Lingkungan Hidup dan Perhubungan (DLHP) beserta seluruh pejabat struktural dan staf DLHP Kabupaten Bondowoso, atas segala dukungan dan bantuan selama penulis menjalani tugas belajar;
9. Bapak Wawan Setiawan, SH., MH., selaku kepala Badan Kepegawaian Daerah, dan Bapak I Nengah Suwanda, selaku Kabid Diklat beserta staf atas bantuannya berupa konsultasi, pengurusan izin hingga pelaksanaan tugas belajar oleh penulis;
10. Bapak Plt. Kepala UPT Laboratorium Lingkungan DLHP Kabupaten Bondowoso beserta seluruh staf, atas semua bantuan selama penulis melaksanakan studi, khususnya dalam pelaksanaan sampling untuk tesis ini;
11. Ibu Kepala UPT Laboratorium Lingkungan Dinas Lingkungan Hidup Kota Probolinggo beserta staf, atas bantuan pelaksanaan sampling analisis;
12. Bapak Kepala UPT Laboratorium Lingkungan Dinas Lingkungan Hidup Kabupaten Banyuwangi beserta staf, atas bantuan analisis;
13. Ibu Catur Arik Kurniawati dan Ibu Irma, beserta staf di Dinas Pekerjaan Umum SDA Provinsi Jawa Timur atas bantuan data sekunder yang diberikan.

Penulis juga menyampaikan terimakasih kepada keluarga, sahabat, serta teman-teman yang telah banyak memberi dukungan pada proses penulisan tesis ini maupun selama penulis menempuh pendidikan Magister Teknik Lingkungan:

1. Ibunda Siti Kadarwati, atas dukungan dan doa yang tak pernah putus;
2. Taufiq, S.Si, Arundaya Sairendra dan Raniah Hayatunnada, suami dan anak-anak yang telah memberikan dukungan penuh selama masa studi hingga selesai penyusunan tesis ini;
3. Rekan-rekan Mahasiswa Magister Teknik Lingkungan angkatan 2016 atas dukungan serta bantuannya selama penulis menempuh studi;

4. Founder, pengurus dan anggota Komunitas Ibu-ibu Doyan Nulis serta seluruh jaringan INDSCRIPT. Terimakasih atas dukungan dan suntikan energi yang luar biasa;
5. Teman-teman komunitas/forum/jaringan penulis, blogger dan netizen: Blogger Perempuan Network, Kumpulan Emak-emak Blogger, Komunitas BLITZ Surabaya, karena Anda studi Magister ini menjadi nyata;
6. Teman-teman terbaik: Ervin Nurhayati, Rizki Nadhirawaty, Arisandi Dwiharto dan Lisan Waskitha, dukungan kalian sungguh luar biasa.
7. Serta semua sahabat, teman, kerabat yang tidak dapat disebutkan satu-persatu namun telah memberikan bantuan yang sangat berarti hingga selesainya tesis ini.

Penulis menyadari bahwa tesis ini masih jauh dari kesempurnaan, namun demikian penulis berharap semoga dapat bermanfaat.

Surabaya, 29 Juni 2018

Widyanti Yuliandari

DAFTAR ISI

PENGESAHAN

ABSTRAK	iii
ABSTRACT	v
KATA PENGANTAR	vii
DAFTAR ISI	ix
DAFTAR TABEL	xi
DAFTAR GAMBAR	xiii

I. PENDAHULUAN

1.1.	Latar Belakang	1
1.1.	Perumusan Masalah	3
1.2.	Tujuan Penelitian	4
1.3.	Manfaat Penelitian	4
1.5	Ruang Lingkup	4

II. KAJIAN PUSTAKA DAN DASAR TEORI

2.1	Orde Sungai	5
2.2	Penilaian Kualitas Air	5
2.3	<i>River Continuum Concept</i>	9
2.4	<i>Bioassessment</i>	11
2.5	Pendekatan dalam <i>Bioassessment</i>	11
2.6	Bioindikator	13
2.7	Makroinvertebrata Sebagai Bioindikator	14
2.8	<i>Bioassessment</i> dengan Chironomidae	17
2.9	Faktor-faktor yang Mempengaruhi Ketepatan <i>Bioassessment</i>	18
2.10	Gambaran Umum Wilayah Studi	19

III.	METODE PENELITIAN	
3.1	Lokasi Penelitian	29
3.2	Variabel Penelitian	29
3.3	Tahap-tahap Penelitian	35
IV.	HASIL PENELITIAN DAN PEMBAHASAN	
4.1.	Penilaian Kualitas Sungai Berdasarkan Metode Fisik-Kimia	49
4.2.	Penilaian Kualitas Sungai Berdasarkan Metode Biologis	65
V.	KESIMPULAN DAN SARAN	
5.1	Kesimpulan	95
5.2	Saran	95
5.3	Rekomendasi	96
	DAFTAR PUSTAKA	97
	LAMPIRAN	107
	BIOGRAFI PENULIS	111

DAFTAR TABEL

Tabel 2.1	Penelitian Terdahulu Tentang <i>Bioassessment</i> dengan Makroinvertebrata	15
Tabel 2.2	Hasil Studi <i>Bioassessment</i> Terdahulu Menggunakan Chironomidae	17
Tabel 3.1	Metode Pengukuran Parameter Kimia	37
Tabel 3.2	Penilaian Kualitas Fisik Sungai	39
Tabel 3.3	Bobot Masing-masing Variabel Fisik	39
Tabel 3.4	Kualitas Sungai Berdasarkan Skor Kualitas Fisik	40
Tabel 3.5	Kelarutan Oksigen Pada Air yang Terpapar pada Udara Jenuh Air Pada Tekanan Atmosfer 101.3kPA	40
Tabel 3.6	Perhitungan LISEC Score	41
Tabel 3.7	Intepretasi LISEC Score	41
Tabel 3.8	Perhitungan Dutch Score	42
Tabel 3.9	Intepretasi Dutch Score	42
Tabel 3.10	Perhitungan Indeks <i>Biological Monitoring Working Party</i> (BMWP)	43
Tabel 3.11	Perhitungan Indeks BMWP yang Dimodifikasi	43
Tabel 3.12	Perhitungan Indeks BMWP Thai	44
Tabel 3.13	Intepretasi Indeks BMWP	45
Tabel 3.14	Perhitungan <i>Belgian Biotic Indeks</i>	46
Tabel 4.1	Hasil Pengamatan Kualitas Fisik Sungai Sampean	51
Tabel 4.2	Penilaian Kualitas Fisik Sungai Sampean	56
Tabel 4.3	Hasil Pengukuran Parameter Fisik Kimia	58
Tabel 4.4	Perhitungan LISEC Score	61
Tabel 4.5	Perhitungan DUTCH Score	62
Tabel 4.6	Perhitungan LISEC Score dengan Data Sekunder	64
Tabel 4.7	Perhitungan DUTCH Score dengan Data Sekunder	64
Tabel 4.8	Komunitas Makroinvertebrata di Lokasi Studi	65
Tabel 4.9	Perhitungan Indeks BMWP	72

Tabel 4.10	Perhitungan Indeks BMWP yang Dimodifikasi	73
Tabel 4.11	Perhitungan Indeks BMWP Thai	74
Tabel 4.12	Perhitungan Indeks BBI	77
Tabel 4.13	Perhitungan Indeks Keragaman Berdasar Chironomidae	79
Tabel 4.14	Perbandingan Hasil Penilaian Fisik-Kimia dan <i>Bioassessment</i>	80
Tabel 4.15	Korelasi Metode Fisik-Kimia dengan <i>Bioassessment</i>	88

DAFTAR GAMBAR

Gambar 2.1	Penentuan Orde Sungai dengan Metode Strahler	5
Gambar 2.2	Hubungan Longitudinal Antara Ukuran Sungai, Struktur dan Fungsi Ekologi	10
Gambar 2.3	Jenis-jenis makroinvertebrata	14
Gambar 2.4	Chironomidae	17
Gambar 2.5	Peta Wilayah Kabupaten Bondowoso	20
Gambar 2.6	Peta Wilayah Kabupaten Situbondo	21
Gambar 2.7	Grafik DO Bulan Januari-Desember di 7 Titik Sampling Sungai Sampean Tahun 2016	23
Gambar 2.8	Grafik DO Bulan Januari-Desember di 7 Titik Sampling Sungai Sampean Tahun 2017	24
Gambar 2.9	Grafik BOD Bulan Januari-Desember di 7 Titik Sampling Sungai Sampean Tahun 2016	25
Gambar 2.10	Grafik BOD Bulan Januari-Desember di 7 Titik Sampling Sungai Sampean Tahun 2017	25
Gambar 2.11	Grafik Nitrit Bulan Januari-Desember di 7 Titik Sampling Sungai Sampean Tahun 2016	26
Gambar 2.12	Grafik Nitrit Bulan Januari-Desember di 7 Titik Sampling Sungai Sampean Tahun 2017	27
Gambar 3.1	Peta Titik Sampling	31
Gambar 3.2	Peta Sumber Pencemar	33
Gambar 3.3	Alur Penelitian	35
Gambar 3.4	Pengambilan Sampel Untuk Pengukuran Parameter Kimia	36
Gambar 3.5	<i>Standard Handnet</i> untuk Sampling Makroinvertebrata	37
Gambar 4.1	Peta Komposisi Makroinvertebrata	69

BAB I

PENDAHULUAN

1.1. Latar Belakang

Sungai Sampean adalah salah satu badan air yang penting di Jawa Timur bagian timur. Sungai ini memiliki peranan cukup penting dalam kehidupan masyarakat terutama di wilayah Situbondo dan Bondowoso (Badan Pengendalian Dampak Lingkungan Provinsi Jawa Timur, 2007). Akibat penggunaan sumber daya air oleh manusia, secara global telah terjadi peningkatan tekanan terhadap sungai (Meybeck, 2003). Ini juga terjadi pada Sungai Sampean. Pemantauan bulanan sepanjang tahun 2016, menunjukkan bahwa beberapa parameter kimia: DO, BOD dan nitrit, tidak memenuhi baku mutu. Nilai BOD tertinggi yang terukur adalah 78,90 mg/l dengan baku mutu 6 mg/l. Kadar nitrit tertinggi adalah 0,702 mg/l dengan angka baku mutu 0,06 mg/l (Dinas Pengairan Provinsi Jawa Timur, 2016). Berdasarkan data hasil pemantauan oleh Badan Lingkungan Hidup Kabupaten Bondowoso tahun 2016 dan perhitungan status sungai dengan metode Storet menunjukkan status Sungai Sampean adalah cemar berat.

Pemantauan kualitas air perlu dilakukan untuk mengetahui sejauh mana tingkat pencemaran sungai serta sebagai bahan untuk perencanaan pengelolaan sungai. Di Indonesia, pemantauan air sungai lebih banyak dilakukan dengan metode fisik-kimia, sebagaimana yang tertuang dalam Peraturan Pemerintah No. 82 tahun 2001 tentang Pengelolaan Kualitas Air dan Pengendalian Pencemaran Air. Penggunaan metode biologis, hanya terbatas pada penggunaan *Escherichia coli* (Mayaningtyas, 2010). Data-data fisik, kimia dan bakteriologi air biasa dijadikan dasar pemantauan karena dapat menyediakan spektrum lengkap informasi untuk pengelolaan air yang tepat (Metcalf, 1989). Namun, data-data tersebut tidak dapat mencerminkan integrasi berbagai faktor lingkungan dan kelangsungan ekosistem sungai.

Bioassessment dengan makroinvertebrata, adalah hal yang umum dilakukan di negara-negara maju (Balderas, 2015). Metode ini memungkinkan untuk mendapatkan gambaran ekologi mengenai status aliran atau sungai saat ini

(Li *et al.*, 2010). Selain itu, *bioassessment* juga lebih ekonomis, aplikatif dan meyakinkan (Akolkar, 2008). Makroinvertebrata adalah bioindikator yang sering digunakan dalam *bioassessment*, karena keberadaannya yang cukup melimpah dan mudah ditemui. Makroinvertebrata juga relatif menetap dengan umur relatif panjang. Selain itu, prosedur sampling makroinvertebrata sudah berkembang dengan baik (Hellawel, 1986; Metcalfe, 1989).

Larva Chironomidae adalah bagian dari makroinvertebrata yang memiliki peluang untuk dijadikan sebagai bioindikator. Distribusi atau penyebarannya yang luas, jumlahnya yang melimpah, serta tingkat mortalitas yang rendah, adalah sebagian alasan yang membuat biota ini cocok untuk dijadikan bioindikator. Studi terdahulu oleh Mayaningtyas (2010) menunjukkan bahwa Chironomidae dapat menggambarkan perubahan yang terjadi pada ekosistem sepanjang sungai Ciliwung. Penggunaan Chironomidae belum banyak dilakukan di negara-negara tropis termasuk Indonesia. Padahal, Chironomidae memiliki diversitas yang sangat tinggi.

Secara umum, makroinvertebrata dipengaruhi oleh berbagai variabel fisik dan kimia. Variabel-variabel tersebut dapat bersifat sinergis maupun antagonis. Faktor fisik sungai yang berpengaruh langsung terhadap makroinvertebrata adalah oksigen terlarut, nutrient, kecepatan arus, substrat, suspended solid, penetrasi cahaya serta kesadahan (Mayaningtyas, 2010). Kekayaan makroinvertebrata akan meningkat seiring pertambahan pH, dan berkorelasi kuat dengan tutupan lumut, nitrogen total, warna air dan ukuran substrat. Keragamannya juga meningkat seiring kenaikan pH dan menurun seiring kenaikan *canopy cover*. Turbiditas juga turut mempengaruhi kehidupan makroinvertebrata. Turbiditas tinggi di perairan biasanya berkaitan dengan aktivitas pertanian, pembukaan lahan, dan adanya erosi dimana hal-hal tersebut sangat terkait dengan kondisi fisik/morfologi sungai seperti kondisi meander sungai, vegetasi tebing, vegetasi tepian, dsb.

Pemilihan pendekatan atau metode adalah hal penting dalam penerapan *bioassessment*. Indeks biotik adalah salah satu pendekatan yang umum digunakan, misalnya: *Extended Biotic Index* (EBI), *Biological Monitoring Working Party* (BMWP), ASPT (*Average Score per Taxon*) dan BBI (*Belgian Biotic Index*). Diantara indeks tersebut, BMWP dan turunannya, IBMWP, direkomendasikan

oleh Water Framework Directive dan banyak digunakan di Uni Eropa (Li *et al.*, 2010). Indeks BMWP telah diadopsi dan juga dimodifikasi untuk penggunaan secara efektif di banyak negara diantaranya: Australia (Chessman, 1995), India (De Zwart and Trivedi, 1994), Malaysia (Al Shami *et al.*, 2017), Costa Rica (Rizo-Patron V *et al.*, 2013) dan Iran (Sharifinia *et al.*, 2016). *Bioassessment* menggunakan Chironomidae, dapat menggunakan Indeks Shannon Wiener, Jumlah total taksa Chironomidae, % tiga taksa dominan dan jumlah taksa orthoclaadiinae. Indeks tersebut dipandang valid untuk menilai status gangguan ekologi pada studi terdahulu di Sungai Ciliwung (Mayaningtyas, 2010).

Menurut Resh (2007) *bioassessment* adalah metode yang sesuai untuk negara berkembang, karena tidak rumit dan tidak membutuhkan peralatan yang mahal. Namun demikian, saat ini di Indonesia penggunaannya belum sebanyak penggunaan data kualitas fisik-kimia yang telah diatur dalam regulasi. Karena itu studi ini dilakukan untuk mengkaji kualitas Sungai Sampean berdasarkan metode fisik-kimia dan *bioassessment* serta korelasi antar metode-metode tersebut. Dalam studi ini akan digunakan bioindikator berupa makroinvertebrata menggunakan beberapa indeks biotik, yaitu: *Belgian Biotic Index*, *Biological Monitoring Working Party* (BMWP), modified BMWP, BMWP Thai. Digunakan pula bioindikator berupa Chironomidae, selain data fisik-kimia berupa suhu, pH, DO, BOD, fosfat, nitrit, nitrat dan amonium.

1.2. Perumusan Masalah

Permasalahan dalam penelitian ini, adalah:

1. Bagaimana kualitas Sungai Sampean berdasarkan metode fisik-kimia?
2. Bagaimana kualitas Sungai Sampean berdasarkan metode biologis dengan bioindikator makroinvertebrata dan berdasarkan bioindikator Chironomidae?
3. Bagaimana korelasi antara kualitas fisik-kimia air dan data hasil metode biologi di Sungai Sampean?

1.3. Tujuan Penelitian

Tujuan penelitian ini adalah:

1. Mengkaji kualitas Sungai Sampean berdasarkan data fisik-kimia.
2. Mengkaji kualitas Sungai Sampean berdasarkan data biologis dengan bioindikator makroinvertebrata dan bioindikator Chironomidae.
3. Mengkaji korelasi antara metode fisik-kimia air dengan metode biologi di Sungai Sampean.

1.4. Manfaat Penelitian

Manfaat dari penelitian ini adalah, memberikan informasi kepada stakeholder yang terkait dalam pemanfaatan dan pengelolaan Sungai Sampean tentang kondisi sungai, sehingga masing-masing dapat mengambil langkah yang tepat.

1.5 Ruang Lingkup

Ruang lingkup dalam studi ini, adalah:

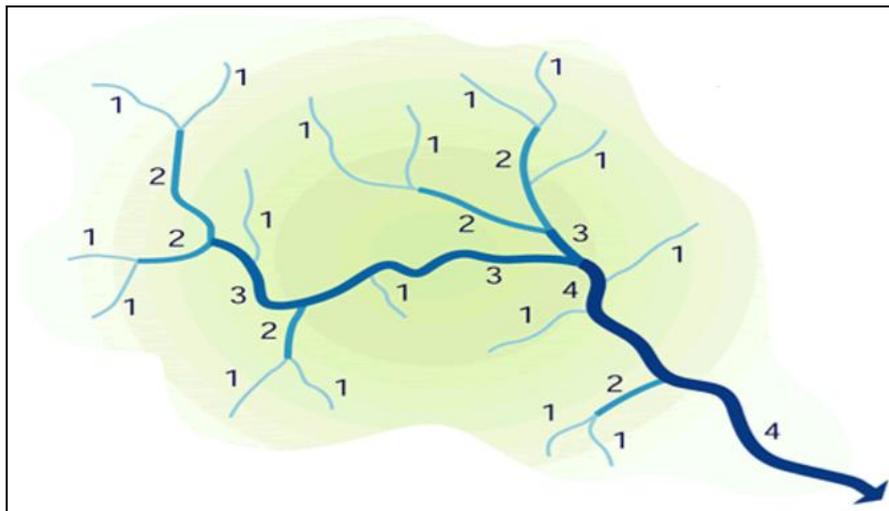
1. Lokasi studi adalah sistem Sungai Sampean dengan total 10 titik sampling.
2. Studi dilakukan dalam periode sampling terbatas yaitu minggu kedua Maret sampai minggu terakhir Mei 2018, pukul 07.00-17.00, dua kali pengulangan.
3. Penelitian dilakukan di Laboratorium Limbah Padat dan B3 Teknik Lingkungan ITS Surabaya, UPT Laboratorium Dinas Lingkungan Hidup Kab. Banyuwangi dan UPT Laboratorium Dinas Lingkungan Hidup Kota Probolinggo.
4. Metode yang digunakan yaitu metode fisik-kimiawi dengan penggunaan indeks *Dutch Score* dan *LISEC Score*. Metode biologi dengan bioindikator makroinvertebrata dengan penggunaan indeks biotik *Belgian Biotic Index*, *Biological Monitoring Working Party (BMWP)*, modified BMWP dan BMWP Thai. Metode biologi dengan bioindikator Chironomidae, menggunakan Indeks Shannon Wiener.
5. Standar baku mutu yang digunakan untuk menentukan kualitas fisik- kimia air sungai, mengacu pada Peraturan Pemerintah Republik Indonesia Nomor 82 Tahun 2001 tentang Pengelolaan Kualitas Air.

BAB 2

TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Orde Sungai

Orde sungai adalah posisi percabangan alur sungai di dalam urutannya terhadap induk sungai pada suatu Daerah Aliran Sungai. Semakin banyak jumlah orde sungai, semakin luas dan semakin panjang pula alur sungainya. Salah satu metode penetapan orde sungai adalah dengan metode Strahler. Berdasarkan metode Strahler, alur sungai paling hulu yang tidak mempunyai cabang lagi disebut dengan orde pertama (orde 1). Pertemuan antara orde pertama disebut orde kedua (orde 2). Pertemuan antara orde kedua disebut orde ketiga (orde 3) demikian seterusnya seperti pada Gambar 2.1.



Gambar 2.1 Penentuan Orde Sungai dengan Metode Strahler

Sumber: Rahayu *et al.*, 2009.

2.2 Penilaian Kualitas Air

Kualitas air dapat diketahui nilainya dengan mengukur variabel fisika, kimia dan biologi. Klasifikasi dan kriteria kualitas air di Indonesia diatur dalam Peraturan Pemerintah No. 82 Tahun 2001. Berdasarkan Peraturan Pemerintah tersebut, kualitas air digolongkan menjadi empat kelas yaitu:

- Kelas I : dapat digunakan sebagai air minum atau untuk keperluan konsumsi lainnya
- Kelas II : dapat digunakan untuk prasarana/sarana rekreasi air, pembudidayaan ikan air tawar, peternakan dan mengairi tanaman
- Kelas III : dapat digunakan untuk pembudidayaan ikan air tawar, peternakan dan mengairi tanaman
- Kelas IV : dapat digunakan untuk mengairi tanaman III

Metode fisik-kimia sering digunakan dalam pemantauan kualitas air karena metode ini memiliki beberapa kelebihan, antara lain:

- Secara langsung dapat menunjukkan jenis bahan pencemar yang menyebabkan penurunan kualitas air
- Hasil pengukuran berupa nilai kuantitatif yang mudah dibandingkan dengan nilai baku mutu sehingga dapat menunjukkan tingkat pencemaran yang terjadi

Namun demikian, penggunaan metode kimia juga memiliki keterbatasan yaitu:

- Memerlukan biaya yang relatif mahal dan harus dilakukan di laboratorium
- Hasil pengukuran bersifat sesaat, karena hanya mewakili saat pengambilan contoh saja. Karena itu, pengukuran harus dilakukan secara berulang-ulang dalam seri waktu.

Beberapa variabel fisik dan kimia yang biasa digunakan untuk mengukur kualitas air, diantaranya adalah:

a. Suhu

Suhu air adalah salah satu faktor penting dalam berbagai proses kimia yang terjadi di air juga bagi keberlangsungan proses biologi di dalam air. Suhu mempengaruhi kandungan oksigen di dalam air, proses fotosintesis tumbuhan air, laju metabolisme organisme air juga kepekaan organisme

terhadap polusi, parasit dan penyakit. Pada kondisi air yang hangat, kapasitas oksigen terlarut menjadi berkurang (Rahayu *et al.*, 2009; Darmono 2010).

b. Kekeruhan

Kekeruhan dapat disebabkan oleh berbagai material baik koloid maupun dispersi kasar, tergantung pada tingkat turbulensi di sungai. Selama banjir *top soil* akan tergerus dalam jumlah besar dan terbawa sampai ke sungai. Dalam kondisi ini, material anorganik lebih dominan menjadi penyebab kekeruhan daripada material organik (Sawyer *et al.*, 1994). Apabila kondisi air sungai semakin keruh, maka cahaya matahari yang masuk ke permukaan air berkurang dan mengakibatkan menurunnya proses fotosintesis oleh tumbuhan air.

c. *Total Dissolved Solid dan Total Suspended Solid*

Suspended solid (SS) adalah padatan yang menyebabkan kekeruhan air, tidak terlarut, dan tidak dapat mengendap langsung. *Suspended solid* terdiri atas lumpur dan pasir halus serta jasad-jasad renik terutama yang disebabkan oleh kikisan tanah atau erosi yang terbawa ke badan air. Masuknya padatan tersuspensi ke dalam perairan dapat menyebabkan menurunnya laju fotosintesis fitoplankton (Fardiaz , 1992 dan Kristanto, 2002).

d. pH

Derajat keasaman atau pH digunakan untuk menyatakan aktivitas ion hidrogen yang ada dalam air (Sawyer *et al.*, 1994). Skala pH berkisar antara 0-14, dengan kisaran sebagai berikut (Rahayu *et al.*, 2009):

- pH 7: netral
- pH <7: asam
- pH >7: basa

- pH 6,5-8,2 merupakan kondisi optimum untuk monitoring air di daerah aliran sungai

- e. Nitrat, Nitrit dan Amonia
Ketiga senyawa ini adalah bentuk unsur nitrogen yang terdapat di dalam air. Sumber nitrit, nitrat dan amonia dalam air sungai dapat berasal dari pupuk yang digunakan pada daerah pertanian, kotoran hewan, dan lain-lain. Kandungan yang tinggi di dalam air akan meningkatkan pertumbuhan dan aktivitas tumbuhan air sehingga kandungan oksigen di dalam air semakin berkurang (Rahayu *et al.*, 2009).

- f. Fosfat
Bentuk senyawa fosfat yang umum ditemukan di perairan adalah ortofosfat dan polifosfat. Fosfat ditemukan dalam bentuk anorganik, dan bentuk organik, misalnya asam nukleat, gula fosfat, polifosfat, dan bentuk senyawa fosfat organik lainnya. Keberadaan fosfat di perairan dapat berasal dari sumber alami (seperti erosi tanah, buangan dari hewan, dan lapukan tumbuhan) juga dari limbah industri, limbah pertanian, serta limbah domestik.

- g. Oksigen Terlarut
Semua gas di atmosfer akan terlarut di air dalam tingkatan tertentu. Oksigen adalah salah satu gas yang kelarutannya tidak begitu baik di dalam air (Sawyer *et al.*, 1994). Oksigen dalam air sungai juga berasal dari hasil fotosintesis tumbuhan air. Kandungan oksigen pada air yang bergerak lebih banyak dibandingkan dengan air yang tergenang (Rahayu *et al.*, 2009).

- h. *Biological Oxygen Demand* (BOD)
BOD ialah jumlah oksigen yang digunakan mikroorganisme (bakteri) untuk menguraikan bahan-bahan organik di dalam air dalam kondisi aerobik (Sawyer *et al.*, 1994). Nilai BOD dalam air dipengaruhi oleh pH,

suhu, jenis mikroorganisme dan jenis bahan organik dan anorganik di dalam air tersebut. Semakin tinggi BOD, semakin cepat oksigen di dalam air habis, sehingga akan membawa dampak negatif bagi perkembangan biota yang ada di dalam air (Rahayu *et al.*, 2009).

2.3 *River Continuum Concept (RCC)*

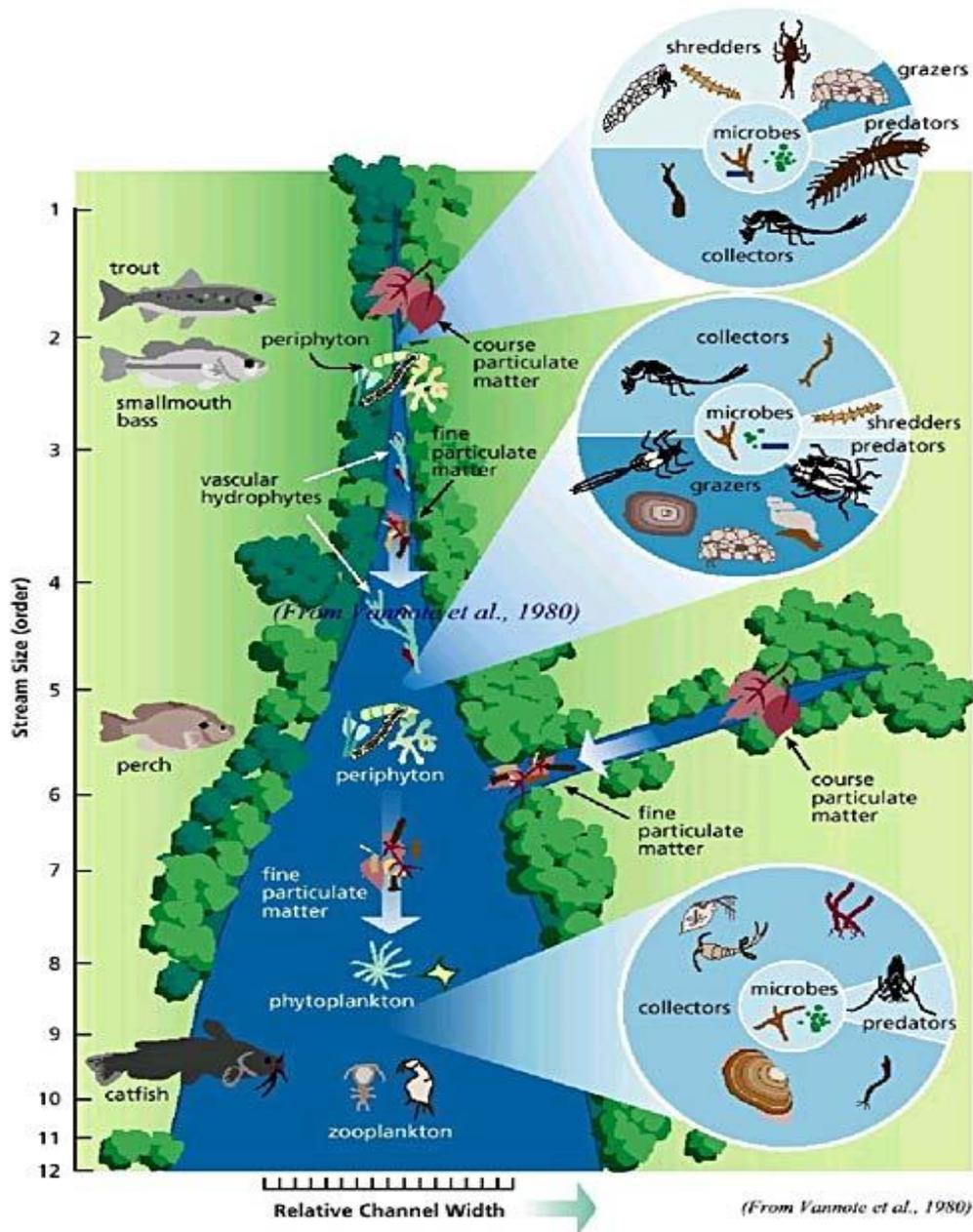
Sungai terbentuk dari komponen biotik dan abiotik. Komponen abiotik diantaranya adalah iklim, temperatur, kelembaban, serta materi organik dan anorganik. Sedangkan komponen biotik meliputi produser, konsumen dan dekomposer. Sungai juga memiliki hubungan yang tidak bisa dipisahkan antara daratan dengan badan air dimana terjadi pertukaran material organik dan anorganik.

Ekosistem fluvial sungai merupakan kesatuan antara biota serta interaksi biologis didalamnya, juga proses fisika dan kimia yang terjadi sistem ini secara keseluruhan menggambarkan produksi, dan metabolisme bagaimana nutrisi secara efisien digunakan. Komunitas biologi dari ekosistem fluvial dihuni oleh organisme yang dapat menyesuaikan diri dengan kondisi setempat baik fisik, sumber makanan, maupun kemampuan berinteraksi dengan spesies lain (Mayaningtyas, 2010).

River Continuum Concept RCC (Gambar 2.2) menggambarkan struktur komunitas dan fungsi ekologi sungai seiring dengan perubahan geomorfologi, fisik dan variabel biotik seperti aliran sungai, morfologi saluran, besar detritus, ukuran partikel organik, karakteristik autotrof dan respon suhu. Variabel fisik seperti *Coarse Particulate Organic Matter* (CPOM) banyak terdapat pada bagian hulu dan *Fine Particulate Organic Matter* (FPOM) banyak terdapat di bagian hilir. Ini terjadi karena makin besar ukuran sungai, tutupan kanopi makin berkurang sehingga input bahan organik ke dalam sungai juga makin berkurang.

Perbedaan komposisi bahan organik pada setiap segmen sungai mengakibatkan komposisi dan frekuensi kehadiran spesies dalam suatu komunitas bervariasi antara hulu dan hilir. RCC membagi sungai menjadi 3 segmen. Bagian hulu yang biasanya dicirikan oleh *shredders* dan *collector*, lalu bagian tengah yang dicirikan oleh *scraper* dan bagian hilir yang dicirikan oleh *collector*.

Sedangkan *predator* cenderung memiliki kelimpahan yang sama di setiap sektor sungai (Vannote *et al.*, 1980).



Gambar 2.2. Hubungan Longitudinal Antara Ukuran Sungai, Struktur dan Fungsi Ekologi
 Sumber: Vannote *et al.*, 1980

2.4 *Bioassessment*

Bioassessment atau *biological assessment*, didefinisikan sebagai penggunaan makhluk hidup secara sistematis, atau respon makhluk hidup untuk mengetahui kondisi serta perubahan lingkungan (Rosenberg, 1998). Praktik penggunaan organisme untuk menilai kualitas air, telah digunakan sejak lama. Jumlah dan jenis organisme yang terdapat di dalam badan air dapat merefleksikan kualitas lokasi di mana mereka diambil (Metcalf, 1989).

Data biologis lebih berhubungan langsung dengan kondisi ekologis sebuah sistem perairan daripada data kimia. Data kimia memiliki kelebihan pada kekhususannya. Maka *bioassessment* cocok untuk digunakan pada monitoring rutin atau pemantauan pada area yang sangat luas. Sedangkan data kimia cocok untuk pemantauan pelengkap serta monitoring di area spesifik dimana dilaporkan permasalahan. *Bioassessment* tidak rumit, tidak memerlukan peralatan yang mahal, informatif dan meyakinkan (Resh, 2007; Akolkar, 2008).

2.5 Pendekatan dalam *Bioassessment*

Ada beberapa pendekatan yang diterapkan dalam *bioassessment*. Pemilihan teknik yang digunakan disesuaikan dengan isu yang dituju dan sumberdaya yang tersedia. Pendekatan *bioassessment* yang umum digunakan diantaranya adalah: keragaman, indeks biotik, pendekatan multimetrik, pendekatan multivariat, *Fungsional Feeding Groups* (FFGs) dan beberapa sifat biologis. Diantara pendekatan-pendekatan tersebut, indeks biotik dan pendekatan multimetriklah yang paling sering digunakan untuk mengevaluasi kesehatan lingkungan sungai (Li *et al.*, 2010).

2.10.1 Indeks Keragaman

Sebagai pendekatan yang paling awal digunakan, banyak jenis indeks keragaman yang sudah dikembangkan untuk menggambarkan respon komunitas terhadap variasi lingkungan. Pendekatan ini mengkombinasikan 3 komponen struktur komunitas yakni: *richness* atau jumlah jenis, *evenness* (keseragaman

dalam distribusi individu di dalam komunitas, dan *abundance* (total jumlah individu).

Beberapa contohnya adalah: Indeks Shannon-Wiener, Indeks Simpson dan Indeks Margalef. Indeks ini menggunakan asumsi bahwa lingkungan yang tidak terganggu ditandai dengan tingginya *richness*, meratanya distribusi individu diantara spesies dan jumlah yang sedang sampai tinggi dari individu (Li *et al.*, 2010).

2.10.2 Indeks Biotik

Indeks biotik mengkombinasikan kelimpahan berdasarkan grup taksonomi tertentu dengan sensitivitas mereka atau toleransinya ke dalam indeks tunggal, atau skor. Indeks biotik yang banyak dipakai adalah: *Belgian Biotic Index*, Indeks BMWP (*Biological Monitoring Working Party*) baik versi asli maupun berbagai modifikasinya, serta berbagai indeks lainnya.

a. *Belgian Biotic Index*

BBI adalah metode yang diusulkan oleh De Pauw dan Vanhooren dan diadopsi sebagai metode standar oleh Belgian Institute of Normalisation. Sejak publikasi pertamanya, metode ini secara efektif digunakan untuk pemantauan air di Belgia dan berbagai negara di dunia. BBI mengkombinasikan karakteristik indeks yang diusulkan oleh Woodiwiss yaitu Trent Biotic Index dan Verneaux di Perancis (Gabriels *et al.*, 2005).

b. Indeks BMWP (*Biological Monitoring Working Party*)

Biological Monitoring Working Party adalah indeks yang berkembang di Inggris dan disempurnakan selama bertahun-tahun (Armitage *et al.*, 1983). Skor ini dihitung berdasarkan famili makroinvertebrata yang digabungkan dalam sistem yang dapat digunakan untuk menilai kondisi sungai. BMWP digunakan di banyak negara terutama di negara-negara berkembang, karena indeks ini sederhana dan dapat diterapkan pada data makroinvertebrata di level famili (Hoang, 2009).

c. Indeks BMWP yang Dimodifikasi

Indeks BMWP banyak sekali digunakan di berbagai tempat baik dalam versi asli maupun dalam versi adaptasinya (Chessman, 1995; De Zwart and Trivedi, 1994; Rizo-Patron *et al.*, 2013; Al Shami *et al.*, 2017). Salah satu modifikasi yang digunakan di Asia Tenggara adalah BMWP Thai yang berkembang di Thailand. Modifikasi yang umum dilakukan terhadap indeks BMWP adalah penambahan jenis taksa berdasarkan jenis taksa yang ditemukan di lokasi dimana indeks tersebut digunakan. Modifikasi dapat pula berupa penyesuaian skor terhadap jenis taksa tertentu (Hoang, 2009).

2.10.3 Pendekatan Multimetrik

Indeks multimetrik mengintegrasikan seperangkat variabel atau metrik, yang mewakili berbagai struktur dan atribut fungsional suatu ekosistem (seperti kekayaan takson, kelimpahan relatif, dominasi, pemberian makan fungsional kelompok, toleransi polusi, strategi sejarah hidup, penyakit, dan kepadatan). Pendekatan multimetrik memberi wawasan yang kuat dan peka pada tanggapan terhadap kumpulan stresor alami dan antropogenik (Li *et al.*, 2010).

2.6 Bioindikator

Dalam biologi, indikator adalah variabel terpilih, yang mengindikasikan atau menunjukkan pada kita dalam bentuk: kondisi, perilaku, kehadiran (atau ketidak-hadirannya). Indikator dapat digunakan untuk menunjukkan sejumlah kondisi lingkungan.

Menurut Campbell (2002) dan Spellerberg (2005), dalam pemilihan indikator, pemilihan organisme dilakukan dengan karakteristik seperti berikut ini:

1. Cukup sensitif sehingga dapat berperan sebagai peringatan dini
2. Terdistribusi dalam area yang luas
3. Dapat menyediakan tinjauan untuk berbagai tekanan
4. Ukuran sampel relatif bebas
5. Mudah dan murah untuk diukur

6. Dapat dibedakan responnya yang disebabkan tekanan yang muncul karena faktor alam maupun faktor manusia
7. Relatif menetap, atau dispersalnya relatif terbatas
8. Umur cukup panjang

2.7 Makroinvertebrata Sebagai Bioindikator

Istilah makroinvertebrata, tidak merujuk kepada taksonomi, akan tetapi ini digunakan untuk penyebutan suatu kelompok biota air tidak bertulang belakang yang ukurannya cukup besar untuk dapat dilihat dengan mata tanpa bantuan mikroskop (Wallace dan Webster, 1996; Alba-Tercedor, 2006).

Sejumlah makroinvertebrata yang digunakan sebagai indikator, misalnya dari famili: larva Trichoptera, Annelida, Ephemeroptera, Hirudinae, Mollusca, Crustacea, dan taksa lainnya (Metcalf, 1989). Beberapa contoh hewan makroinvertebrata dapat dilihat pada Gambar 2.3.



Gambar 2.3 Jenis-jenis makroinvertebrata; (a) Ephemeroptera, (b) Leptophlebiidae, (c) Chironomidae, (d) Pyralidae.
Sumber: Bouchard, Jr., 2004

Keunggulan *bioassessment* menggunakan makroinvertebrata sebagai bioindikator kualitas air menurut Barbour (1999) adalah:

- Makroinvertebrata memiliki pola migrasi yang terbatas, karenanya sangat sesuai untuk menilai kondisi spesifik lokasi (studi hulu hilir).
- Berdasarkan taksanya, makroinvertebrata dapat merespon dengan baik tekanan dari lingkungan hidupnya.
- Makroinvertebrata mudah diidentifikasi pada tingkat famili.

- Kumpulan makroinvertebrata terdiri atas berbagai taksa yang mencerminkan tingkat trofik dan toleransi polusi yang luas, sehingga memberikan informasi kumulatif yang kuat.
- Sampling relatif mudah, tidak membutuhkan banyak tenaga, dan relatif tidak merugikan biota lain.
- Makroinvertebrata terdapat di sebagian besar orde sungai.

Sedangkan kelemahan metode ini adalah:

- Tidak dapat mengidentifikasi penyebab perubahan yang terjadi. Hasil penilaian menunjukkan kualitas air secara ekologi namun tidak dapat menunjukkan adanya bahan patogen atau organisme berbahaya lainnya.
- Hanya dapat dilakukan oleh orang yang mengerti tentang biologi perairan ataupun orang yang telah dilatih, karena harus mengidentifikasi secara taksonomi kelompok-kelompok organisme petunjuk.

Berikut ini beberapa penelitian terdahulu yang menggunakan makroinvertebrata sebagai indikator kualitas air.

Tabel 2.1 Penelitian Terdahulu tentang *Bioassessment* dengan Makroinvertebrata

No	Lokasi	Korelasi	Sumber
1	Zimbabwe bagian timur hingga Mozambik bagian barat	<ul style="list-style-type: none"> - Amonium, fosfat dan lebar saluran adalah variabel penting yang mempengaruhi struktur komunitas makroinvertebrata - Kekayaan taksa berkorelasi positif lemah dengan amonium, fosfat dan pH. - Kekayaan taksa berkorelasi negatif dengan DO 	Dalu <i>et al.</i> , 2017
2	Cina	<ul style="list-style-type: none"> - Polutan organik mempengaruhi kekayaan dan komposisi taksa makroinvertebrata dari kelompok makanan fungsional. - Kekayaan taksa menurun drastis dengan meningkatnya total nitrogen. <i>Scrapers, shredders, predator</i>, dan <i>collector-filterers</i> menurun atau bahkan hilang, sementara <i>collector-gatherer</i> menjadi sangat dominan seiring dengan 	Xu <i>et al.</i> , 2014

No	Lokasi	Korelasi	Sumber
		meningkatnya nitrogen total, sehingga menghasilkan distribusi sangat tidak seragam dari kelompok makanan fungsional dalam keadaan polusi organik tinggi.	
5	Vietnam	<ul style="list-style-type: none"> - Pada lokasi dengan elevasi tinggi (di atas 30 m dpl) variabel yang berhubungan dengan BMWP viet adalah <i>pool/riffle</i>, elevasi, konsentrasi klorofil dan keberadaan makroalga - Skor BMWP viet meningkat seiring dengan bertambahnya elevasi, <i>pool/riffle</i>, serta keberadaan makroalga - Pada lokasi dengan elevasi yang lebih rendah (dibawah 30 m dpl) BMWP viet berasosiasi negative dengan lebar saluran dan erosi dan erosi serta berasosiasi positif dengan kedalaman, <i>riffle class</i> dan keberadaan mikroalga. 	Forio <i>et al.</i> , 2017
6	Ekuador	<ul style="list-style-type: none"> - Secara umum, skor BMWP-col yang tinggi berasosiasi positif dengan konsentrasi DO yang lebih tinggi, kecepatan aliran yang lebih tinggi dan ukuran material sedimen yang lebih kasar. - Analisis korelasi menunjukkan bahwa kualitas air yang baik (berdasarkan data biologis) berasosiasi dengan kecepatan aliran yang tinggi, tipe sedimen yang kasar, konduktivitas rendah dan penggunaan lahan yang tidak terlalu intensif. 	Ambarita <i>et al.</i> , 2016
7	Papua Barat, Indonesia	<ul style="list-style-type: none"> - Toleransi makrovertebrata bentos yang berbeda terhadap gangguan yang mengubah habitat, terutama terhadap limbah organik POME, dapat dijadikan bioindikator kualitas air Sungai Nimbai yang baik. Limbah POME/ (<i>palm oil mill effluent</i>) yang tidak dikelola dengan baik sebelum dibuang, telah meningkatkan kandungan minyak dan menurunkan kandungan oksigen terlarut (DO), dan pH air Sungai Nimbai sehingga kelimpahan makrovertebrata bentos yang memiliki toleransi tinggi semakin meningkat. - Namun pada stasiun yang semakin jauh dari sumber buangan limbah POME, kualitas air mulai membaik dengan munculnya makrovertebrata bentos yang memiliki toleransi rendah, walaupun vegetasi riparian di sepanjang sungai semakin terbuka dan suhu air semakin meningkat. 	Leatemi <i>et al.</i> , 2017
9	Malang, Indonesia	<ul style="list-style-type: none"> - Keragaman yang rendah mengungkapkan kualitas air yang rendah dan keragaman tinggi mengekspresikan kualitas yang baik. - Indeks ekologi dan sistem skor lebih baik untuk menilai polusi organik dan eutrofikasi namun tidak tepat untuk menilai polusi beracun dan fisik. 	Kartikasari, <i>et al.</i> , 2013

2.8 Bioassessment Menggunakan Larva Chironomidae

Larva Chironomidae (Gambar 2.4) adalah bagian dari makroinvertebrata yang terdistribusi paling luas dan sering memiliki kelimpahan yang tinggi di lingkungan air tawar. Diperkirakan ada 15.000 spesies Chironomidae di seluruh dunia. Di banyak ekosistem perairan, jumlah spesies Chironomidae mencapai setidaknya 50% dari total makroinvertebrata yang tercatat (Armitage and Pinder, 1995).



Gambar 2.4 Chironomidae

Sumber: Murray, 2016

Pengaruh variabel kualitas air pada kelangsungan hidup larva Chironomidae telah banyak dikaji. Beberapa hasil studi *bioassessment* terdahulu menggunakan Chironomidae, dirangkum dalam Tabel 2.2.

Tabel 2.2 Hasil Studi *Bioassessment* Terdahulu Menggunakan Chironomidae

No	Lokasi	Hasil Studi	Sumber
1	Nireco River	<ol style="list-style-type: none"> 1. Sub famili yang paling banyak adalah Orthocladiinae, diikuti oleh Chironominae, lalu Podonominae. 2. Kemunculan puncak pada setiap stasiun pantau terjadi setiap suhu air tertinggi. 	Garcia and Suarez, 2007
2	Sungai Ciliwung, Indonesia	<ol style="list-style-type: none"> 1. Selama 12 bulan pengamatan terhadap larva Chironomidae diperoleh total 47 taksa yang terdiri dari 9 kelompok <i>functional feeding</i>. 2. Kelompok <i>functional feeding</i> terbesar adalah <i>shredders</i>, yaitu 46%. 3. Semakin ke hilir kelimpahan <i>functional feeding</i> makin menurun. 4. Kelompok yang selalu ada di setiap lokasi adalah <i>shredders</i>, <i>collector-gatherer</i> dan <i>predator</i>. 5. Chironomidae peka terhadap variabel fisik-kimia berupa: COD, TSS dan konduktivitas. 	Mayani ngtyas, 2010.
3	Swartkops River	<ol style="list-style-type: none"> 1. Indeks kekayaan spesies Margalef, aquitability, indeks Shannon dan Indeks Simpson tertinggi ada pada situs 	Odume and

No	Lokasi	Hasil Studi	Sumber
		referensi. 2. Situs referensi dicirikan oleh Orthocladiinae, dan suku Tanytarsini 3. Situs terkena dampak dicirikan oleh Orthocladiinae dan Chironomini 4. Variabel penting yang mempengaruhi komunitas Chironomidae adalah BOD ₅ , DO, konduktivitas, ortofosfat, nitrogen anorganik total.	Muller, 2011.
4	7 danau di Finlandia	1. Studi ini membandingkan kondisi komunitas Chironomidae tahun 1960-an dengan kondisi terakhir 2. Kenaikan diversitas dan densitas terbesar terjadi pada danau yang paling tercemar 3. Beberapa factor penting yang berperan dalam perubahan tersebut adalah: DO, nutrient, kualitas sedimen dan limbah beracun dari industri.	Walkowiak et al., 2016.
5	Danube River dan Sava River, Eropa	Dari 40 metrik berdasarkan komunitas Chironomidae, yang diuji, didapat 5 metrik yang mencapai rasio hubungan yang signifikan (koefisien korelasi linier r Pearson N 0,7) dengan multi stressor lingkungan yakni: kelimpahan Paratrichocladius rufiventis, Orthocladiinae, Cricotopus spp., Cricotopus triannulatus agg. dan Cricotopus / Orthocladius.	Milošević et al., 2018.

2.9 Faktor-faktor yang mempengaruhi Ketepatan *Bioassessment*

Ketepatan *bioassessment* dipengaruhi oleh banyak hal, diantaranya:

1. Peralatan Sampling

Peralatan sampling yang digunakan mempengaruhi efisiensi pengumpulan sampel. Misalnya, *square net* lebih efisien untuk mengumpulkan sampel makroinvertebrata dari suatu aliran yang deras, dalam dan dengan substrat yang kasar. *D frame net* dan juga *square net* lebih mudah mengumpulkan sampel makroinvertebrata yang bersifat mudah bergerak atau mudah terlepas dari substratnya. Sedangkan *surber sampler* lebih mudah digunakan untuk mengumpulkan makroinvertebrata yang cenderung melekat kuat (Wan Abdul Ghani et al., 2016).

2. Jumlah Sampel

Ukuran sampel yang *reliable* untuk daerah tropis adalah 150-800 individu, jika sampel akan dianalisis berdasarkan kehadiran atau ketiadaan jenis tertentu. Sedangkan untuk menentukan kelimpahan relatif, diperlukan 750-1550 individu (Schneck and Melo, 2010).

Sedangkan menurut Bahri (2014), prakiraan jumlah makroinvertebrata representatif dari sampel yang diambil dari sungai dengan *kick sampling* adalah lebih besar dari 500 individu. Angka hitung tetap organisme makroinvertebrata untuk proses subsampling secara random berkisar antara 200 - 500 individu. Jika di bawah 200 individu, maka akan terjadi penurunan penilaian kelas kriteria kualitas air.

3. Variasi Musim

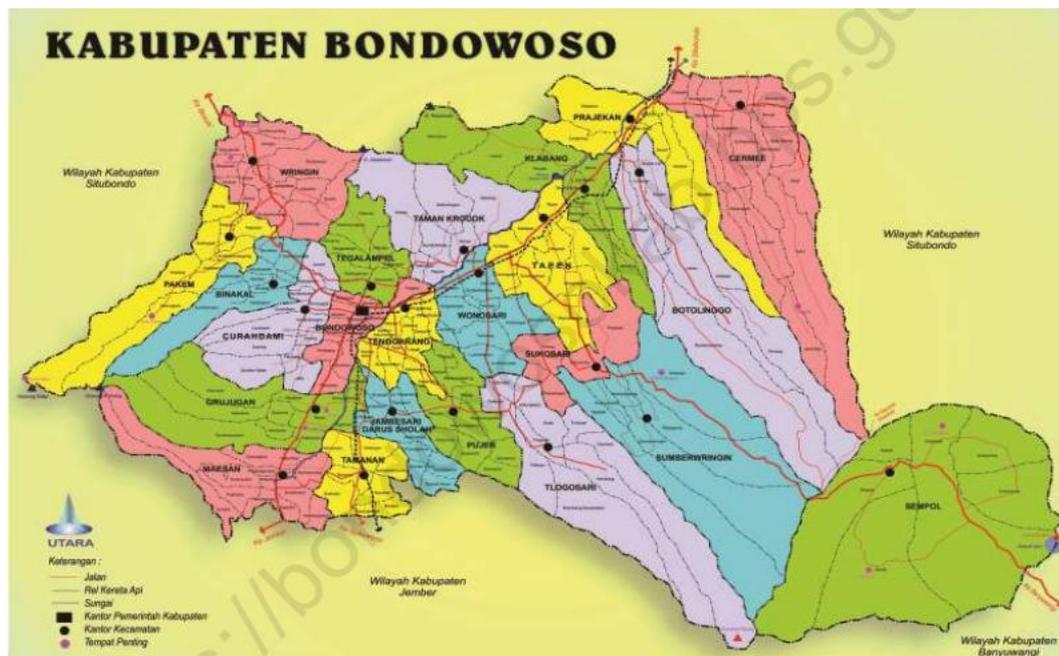
Di negara empat musim, diamati adanya pengaruh musim terhadap skor yang dihasilkan. Sampel yang diambil pada musim semi menghasilkan skor ASPT yang lebih tinggi daripada yang diambil di musim panas dan musim gugur (Armitage, 1983). Menurut Rahayu *et al.*, (2009) penggunaan makroinvertebrata dipengaruhi oleh musim, sehingga sebaiknya sampling dilakukan di tiap-tiap musim.

2.10 Gambaran Umum Wilayah Studi

2.10.1 Kondisi Geografis

Bagian hulu Sungai Sampean berupa rembesan-rembesan kecil yang mengalir dari Kabupaten Jember hingga Kabupaten Bondowoso, sementara hilir sungai terletak di Kabupaten Situbondo. Sungai Sampean bermuara di Selat Madura, di daerah Kecamatan Panarukan-Situbondo. Studi ini dilakukan pada daerah hulu Sungai Sampean di Kecamatan Maesan Kabupaten Bondowoso hingga ke bagian hilir di Kabupaten Situbondo.

Kabupaten Bondowoso terletak di bagian Timur Provinsi Jawa Timur dengan jarak sekitar 200 km dari ibu kota Provinsi Jawa Timur, Surabaya. Kabupaten Bondowoso terletak pada posisi 7°50'10"-7°56'41" Lintang Selatan dan 113°48'10"-113°48'26" Bujur Timur. Wilayah Kabupaten Bondowoso di sebelah barat dan utara berbatasan dengan Kabupaten Situbondo, di sebelah timur berbatasan dengan Kabupaten Banyuwangi, dan di sebelah selatan berbatasan dengan Kabupaten Jember (Gambar 2.5).



Gambar 2.5 Peta Wilayah Kabupaten Bondowoso

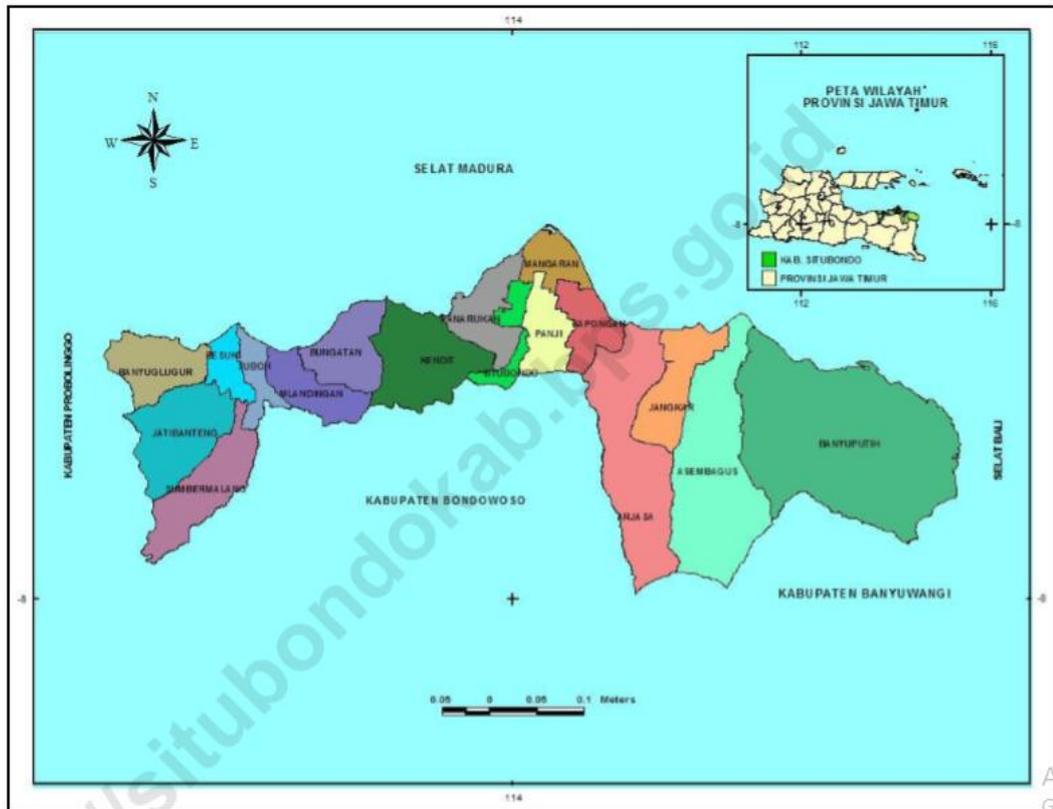
Sumber: Badan Pusat Statistik Bondowoso, 2015

Kabupaten Situbondo merupakan salah satu Kabupaten di Jawa timur yang letaknya berada di ujung Timur pulau Jawa bagian utara dengan posisi di antara 70 35' - 70 44' Lintang Selatan dan 113 0 30' – 114 0 42' Bujur Timur. Luas Kabupaten Situbondo adalah 1.638,50 km² atau 163.850 Ha, bentuknya memanjang dari Barat ke Timur kurang lebih 150 km.

Kabupaten Situbondo di sebelah barat berbatasan dengan Kabupaten Probolinggo, sebelah utara Selat Madura, sebelah timur berbatasan dengan Kabupaten Banyuwangi, dan di sebelah selatan berbatasan dengan Kabupaten Bondowoso (Gambar 2.6).

2.10.2 Kondisi Topografi

Kabupaten Bondowoso berketinggian rata-rata 253 m di atas permukaan laut. Wilayah tertinggi berada pada 3.287 m dan terendah 73 m di atas permukaan laut. Sedangkan Kabupaten Situbondo berada pada ketinggian 0-1.250 m di atas permukaan air laut.



Gambar 2.6 Peta Wilayah Kabupaten Situbondo

Sumber: Badan Pusat Statistik Kabupaten Situbondo, 2016

2.10.3 Kondisi Iklim

Kabupaten Bondowoso mengalami dua musim yakni musim hujan di bulan November - Mei, dan musim kemarau di bulan Juni - Oktober (Badan Pusat Statistik Kabupaten Bondowoso, 2015). Bondowoso memiliki curah hujan antara 75,46-344,75 mm³ dengan curah hujan rata-rata tahunan 4189 mm³ (Badan Pusat Statistik Kabupaten Bondowoso, 2017).

Kondisi iklim di Kabupaten Situbondo, yaitu suhu udara antara 21,68 – 29,00 °C, dengan kelembaban udara antara 43,50- 99,00 % dan curah hujan antara 29 - 355 mm³ (Badan Pusat Statistik Kabupaten Situbondo, 2016).

2.10.4 Tata Guna Lahan

Penggunaan lahan pada Daerah Aliran Sungai Sampean sebagian besar adalah berupa ladang, yaitu 22,38% dari keseluruhan luas. Secara keseluruhan peruntukan lahan DAS Sampean dapat dilihat pada Tabel 3.1.

Tabel 3.1 Peruntukan Lahan DAS Sampean

No.	Peruntukan	Luas (Km ²)	Persentase
1	Danau/Bendungan	1,806	0,05%
2	Empang	25,846	0,65%
3	Hutan	592,338	14,78%
4	Kebun	303,391	7,57%
5	Ladang	896,739	22,38%
6	Pabrik/Bangunan	0,021	0,00%
7	Pasir	0,497	0,01%
8	Pemukiman	251,648	6,28%
9	Rawa/Hutan Rawa	6,926	0,17%
10	Sawah Irigasi	775,000	19,34%
11	Sawah Tadah Hujan	225,017	5,62%
12	Semak Belukar	783,488	19,55%
13	Sungai	63,622	1,59%
14	Tanah Kosong/Padang Rumput	80,660	2,01%
	Jumlah Total	4.007,000	100,00%

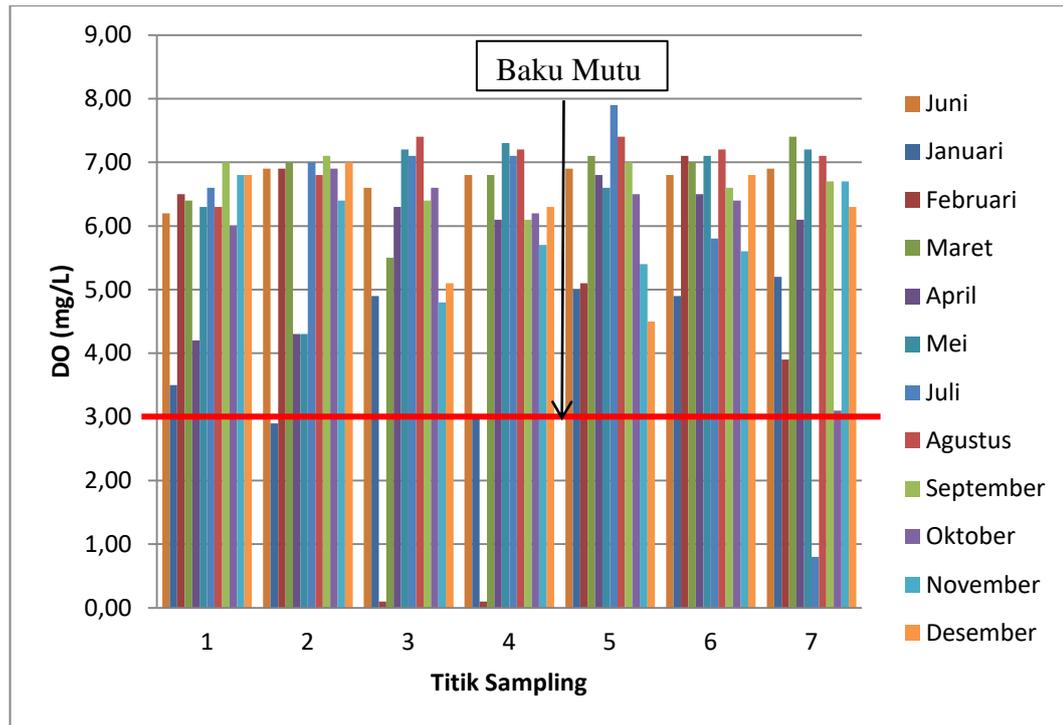
Sumber: Dinas Pengairan Kab. Bondowoso, 2013

2.10.5 Kualitas Air Sungai Sampean

Berdasarkan data pemantauan bulanan dari Dinas Pekerjaan Umum Sumber Daya Air Provinsi Jawa Timur (Dinas PU SDA) tahun 2016-2017, secara umum kondisi kualitas Sungai Sampean menunjukkan variabilitas yang tinggi dari waktu ke waktu dan antar titik sampling. Pemantauan dilakukan bulanan pada 7 titik sampling yang secara teratur terus dipantau. Titik 1 berlokasi di Kecamatan Maesan, bagian paling selatan dari Kabupaten Bondowoso, mendapatkan beban pencemaran yang bersumber dari pertanian dan domestik. Titik ini berada pada lokasi yang berdekatan dengan titik sampling 1 pada studi ini. Titik 2 berada di Kecamatan Grujugan, dan mendapat beban pencemaran dari daerah pertanian serta sedikit industri. Titik ini berdekatan dengan titik sampling 8 dalam studi ini. Titik 3 berlokasi di Kecamatan Tenggarang, mendapatkan beban pencemaran yang berasal dari aktivitas domestik. Titik 4 berlokasi di Kecamatan Wonosari Kabupaten Bondowoso, beban pencemarannya berasal dari pertanian. Demikian pula dengan titik 5 yang berlokasi di Desa Besuk Kecamatan Klabang Kabupaten Bondowoso. Titik 6 berlokasi di Kotakan Situbondo. Titik ini berdekatan dengan titik sampling nomer 9 pada studi ini. Titik 6 ini menerima beban pencemaran dari

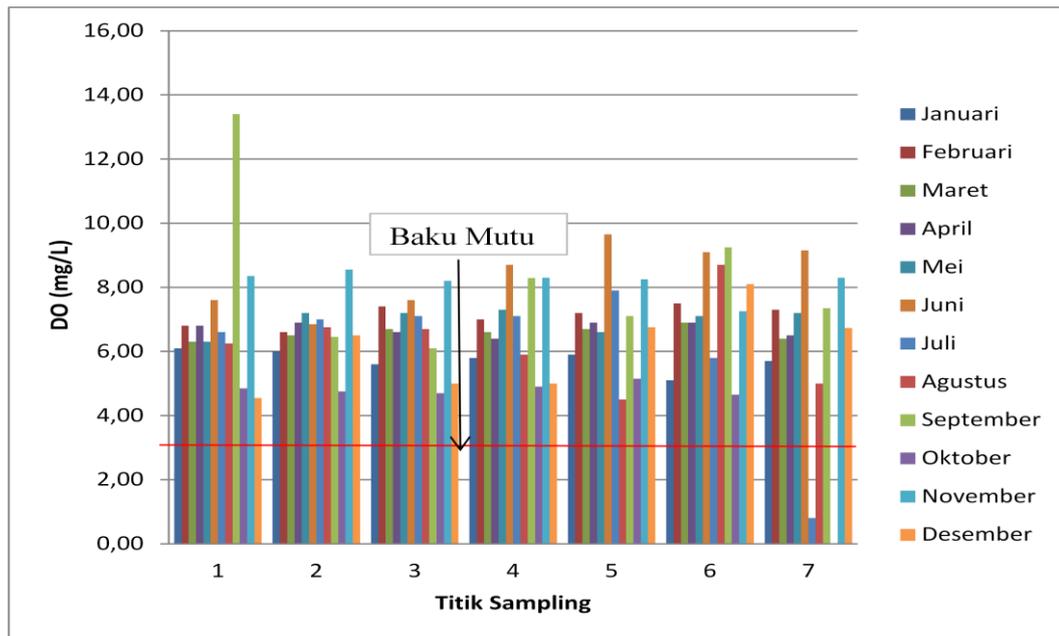
pertanian. Titik 7 berlokasi di Widuri, perbatasan Kabupaten Bondowoso dan Situbondo. Pada titik ini beban pencemaran berasal dari pertanian.

Untuk parameter *Dissolved Oxygen/DO*, secara umum masih memenuhi baku mutu untuk sungai kelas III, yakni di atas 3 mg/L (Gambar 2.7 dan Gambar 2.8).



Gambar 2.7 Grafik DO Bulan Januari-Desember di 7 Titik Sampling Sungai Sampean Tahun 2016

Sumber: Dinas Pengairan SDA Provinsi Jawa Timur



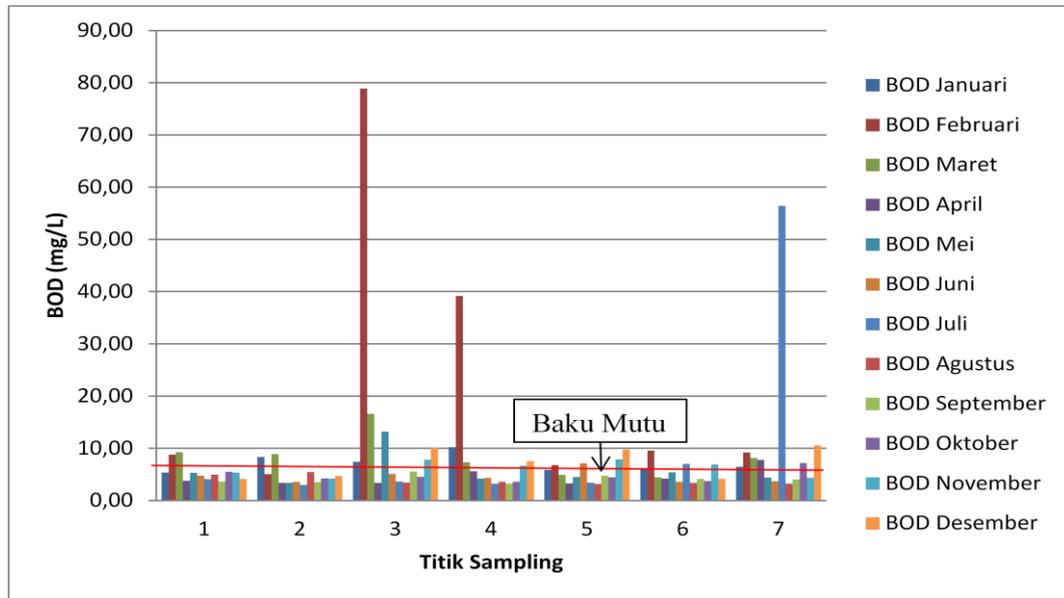
Gambar 2.8 Grafik DO Bulan Januari-Desember di 7 Titik Sampling Sungai Sampean Tahun 2017

Sumber: Dinas Pengairan SDA Provinsi Jawa Timur

Data bulanan BOD tahun 2016 dan 2017 dapat dilihat pada Gambar 2.9 dan 2.10. Pada pengukuran bulan Agustus sampai Desember tahun 2017, di semua titik sampling BOD terukur melampaui baku mutu (Baku mutu BOD untuk sungai kelas 3 adalah 3 mg/L). Titik-titik dengan BOD tinggi adalah titik 1, 3 dan 7. Pada titik 1, 6 dari 12 kali pengukuran di tahun 2017 hasilnya melampaui baku mutu, BOD tertinggi 90,15 mg/L. Pada titik 3 BOD yang terukur mencapai 78 mg/L dan titik 7 56,4 mg/L.

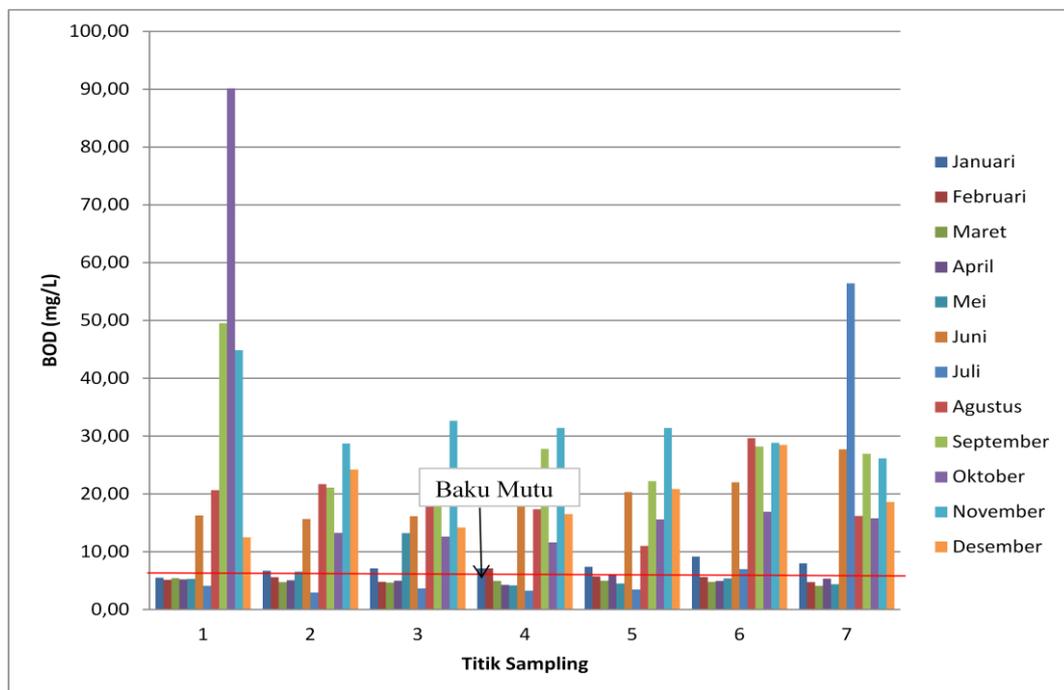
Pada titik 1 dijumpai pembuangan sampah domestik secara langsung ke sungai. Ini dapat berkontribusi pada tingginya BOD di titik ini. Titik 3 berdekatan dengan aktivitas MCK penduduk, pembuangan limbah tahu serta daerah pertanian. Sedangkan titik 7 adalah sungai di bagian hilir yakni daerah Kotakan Situbondo yang mendapatkan beban pencemar dari daerah pertanian. Di Bondowoso masih umum *home industry* tahu membuang limbah ke sungai tanpa melalui pengolahan. Di daerah-daerah dimana padat aktivitas pertanian biasanya juga terdapat aktivitas peternakan. Pembuangan sisa pakan dan kotoran ternak

secara langsung ke sungai merupakan hal yang banyak dijumpai di Sungai Sampean.



Gambar 2.9 Grafik BOD Bulan Januari-Desember di 7 Titik Sampling Sungai Sampean Tahun 2016

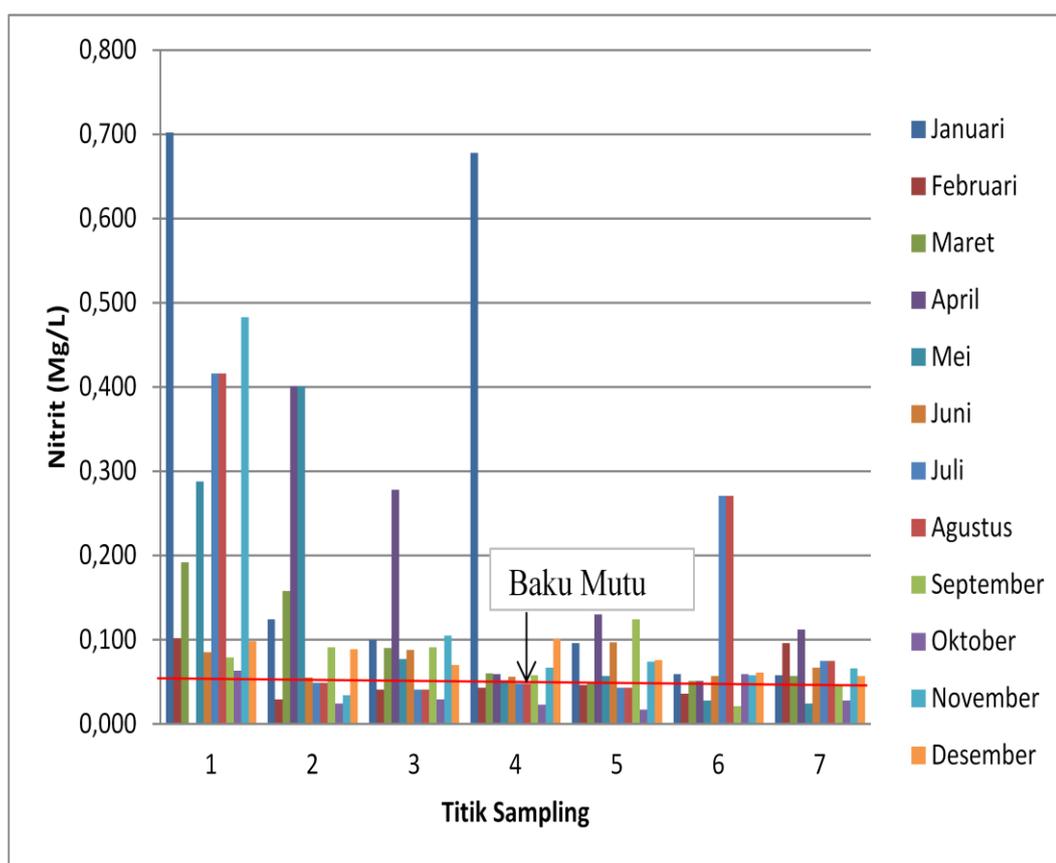
Sumber: Dinas Pengairan SDA Provinsi Jawa Timur



Gambar 2.10 Grafik BOD Bulan Januari-Desember di 7 Titik Sampling Sungai Sampean Tahun 2017

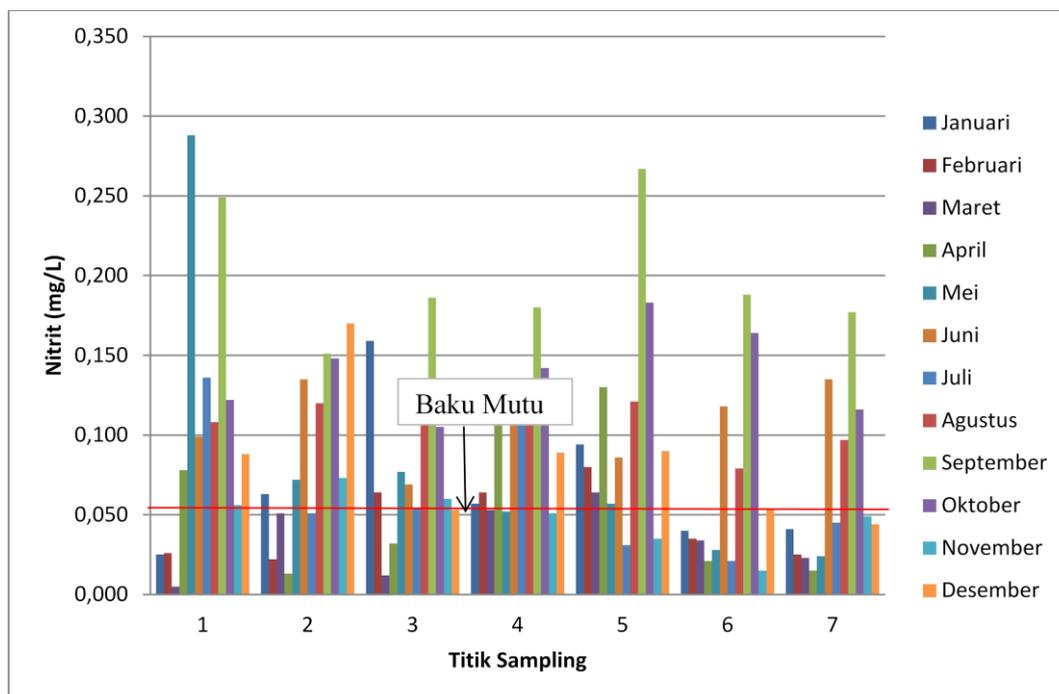
Sumber: Dinas Pengairan SDA Provinsi Jawa Timur

Data hasil pengukuran nitrit menunjukkan sebagian besar hasil pengukuran melampaui baku mutu (Gambar 2.11 dan Gambar 2.12). Titik-titik dengan kadar nitrit tinggi adalah titik 1 dan 5. Titik 1 berada di Kecamatan Maesan Bondowoso dan titik 5 berada di Kotakan Situbondo. Keduanya menerima beban pencemaran dari daerah pertanian. Pada titik 1, 10 dari 12 kali pengukuran di tahun 2016 menunjukkan angka melampaui baku mutu (baku mutu nitrit untuk sungai kelas III adalah 0,06 mg/L). Kadar nitrit yang terukur di titik 1 pada tahun 2016 maksimal adalah 0,7 mg/L (11 kali lipat dari angka baku mutu) dan di tahun 2017 adalah 0,288 mg/L (hampir 5 kali lipat angka baku mutu). Sedangkan pada titik 5 terukur kadar nitrit maksimal 0,267 atau sekitar 4,5 kali lipat dari angka baku mutu.



Gambar 2.11 Grafik Nitrit Bulan Januari-Desember di 7 Titik Sampling Sungai Sampean Tahun 2016

Sumber: Dinas Pengairan SDA Provinsi Jawa Timur



Gambar 2.12 Grafik Nitrit Bulan Januari-Desember di 7 Titik Sampling Sungai Sampean Tahun 2017

Sumber: Dinas Pengairan SDA Provinsi Jawa Timur

Halaman Sengaja Dikosongkan

BAB III

METODE PENELITIAN

3.1 Lokasi Penelitian

Lokasi penelitian ini adalah Sungai Sampean. Pengambilan sampel akan dilakukan pada 10 lokasi dari 5 orde sungai yang berbeda pada sistem Sungai Sampean (Gambar 3.1). Pemilihan lokasi dilakukan berdasarkan beberapa hal sebagai berikut:

1. Lokasi dipilih berdasarkan orde sungai, penentuan orde sungai dilakukan dengan metode Strahler.
2. Berdasarkan Metode Strahler, diperoleh 5 orde sungai dan masing-masing orde diwakili oleh 2 lokasi sampling.
3. Pemilihan lokasi juga mempertimbangkan peruntukan lahan di sekitar sungai serta sumber pencemar dan jenis gangguan terhadap sungai keamanan dan kemudahan akses (Gambar 3.2).

3.2 Variabel Penelitian

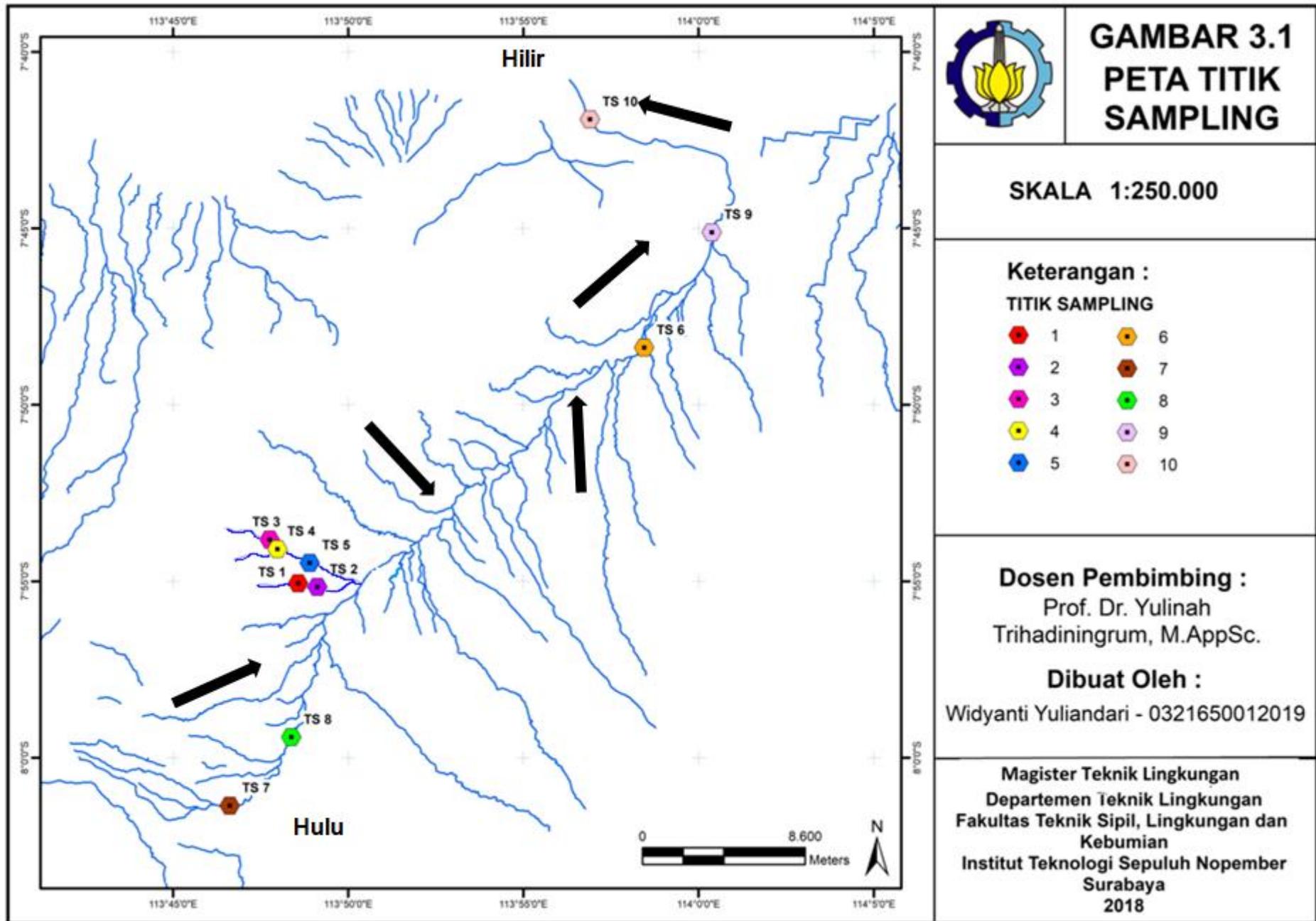
Variabel – variabel dalam penelitian ini adalah :

1. Metode Penilaian Tingkat Pencemaran Sungai
 - a. Fisik-kimia (pH, suhu, DO, BOD, COD, amonium, fosfat, nitrit, nitrat).
 - b. Biologis (menggunakan makroinvertebrata).
2. Metode *bioassessment*

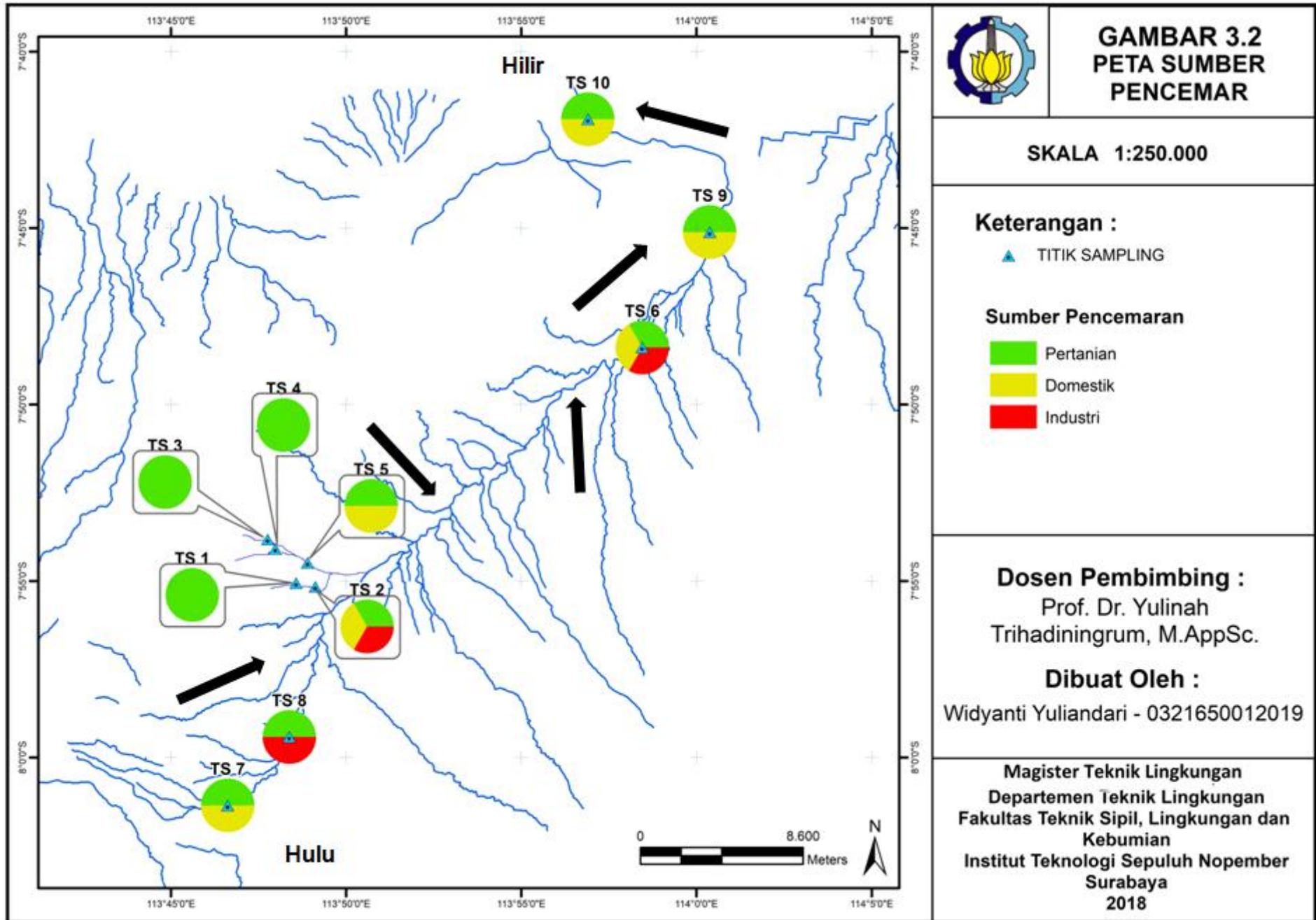
Penilaian kualitas air berdasarkan indeks biotik: *Belgian Biotic Index*, *Biological Monitoring Working Party (BMWP)*, *modified BMWP*, *BMWP Thai* serta indeks keragaman yang dihitung berdasarkan famili Chironomidae.
3. Orde Sungai

Pengambilan sampel dilakukan pada orde 1 hingga orde 5 Sungai Sampean.

Halaman Sengaja Dikosongkan



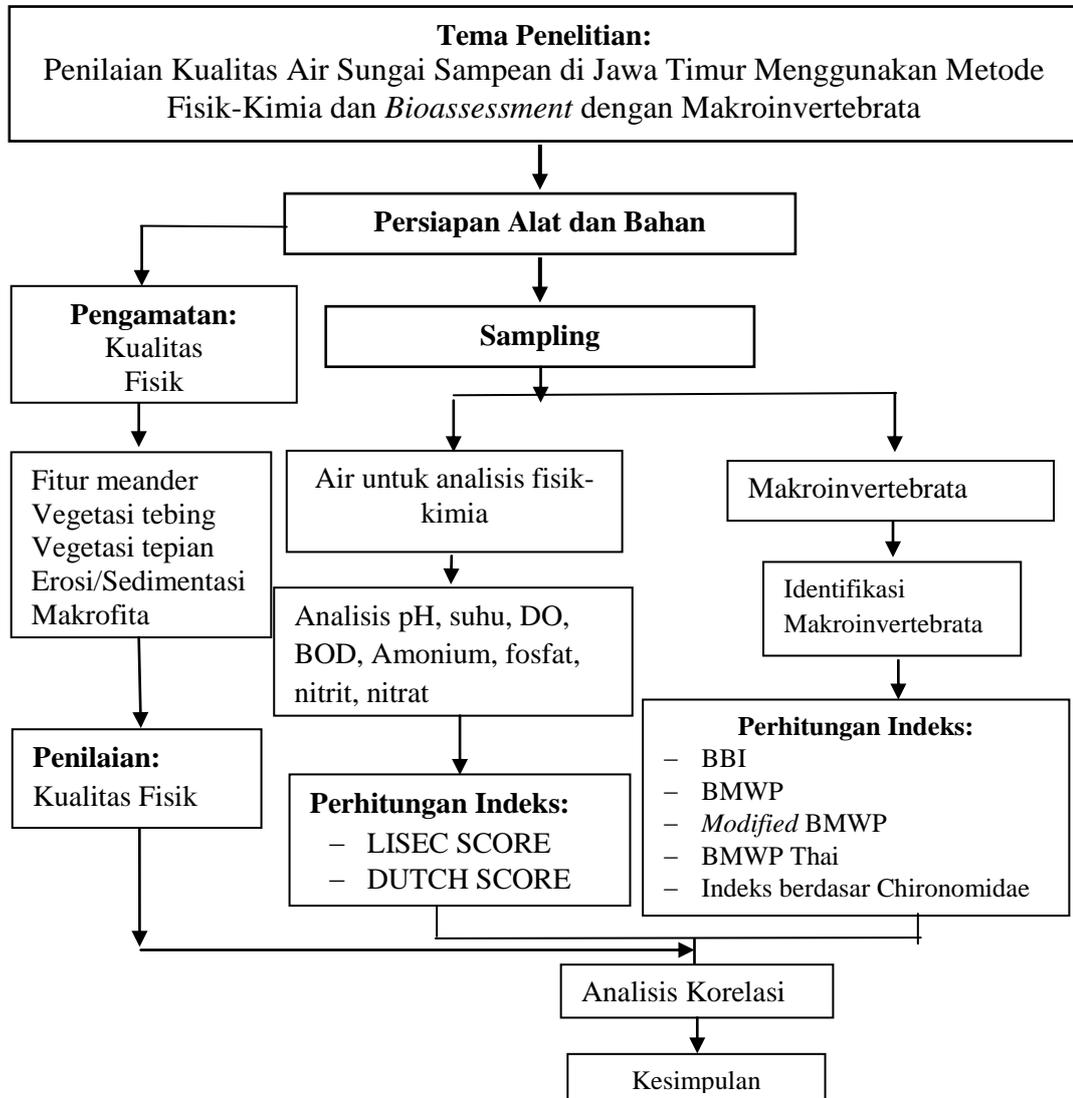
Halaman Sengaja Dikosongkan



Halaman Sengaja Dikosongkan

3.3 Tahap-tahap Penelitian

Secara umum, alur penelitian adalah seperti pada bagan berikut.



Gambar 3.3 Alur Penelitian

3.3.1 Sampling

3.3.1.1 Sampling Untuk Penilaian Kualitas Air Secara Fisik-Kimia

Pengambilan sampel untuk penilaian kualitas air secara fisik-kimia dilakukan dengan cara:

1. Pengambilan sampel air dilakukan dengan pengulangan sebanyak 2 kali.
2. Sampling dilakukan secara *composite* sampling:
 - Pada sungai dangkal dengan *horizontal water sampler* secara langsung.

- Pada sungai dalam menggunakan *horizontal water sampler* dengan tali pada 3 kedalaman berbeda (Gambar 3.4).
3. Volume sampel yang diambil sebanyak 2 L.
 4. Parameter: suhu, pH, turbiditas dan DO diukur di lapangan.
 5. Dilakukan pula pengamatan terhadap kondisi fisik sungai di sekitar lokasi sampling terhadap variabel: *meander feature*, vegetasi, erosi atau sedimentasi serta keberadaan makrofita.



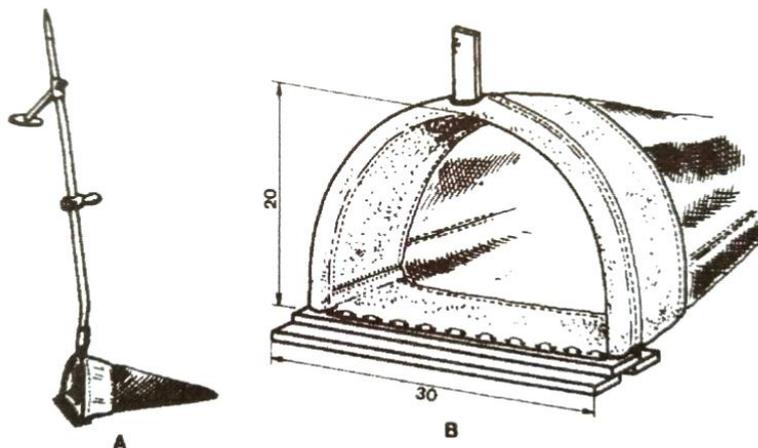
Gambar 3.4 Pengambilan Sampel Untuk Pengukuran Parameter Kimia.
(atas) pada sungai dangkal, (bawah) pada sungai dalam

3.3.1.2 Sampling Untuk Penilaian Kualitas Air Secara Biologi

Pengambilan sampel makroinvertebrata dilakukan dengan cara sebagai berikut:

1. Sampling dilakukan menggunakan *standard handnet* dengan ukuran pori 500 mikron (Gambar 3.4)
2. Net ditempatkan menghadap ke arah aliran, lalu substrat di depan net diaduk-aduk dengan menggunakan kaki.
3. Sampel makroinvertebrata yang diperoleh dibersihkan, dipisahkan dari lumpur atau benda lain.

4. Kayu, sampah dan tanaman yang ada di tepian sungai juga diambil untuk mendapatkan makroinvertebrata yang melekat.
5. Sampel diawetkan dengan alkohol 70 persen.
6. Dilakukan pengemasan dan pelabelan, lalu dibawa ke laboratorium.



Gambar 3.5 *Standard Handnet* untuk Sampling Makroinvertebrata.

(A) Tampak Keseluruhan, (B) Detil *Frame*

Sumber: De Pauw and Vanhooren, 1983

3.3.2 Analisis dan Identifikasi Sampel

3.3.2.1 Analisis Parameter Fisik-Kimia

Parameter yang akan dianalisis di laboratorium adalah BOD, COD, amonium, fosfat, nitrit dan nitrat (Tabel 3.1).

Tabel 3.1 Metode Pengukuran Parameter Kimia

Parameter	Lokasi Pengukuran	Pengawetan Sampel	Metode/alat
Suhu	Lapangan	-	Termometer
pH	Lapangan	-	pH meter
DO	Lapangan	-	DO meter
BOD	Laboratorium	Pendinginan	Winkler
Fosfat	Laboratorium	Pendinginan	Colorimetri
Amonium	Laboratorium	Pendinginan	Fenat
Nitrat	Laboratorium	Pendinginan	Spektrofotometri

Acuan yang digunakan untuk membandingkan angka yang terukur adalah baku mutu sungai kelas III berdasarkan Peraturan Pemerintah Indonesia Nomor

82 Tahun 2001 tentang Pengelolaan Kualitas Air dan Pengendalian Pencemaran Air. Digunakannya acuan untuk sungai kelas III adalah sesuai dengan penetapan kelas sungai menurut Peraturan Gubernur Jawa Timur Nomor 32 tahun 2013 dan mempertimbangkan peruntukan Sungai Sampean yakni dominan digunakan untuk perikanan, pertanian dan peternakan.

3.3.2.2 Identifikasi Makroinvertebrata

Identifikasi makroinvertebrata dilakukan dengan tahapan berikut:

1. Sampel makroinvertebrata diidentifikasi segera di laboratorium dalam waktu kurang dari 1 minggu sejak pengambilan sampel. Ini untuk mencegah kerusakan sampel yang menyebabkan kesulitan dan kesalahan identifikasi.
2. Sampel ditempatkan pada saringan 500 mikron dan dibilas dibawah air mengalir untuk menghilangkan partikel-partikel kecil yang masih tersisa.
3. Sampel diambil satu-persatu menggunakan pinset dan diletakkan pada cawan petri. Selanjutnya sampel diamati dengan mikroskop menggunakan perbesaran 100-400 kali.
4. Identifikasi dilakukan sampai tingkat famili, dan untuk famili Chironomidae dilakukan sampai tingkat sub-famili.
5. Identifikasi dilakukan dengan membandingkan ciri morfologi setiap sampel seperti: kepala, thorax, abdomen, jumlah segmen, bentuk dan jumlah cabang ekor, keberadaan serta bentuk *gills*, serta ciri lainnya dengan buku acuan identifikasi.

3.3.3 Pengolahan Data

3.3.3.1 Perhitungan Kualitas Fisik Sungai

Penilaian kualitas fisik sungai, dilakukan dengan cara:

1. Berdasarkan pengamatan yang telah dilakukan pada saat sampling, dilakukan skoring menggunakan Tabel 3.2.
2. Skor kemudian dikalikan dengan bobot masing-masing variabel. Pembobotan dibuat berdasarkan pentingnya masing-masing variabel (Tabel 3.3). Skor akhir dihitung dengan menggunakan persamaan 3.1.

3. Interpretasi kualitas Sungai berdasar kualitas fisik dilakukan mengacu pada Tabel 3.4.

Tabel 3.2 Penilaian Kualitas Fisik Sungai

No	Variabel	Nilai				
		Sangat buruk (1)	Buruk (2)	Sedang (3)	Baik (4)	Sangat baik (5)
1	<i>Meander feature</i>	Tidak mungkin terbentuk meander alami akibat adanya struktur permanen	Sedikit kemungkinan terbentuk meander alami	Non permanen struktur yang intensif	Struktur permanen terbatas	Meander alami
2	Bank Vegetation	Tidak ada penutup tanah, struktur permanen di dua sisi	Konstruksi permanen di salah satu sisi	Ada penutup tanah namun ada sebagian terbuka	Ada penutup tanah dalam jumlah sedang	Lingkungan tidak terganggu
3	Makrofit Akuatik (hilir saja)	0 atau > 80% tertutup	1-5 % atau 60-80 % tertutup	5-20 % tertutup	20-30 % tertutup	30-60 % tertutup
4	Erosi/Sedimen	Ekstensif (>50%)	Signifikan (30%-50%)	Sedang (10%-30%)	Lokal (5%-10%)	Stabil, tidak ada erosi (<5%)
5	Verge Vegetation	Tidak ada, konstruksi dibuat tanpa sempadan	Terbuka, padang rumput atau daerah budidaya	Koridor sempit dengan tanaman asli maupun yang diintroduksi	Koridor lebar dengan tanaman asli maupun yang diintroduksi	Tanaman asli yang tidak terganggu >10m

Sumber: Dimodifikasi dari Trihadiningrum, 1995

Tabel 3.3 Bobot Masing-Masing Variabel Fisik

Variabel	bobot	
<i>Meander feature</i>	3	Sedang
Bank Vegetation	4	Penting
Makrofit Akuatik	4	Penting
Erosi/Sedimen	4	Penting
Verge Vegetation	5	Sangat penting

Sumber: Trihadiningrum, 1995

Skor kemudian dihitung dengan persamaan:

$$Q = \frac{\sum(CnWn)}{\sum(Wn)} \dots\dots\dots (3.1)$$

Dimana:

C = skor per variabel

W = bobot

Tabel 3.4 Kualitas Sungai Berdasarkan Skor Kualitas Fisik

No	Skor	Kualitas
1	1,0-1,5	Sangat Buruk
2	1,6-2,5	Buruk
3	2,6-3,5	Sedang
4	3,6-4,5	Baik
5	> 4,5	Sangat Baik

Sumber: Trihadiningrum 1995

3.3.3.2 Perhitungan Indeks Berdasarkan Parameter Fisik-Kimia

Perhitungan Indeks kualitas air berdasar parameter fisik-kimia yaitu dengan LISEC Score dan Dutch Score. Kedua sistem ini dipilih karena sederhana, mudah dihitung dan telah digunakan di beberapa negara. Cara perhitungan LISEC Score adalah sebagai berikut:

1. *Dissolved oxygen* hasil pengukuran dikonversi menjadi % DO sesuai dengan suhu air yang terukur saat sampling, berdasarkan Tabel 3.5.
2. Berdasarkan nilai % DO, BOD, amonium dan fosfat diberikan skor sesuai dengan Tabel 3.6. Intepretasi skor yang dihasilkan mengacu pada Tabel 3.7.

Tabel 3.5 Kelarutan Oksigen Pada Air yang Terpapar pada Udara Jenuh Air Pada Tekanan Atmosfer 101.3kPA

Temperatur (°C)	Kelarutan Oksigen (mg/L) Klor: 0
24,0	8,418
25,0	8,263
26,0	8,113
27,0	7,968

Temperatur (°C)	Kelarutan Oksigen (mg/L) Klor: 0
24,0	8,418
25,0	8,263
28,0	7,827
29,0	7,691
30,0	7,559
31,0	7,430
32,0	7,305
33,0	7,183
34,0	7,065
35,0	6,990
37,0	6,727
38,0	6,620
39,0	6,515
40,0	6,412
41,0	6,312
42,0	6,213
43,0	6,116
44,0	6,021
45,0	5,927
46,0	5,835
47,0	5,774
48,0	5,654
49,0	5,565
50,0	5,477

Sumber: APHA, AWWA, WPFC, 2005

Tabel 3.6 Perhitungan LISEC Score

Skor	% DO Saturasi	BOD (mg/L)	Amonium (mg/L)	Fosfat (mg/L)
1	91-110	<3	<0,5	<0,05
2	71-90; 111-120	3,1-6,0	0,5-0,1	0,05-0,25
3	51-70; 121-130	6,1-9,0	1,1-2,0	0,25-0,90
4	31-50; 131-150	9,1-15	2,1-5,0	0,90-1,5
5	<30, >50	>15	<5	>1,5

Sumber: Trihadiningrum 1995

Tabel 3.7 Intepretasi LISEC Score

Kelas	Skor rata-rata	Kualitas air
I	4-6	Sangat baik
II	6-10	Baik
III	10-14	Sedang
IV	14-18	Tercemar
V	18-20	Sangat tercemar

Sumber: Trihadiningrum 1995

Cara perhitungan Dutch Score, hampir sama dengan LISEC Score, hanya tidak memperhitungkan fosfat (Tabel 3.8) dan intepretasinya mengacu pada Tabel 3.9.

Tabel 3.8 Perhitungan Dutch Score

Skor	% DO Saturasi	BOD (mg/l)	Amonium (mg/L)
1	91-110	<3	<0,5
2	71-90; 111-120	3,1-6,0	0,5-0,1
3	51-70; 121-130	6,1-9,0	1,1-2,0
4	31-50; 131-150	9,1-15	2,1-5,0
5	<30, >50	>15	<5

Sumber: Trihadiningrum 1995

Tabel 3.9 Intepretasi Dutch Score

Kelas	Skor rata-rata	Kualitas air
I	3-4.5	Sangat baik
II	4.6-7.5	Baik
III	7.6-10.5	Agak Tercemar
IV	10.6-13.5	Tercemar
V	13.6-15.0	Tercemar Berat

Sumber: Trihadiningrum 1995

3.3.3.3 Perhitungan Indeks Berdasarkan Makroinvertebrata

Perhitungan indeks biotik menggunakan: *Belgian Biotic Index* (BBI), *Biological Monitoring Working Party* (BMWP), dan *Modified Biological Monitoring Working Party (Modified BMWP)*, *Biological Monitoring Working Party Thai* (BMWP Thai) dan Indeks Gabungan Chironomidae. Indeks tersebut dipilih berdasarkan studi-studi sebelumnya yang menyatakan bahwa indeks-indeks tersebut dapat digunakan pada sungai-sungai tropis. Selain itu, indeks yang berasal dari luar ini digunakan, karena Indonesia belum memiliki indeks nasional sendiri.

a. Perhitungan Indeks BMWP

Perhitungan indeks dilakukan dengan cara (Spellerberg, 2005):

1. Membuat daftar semua famili makroinvertebrata yang ditemukan di lokasi

2. Memberi skor famili yang ditemukan berdasarkan Tabel 3.10 untuk original BMWP, Tabel 3.11 untuk modified BMWP dan Tabel 3.12 untuk BMWP Thai dan menjumlahkan skor tersebut.
3. Intepretasi skor berdasarkan Tabel 3.13.

Tabel 3.10 Perhitungan Indeks *Biological Monitoring Working Party* (BMWP)

Famili	Skor
<i>Siphonuridae, Heptageniidae, Leptophlebiidae, Ephemerellidae, Potamanthidae, Ephemeridae, Taeniopterygidae, Leuctridae, Capniidae, Perlodidae, Perlidae, Choloroperlidae, Aphelocheiridae, Phryganeidae, Molannidae, Beraeidae, Odontoceridae, Leptoceridae, Goeridae, Lepidostomatidae, Brachycentridae, Sericostomatidae</i>	10
<i>Astacidae, Lestidae, Agriidae, Gomphidae, Cordulegasteridae, Aeshnidae, Corduliidae, Libellulidae, Psychomyiidae</i>	8
<i>Caenidae, Nemouridae, Rhyacophilidae, Polycentropodidae, Limnephilidae</i>	6
<i>Neritidae, Viviparidae, Ancylidae, Hydroptilidae, Unionidae, Corophiidae, Gammaridae, Platycnemididae, Coenagriida</i>	7
<i>Mesoveliidae, Hydrometridae, Gerridae, Nepidae, Naucoridae, Notonectidae, Pleidae, Corixidae, Haliplidae, Hygrophilidae, Dytiscidae, Gyrinidae, Hydrophilidae, Clambidae, Helodidae, Dryopidae, Eliminthidae, Chrysomelidae, Curculionidae, Hydropsychidae, Tipulidae, Simuliidae, Planariidae, Dendrocoelidae</i>	5
<i>Baetidae, Sialidae, Piscicolidae</i>	4
<i>Valvatidae, Hydrobiidae, Lymnaeidae, Physidae, Planorbidae, Sphaeriidae, Glossiphonidae, Hirudidae, Eropobdellidae, Asellidae</i>	3
<i>Chironomidae</i>	2
<i>Oligochaeta (semua kelas)</i>	1

Sumber: Armitage *et al.*, 1983.

Tabel 3.11 Perhitungan BMWP yang Dimodifikasi

Taksa	Skor
Ephemeroptera: Leptophlebiidae, Leptohyphydae Plecoptera: Perlidae Trichoptera: Brachycentridae, Leptoceridae, Odontoceridae dan Sericostomatidae	10
Odonata: Coenagrionidae, Calopterygidae, Cordulegatridae, Gomphidae dan Libellulidae Trichoptera: Calamoceratidae, Glossosomatidae, Philopotamidae, dan Psychomyiidae	8
Plecoptera: Nemouridae	7

Taksa	Skor
Trichoptera: Polycentropodidae	
Crustacea Trichoptera: Hydrobiosidae, Hydroptilidae	6
Coleoptera: Elmidae, Dryopidae Diptera: Simuliidae, Tipulidae Ephemeroptera: Euthyplociidae, Polymitarcidae Platyhelminthes Trichoptera: Helichopsychidae, Hydropsychidae	5
Arachnida: Hydracarina Coleoptera: Chrysomelidae, Curculionidae dan Haliplidae Diptera: Anthomyiidae, Ceratopogonidae, Chaoboridae, Dixidae, Delichopolodae, Empididae, Limoniidae, Psychodidae, Stratiomyidae dan Tabanidae Ephemeroptera: Caenidae dan Baetidae Megaloptera: Corydalidae, Sialidae	4
Annelida: Hirudinea Coleoptera: Dytiscidae, Gyrinidae, Helodidae, Hydriphilidae dan Noteridae Hemiptera: Belostomatidae, Corixidae, Gerridae, Hydrometridae, Mesoveliidae, Naucoridae, Nepidae, Notonectidae, Pleidae, Veliidae Mollusca	3
Diptera: Chironomidae, Culicidae, Ephidridae, Muscidae, Thaumaleidae	2
Annelida: Oligochaeta Blattaria: Blattidae Diptera: Sciomyzidae, Syrphidae dan Rhagionidae Lepidoptera	1

Sumber: Alba-Tercedor, 1996

Tabel 3.12 Perhitungan BMWP Thai

Taksa	Skor	Taksa	Skor
Oligochaeta	1	Hebridae	5
Erphobdellidae	3	Mesoveliidae	5
Glossiphonidae	3	Naucoridae	5
Hirudinae	3	Nepidae	5
Thiaridae	3	Notonectidae	5
Viviparidae	6	Pleidae	5
Lymneadae	3	Sialidae	4
Planorbidae	3	Brachycentridae	10
Corbiculidae	3	Goeridae	10
Unionidae	6	Hydropsychidae	5
Palaemonidae	8	Hydroptilidae	6
Parathelphusidae	3	Lepidostomatidae	10
Baetidae	4	Leptocedirae	10
Caenidae	7	Molannidae	10
Ephemereidae	10	Odontoceridae	10
Ephemeregidae	10	Philopotamidae	8

Taksa	Skor	Taksa	Skor
Heptageniidae	10	Phryganeidae	10
Leptophlebiidae	10	Psychomyiidae	8
Potamanthiidae	10	Curculionidae	5
Aeshnidae	6	Dryopidae	5
Calopterygidae	6	Dytiscidae	5
Clorocyphidae	6	Elminthidae	5
Coenagrionidae	6	Gyrinidae	5
Cordulegastridae	6	Haliplidae	5
Gomphidae	6	Helolidae	5
Libellulidae	6	Hydrophilidae	5
Macromiidae	6	Hygrobiidae	5
Protoneuridae	3	Psephenidae	5
Nemouridae	7	Chironomidae	2
Perlidae	10	Simuliidae	5
Apelocheiridae	10	Tipulidae	5
Corixidae	5		
Gerridae	5		
Hydrometridae	5		

Sumber: Hoang, 2009

Tabel 3.13 Interpretasi Indeks BMWP

Kelas	Skor	Kategori	Intepretasi
I	>150	Baik	Sangat bersih
	101-150		Bersih atau tidak terganggu secara signifikan
II	61-100	Dapat diterima	Bersih namun sedikit terdampak
III	36-60	Meragukan	Terdampak sedang
IV	15-35	Kritis	Tercemar atau terdampak
V	<15	Sangat kritis	Sangat tercemar

Sumber: Armitage *et al.*, 1983 dan Alba-Tercedor, 1996)

b. Perhitungan Indeks *Belgian Biotic Index*

- 1) Membuat daftar semua taksa makroinvertebrata yang ditemukan di lokasi
- 2) Memberi skor berdasar jenis serta jumlah taksa yang ditemukan berdasarkan Tabel 3.14.

Tabel 3.14 Perhitungan *Belgian Biotic Index*

Kelompok Fauna		Jumlah Total Kelompok Fauna Yang Ada				
		0-1	2-5	6-10	10-15	16+
Terdapat Plecoptera atau Ecdyonuridae	Beberapa unit sistematis		7	8	9	10
	hanya 1 unit sistematis	5	6	7	8	9
Trichoptera berselubung	Beberapa unit sistematis		6	7	8	9
	hanya 1 unit sistematis	5	5	6	7	8
Ancyliidae, Ephemeroptera kecuali Ecdyonuridae	lebih dari 2 unit sistematis			6	7	8
	2 atau < 2 unit sistematis	3	4	5	6	7
Aphelocheirus atau Odonata atau Gammaridae atau Mollusca kecuali Sphareriidae	semua unit sistematis yang disebutkan di atas tidak ada	3	4	5	6	7
Asselus atau Hirudinea atau Sphareriidae atau Hemiptera (kecuali Aphelocheirus)	semua unit sistematis yang disebutkan di atas tidak ada	2	3	4	5	
Tubificidae atau Chironomidae dari kelompok Thummiplumosu	semua unit sistematis yang disebutkan di atas tidak ada	1	2	3		
Eristalinae	semua unit sistematis yang disebutkan di atas tidak ada	0	1	1		

Sumber: De Pauw and Vanhooren, 1983

3.3.3.4 Perhitungan Indeks Berdasarkan Chironomidae

Salah satu indeks yang sering digunakan untuk melakukan penilaian kualitas air sungai berdasarkan komunitas Chironomidae adalah indeks Shannon-Wiener (Persamaan 3.2).

Indeks Shannon Wiener dihitung berdasarkan persamaan berikut:

$$H' = - \sum P_i \ln P_i \quad \dots\dots\dots \text{(Pers. 3.2)}$$

Dimana:

- H' = Indeks keanekaragaman
- P_i = N_i/N
- N_i = Jumlah individu jenis ke i
- N = Jumlah semua individu

3.3.3.5 Analisis Korelasi

Untuk mengetahui korelasi antar variabel, akan digunakan uji korelasi Spearman (*Spearman's Correlation Rank*). Korelasi berdasarkan *Spearman's rank* dipilih sesuai dengan jumlah sampel yakni 10 sampel. Korelasi *Spearman* disarankan untuk jumlah pasangan antara 5-30 pasang. Koefisien korelasi adalah berdasarkan persamaan 3.3. Pada studi ini, korelasi Spearman dihitung menggunakan bantuan SPSS 25.

$$r_s = 1 - \frac{6 \sum_{i=1}^n d_i^2}{n^3 - n} \dots\dots\dots \text{(Pers. 3.3)}$$

Dimana:

r = nilai korelasi spearman

d = selisih setiap pasangan rank

n = jumlah pasangan rank (5<n<30)

Kekuatan korelasi diinterpretasikan sebagai berikut:

0,000 < r < 0,199	sangat lemah
0,200 < r < 0,399	lemah
0,400 < r < 0,599	sedang
0,600 < r < 0,799	kuat
0,800 < r < 1,000	sangat kuat

Sedangkan arah korelasi adalah positif dan negatif. Korelasi positif artinya korelasi yang searah. Semakin besar nilai xi maka makin besar pula nilai yi. Sementara korelasi negatif adalah berkebalikan. Makin besar xi maka akan makin kecil yi.

Halaman Sengaja Dikosongkan

BAB IV

HASIL PENELITIAN DAN PEMBAHASAN

4.1 Penentuan Kualitas Sungai Berdasarkan Metode Fisik-Kimia

4.1.1 Penentuan Kualitas Fisik Sungai

Berdasarkan pengamatan yang telah dilakukan terhadap lokasi sampling meliputi meliputi beberapa variabel yakni: *meander feature*, vegetasi tebing, vegetasi tepian, keberadaan makrofita dan erosi serta sedimentasi, didapatkan data seperti pada Tabel 4.1.

Penentuan kualitas fisik sungai kemudian dilakukan berdasarkan metode pada poin 3.3.3.1 dengan skor mengacu pada Tabel 3.3. contoh perhitungannya adalah seperti di bawah ini.

Perhitungan Kualitas Fisik Sungai untuk Titik 1

1. Skoring tiap variabel

– *Meander feature*:

Meander alami, tidak ada struktur permanen, maka skor adalah 5

– Vegetasi tebing:

Ada penutup tanah dalam jumlah sedang, maka skor adalah 4

– Vegetasi Tepian

Terbuka, rumput dan daerah budidaya, skor 2

– Makrofita:

Tidak dihitung karena posisi di hilir, maka tidak di-skoring

– Erosi/Sedimentasi:

Tidak ada, skor 5

2. Setiap skor dikalikan dengan bobot

Meander feature: $5 \times 3 = 15$

Vegetasi tebing: $4 \times 4 = 16$

Vegetasi Tepian $2 \times 5 = 10$

Erosi/Sedimentasi: $5 \times 4 = 20$

Skor total:

$= 15 + 16 + 10 + 20$

$= 61$

3. Skor total dibagi dengan bobot

$= 61/16$

$= 3,8$

Sehingga skor kualitas fisik untuk titik 1 adalah 4, 1. Skor ini berada dalam rentang kualitas: BAIK

Selanjutnya dengan metode perhitungan yang sama, dihitung skor kualitas fisik Sungai Sampean untuk 9 titik sampling lainnya. Hasilnya seperti dalam Tabel 4.2. Hasil penilaian berdasarkan karakteristik fisik sungai di 10 titik adalah baik (titik 1, 4, 5, 6, 8 dan 9), sedang (titik 2, 7, dan 10) hingga sangat buruk (titik 3). Titik sampling yang masuk dalam kategori baik, adalah yang masih bermeander alami dengan tutupan vegetasi yang masih cukup baik pada tebing maupun tepian sungainya. Beberapa titik yang berupa saluran dan telah diberikan *lining* berupa struktur permanen, masuk pada kategori sedang (titik 2 dan 7) dan sangat buruk (titik 3).

Secara umum, pada semua lokasi sampling memiliki tutupan vegetasi di tepian sungainya. Namun, untuk vegetasi pada bagian tebing, cenderung bervariasi. Sungai-sungai yang tebingnya keseluruhan berupa struktur permanen sudah tidak lagi memiliki vegetasi tebing atau ada tapi dalam jumlah minim (titik 2, titik 3, titik 7). Perlindungan vegetasi berhubungan dengan potensi terjadinya erosi, serta potensi *uptake* sejumlah nutrisi dari air sungai oleh tumbuhan, sehingga turut membantu proses self-purification pada sungai.

Vegetasi pada area tepian sungai (riparian) mendukung stabilitas tebing, menyediakan naungan sebagai kontrol temperatur, perlindungan selama banjir dan menyediakan bahan organik untuk sungai tersebut. Itulah mengapa vegetasi memiliki peran terhadap kualitas air yang baik serta komunitas makroinvertebrata yang sehat (Shilla and Shilla, 2012).

Tabel 4.1 Hasil Pengamatan Kualitas Fisik Sungai Sampean

No	Orde	Variabel Fisik					Foto Lokasi
		<i>Meander feature</i>	Vegetasi tebing	Vegetasi Tepian	Makrofita	Erosi/ Sedimentasi	
1	1	Meander alami, tidak ada struktur permanen	Ada penutup tanah dalam jumlah sedang	Terbuka, rumput dan daerah budidaya (sawah)	Tidak ada	Tidak ada	
2	1	Tidak memungkinkan terbentuknya meander alami. Struktur permanen tepat di kiri dan kanan sungai	Setengah bagian struktur permanen, sebagian lagi vegetasi penutup tanah	Koridor sempit dengan tumbuhan	Tidak ada	Tidak ada	

No	Orde	Variabel Fisik					Foto Lokasi
		<i>Meander feature</i>	Vegetasi tebing	Vegetasi Tepian	Makrofita	Erosi/ Sedimentasi	
3	2	Struktur permanen di kanan dan kiri	Semua tertutup struktur permanen	Koridor sempit dengan sedikit tumbuhan asli	Tidak ada	Sedimentasi dengan luasan sedang	
4	2	Struktur permanen di satu sisi	Ada penutup tanah dalam jumlah sedang	Koridor sempit dengan sedikit tumbuhan	Tidak ada	Tidak ada	

No	Orde	Variabel Fisik					Foto Lokasi
		<i>Meander feature</i>	Vegetasi tebing	Vegetasi Tepian	Makrofita	Erosi/ Sedimentasi	
5	3	Meander alami	Ada penutup tanah dalam jumlah sedang	Koridor sempit dengan tumbuhan asli maupun yang diintroduksi	Tidak ada	Sedang (10%-30%)	
6	3	Meander alami	Ada penutup tanah namun ada sebagian terbuka	Terbuka	Tidak ada	Tidak ada	

No	Orde	Variabel Fisik					Foto Lokasi
		<i>Meander feature</i>	Vegetasi tebing	Vegetasi Tepian	Makrofit	Erosi/ Sedimentasi	
7	4	Tidak memungkinkan terbentuknya meander alami. Struktur permanen tepat di kiri dan kanan sungai	Struktur permanen di kedua sisi	Koridor sempit dengan sedikit tumbuhan	Tidak ada	Tidak ada	
8	4	Meander alami, tidak ada struktur permanen	Ada penutup tanah dalam jumlah sedang	Koridor lebar dengan tumbuhan	Tidak ada	Erosi dan sedimentasi dalam luasan sedang	

No	Orde	Variabel Fisik					Foto Lokasi
		<i>Meander feature</i>	Vegetasi tebing	Vegetasi Tepian	Makrofit	Erosi/ Sedimentasi	
9	5	Meander alami	Ada penutup tanah dalam jumlah sedang	Koridor lebar dengan tumbuhan	Tidak ada	Tidak ada	
10	5	Meander alami dengan hanya sangat sedikit bagian tertutup struktur permanen.	Terdapat vegetasi dalam jumlah banyak	Koridor lebar dengan tumbuhan asli maupun yang introduksi	Tidak ada	Sedimentasi yang ekstensif	

Tabel 4.2 Penilaian Kualitas Fisik Sungai Sampean

Titik	Orde	Variabel					Bobot					Skor	Kategori
		<i>Mean der featur e</i>	Vegetasi tebing	Vegetasi Tepian	Makrofi ta	Erosi/S ediment asi	<i>Meander feature</i>	Vegetasi tebing	Vegetasi Tepian	Makrof ita	Erosi/ Sedim entasi		
1	1	5	4	2	0	5	3	4	5	4	4	3,8	Baik
2	1	1	1	3	0	4	3	4	5	4	4	2,38	Sedang
3	2	1	1	1	0	3	3	4	5	4	4	1,50	Sangat Buruk
4	2	4	4	4	0	4	3	4	5	4	4	4,00	Baik
5	3	5	3	3	0	3	3	4	5	4	4	3,38	Baik
6	3	5	3	3	0	5	3	4	5	4	4	3,88	Baik
7	4	1	1	3	0	5	3	4	5	4	4	2,63	Sedang
8	4	5	3	4	0	3	3	4	5	4	4	3,69	Baik
9	5	5	3	3	0	4	3	4	5	4	4	3,63	Baik
10	5	4	4	4	0	1	3	4	5	4	4	3,25	Sedang

Pengamatan terhadap terjadinya erosi dapat mengindikasikan adanya pergerakan dan deposisi sedimen. Pada lokasi dengan vegetasi yang baik, umumnya tidak dijumpai terjadinya erosi. Sedimentasi dapat mengindikasikan kondisi badan air yang tidak stabil yang dapat tidak sesuai untuk kehidupan banyak organisme termasuk makroinvertebrata (Barbour *et al.*, 1999).

Dari hulu ke hilir, variabel fisik dalam sebuah sistem sungai senantiasa mengalami perubahan. Jika merujuk pada *River Continuum Concept/RCC*, sejumlah perubahan tersebut direspon oleh biota yang ada di dalam sungai termasuk makroinvertebrata. Sungai pada bagian hulu (orde 1-3) berhubungan kuat dengan kondisi riparian, dimana biasanya pada bagian ini vegetasi riparian cenderung rapat, berupa pepohonan yang menyediakan naungan serta memasukkan detritus ke dalam sungai. Masukan ini akan menjadi makanan bagi sejumlah makroinvertebrata yang ada di sungai (Vannote *et al.*, 1980).

Namun, pola seperti ini tidak berlaku di lokasi studi. Perubahan ciri kondisi fisik sungai disebabkan aktivitas manusia telah menyebabkan beberapa titik yang ada di hulu (orde kecil) memiliki vegetasi yang kurang. Kalaupun ada vegetasi dominan berupa rumput dan semak, misalnya di titik 1 dan 2 yang merupakan sungai orde 1 dan di titik 3 yang merupakan sungai orde 2.

Pada sungai sedang (orde 4-6), pengaruh vegetasi riparian mulai berkurang. Sungai sangat dipengaruhi bahan organik yang berasal dari hulu. Pola inipun tidak serupa dengan yang ada di lokasi studi. Sejumlah titik pada orde 4-5 justru memiliki vegetasi lebih rapat daripada pada orde yang lebih kecil sehingga menambah masukan bahan organik ke dalam sungai. Contohnya pada titik 7 dan 8 yang merupakan sungai orde 4. Pada bagian inipun terdapat input bahan organik lain yakni yang berasal dari sampah domestik maupun limbah industri yang dibuang ke sungai. Dengan kondisi ini, konsep RCC tidak berlaku pada Sungai Sampean.

4.1.2 Hasil Pengukuran Parameter Fisik-Kimia

Hasil pengukuran parameter fisik-kimia di 10 titik sampling Sungai Sampean disajikan pada Tabel 4.3. Pengukuran dilakukan sebanyak dua kali

dengan parameter suhu, pH, DO, BOD, amonium, nitrit, nitrat, fosfat. Sedangkan untuk parameter COD hanya dilakukan satu kali, sebagai perbandingan.

Tabel 4.3 Hasil Pengukuran Parameter Fisik-Kimia

Variabel	Titik Sampling									
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Data Umum										
Kordinat	S 07°55. 056'	S 07°55. 163'	S 07°53. 820'	S 07°54. 087'	S 07°54. 479'	S 07°48. 381'	S 08°01. 357'	S 07°45. 113'	S 07°45. 133'	S 07°41. 915'
	E 113°48 .573'	E 113°49 .121'	E 113°47 .762'	E 113°47 .983'	E 113°48 .901'	E 113°58 .450'	E 113°46 .622'	E 113°48 .381'	E 114°00 .378'	E 113°56 .902'
Kecepatan (m/s)	0,7	1	0,6	0,7	0,5	0,5	0,5	0,5	1,2	0,3
Substrat	Batu Kerikil	Lumpur Halus	Lumpur Halus	Batu Kerikil	Pasir	Lumpur Halus				
Fisik-Kimia										
Sampling 1										
Suhu (°C)	28	31	29	30	29	29	29	29	30	30
pH	6,82	7,39	7,3	7,4	7,09	7,73	7,4	7,5	8,78	7,88
DO mg/L	5,15	2,95	4,86	5,05	4,58	4,66	5,71	5,01	5,96	5,32
BOD mg/L	4,43	32,81	5,25	4,13	4,85	4,94	4,38	4,15	4,43	4,77
COD mg/L	13,335	57,14	19,93	10,858	17,597	12,709	12,778	18,403	12,776	13,635
Nitrit mg/L	0,054	0,051	0,088	0,078	0,073	0,072	0,0445	0,2	0,083	0,079
Nitrat mg/L	11,99	2,1125	4,94	3,581	4,001	6,916	9,508	16,235	4,808	11,388
Amonium mg/L	<0,002	<0,002	<0,002	<0,002	<0,002	<0,002	<0,002	<0,002	<0,002	<0,002
Fosfat mg/L	0,14	0,05	0,11	0,14	0,08	0,23	0,16	0,18	0,23	0,26
Sampling 2										
Suhu °C	27	28	28	29	29	30	28	28	30	29
pH	6,29	6,42	6,51	6,65	6,54	6,54	6,41	6,45	6,59	6,86
DO mg/L	5,46	4,36	7,37	7,08	7,27	6,98	7,02	7,81	7,29	7,01
BOD mg/L	3,55	43,23	3,19	2,87	2,81	3,05	2,94	2,55	3,12	2,55
Nitrit mg/L	0,19	0,1	0,12	0,11	0,08	0,16	0,05	0,19	0,2	0,09
Nitrat mg/L	13,98	3,95	5,39	4,31	4,36	8,64	12,63	29,49	11,34	12,77
Amonium mg/L	<0,002	0,08	<0,002	<0,002	<0,002	<0,002	<0,002	<0,002	<0,002	<0,002
Fosfat mg/L	0,14	0,13	0,06	0,06	0,06	0,23	0,13	0,13	0,22	0,17

Secara umum, hasil pengukuran beberapa parameter fisik kimia masih memenuhi baku mutu. Namun, pada lokasi 2 untuk parameter BOD dan DO serta COD, tidak memenuhi baku mutu. Angka BOD, DO dan COD yang terukur di titik 2 adalah 32,81 mg/L dan 43,23 mg/L, sedangkan baku mutu BOD, DO dan COD untuk kelas 3 adalah 6 mg/L, 3 mg/L dan 50 mg/L).

Jika dibandingkan dengan data sekunder hasil pengukuran Dinas PU SDA Provinsi Jawa Timur, hasil pengukuran BOD pada studi ini cenderung menunjukkan angka lebih rendah. Pada titik 7, berdasar data Dinas PU SDA, 6 dari 12 kali pengukuran di tahun 2017 hasilnya melampaui baku mutu. Angka BOD tertinggi 90,15 mg/L dan terendah 4,10 mg/L.

Input bahan organik yang tinggi pada lokasi ini berasal dari limbah *home industry* tahu yang dibuang ke badan air tanpa diolah terlebih dahulu. Air limbah tahu memiliki karakteristik BOD dan COD yang tinggi. Kisaran BOD limbah cair tahu adalah 3500-4500 mg/L dan BOD 5000-8500 mg/L. Limbah tahu yang dibuang ke lingkungan tanpa diolah terlebih dahulu menyebabkan bau pada air sungai (Faisal *et al.*, 2015). Hal ini juga dijumpai pada titik 2, beberapa penduduk setempat yang ditemui mengeluhkan bau pada air sungai di lokasi ini.

Bahan organik juga berasal dari buangan limbah domestik dari permukiman penduduk di sepanjang sungai dekat lokasi. Menurut Margayan (2016). Tingginya pembuangan limbah domestik ke sungai akan menyebabkan kualitas sungai sangat memburuk yang salah satunya ditandai tingginya angka BOD. Aliran sungai antara titik 1 ke titik 2 sekitar 1,5 kilometer melalui daerah permukiman padat penduduk. Menurut pengamatan, di sekitar titik sampling 2 ini juga merupakan daerah dengan kondisi sanitasi yang buruk. Bukan hanya ditemui pembuangan *grey water* langsung ke sungai, namun praktik Buang Air Besar Sembarangan (BABS) secara langsung ke sungai masih ditemui di sekitar titik sampling ini.

Pada sampling pertama, kadar nitrit yang terukur adalah 0,051-0,2 mg/L (baku mutu nitrit untuk sungai kelas 3 adalah 0,06 mg/L). Di 7 titik sampling kadar nitrit terukur melampaui baku mutu yaitu di titik 3, 4, 5, 6, 8, 9, dan 10. Sedangkan pada sampling kedua di semua titik kecuali titik 7, terukur kadar nitrit yang melampaui baku mutu.

Nitrit (NO_2^-) biasanya tidak ada atau hadir dalam konsentrasi relatif kecil jika dibandingkan dengan nitrat (NO_3^-) di perairan alami karena merupakan perantara yang tidak stabil secara termodinamik dalam siklus nitrogen yang dimediasi mikroba. Nitrit dengan cepat diubah menjadi nitrat dalam air beroksigen dan direduksi menjadi amonia di bawah kondisi anoxic (Wieben, 2012).

Kadar nutrient yang tinggi, salah satunya nitrit adalah hal yang biasa dijumpai pada sungai yang mengalir melalui daerah pertanian (Mello *et al.* 2017; Solis *et al.*, 2018). Hal ini sesuai dengan kondisi daerah studi dimana 68,82 % dari DAS Sampean adalah berupa tanah pertanian dan perkebunan.

4.1.3 Perhitungan LISEC Score

Berdasarkan parameter kimia berupa *dissolved oxygen* yang dikonversi menjadi % DO saturasi, BOD, amonium serta fosfat, dihitung LISEC Score. Cara perhitungan seperti dijelaskan dalam poin 3.3.3.2. Nilai % DO saturasi, BOD, amonium serta fosfat yang digunakan adalah rata-rata nilai yang didapatkan pada dua kali pengukuran. Contoh perhitungan adalah sebagai berikut:

1. DO 5,15 mg/L dengan suhu 28, berdasarkan Tabel DO saturasi adalah 7,827, maka % DO adalah:
$$= 5,15/7,827$$
$$= 0,657978791$$
$$= 65,80 \%$$

Dengan cara yang sama, hasil pengukuran DO ke 2 adalah 68,52% sehingga rata-rata %DO adalah:
$$= (65,80 \% + 68,52\%)/2$$
$$= 67,16 \%$$

2. Berdasar angka % DO, BOD, amonium dan fosfat diberikan skor sesuai Tabel 3.6.
 - % DO 67,16 %, maka skor adalah 3
 - BOD 3,99 mg/L, maka skor adalah 2
 - Amonium <0,002mg/L maka skor adalah 1

- Fosfat 0,14 mg/L, maka skor adalah 2

Maka skor total untuk titik 1 adalah:

$$= 3 + 2 + 1 + 2$$

$$= 8$$

3. Berdasar Tabel 3.7, skor 8 termasuk kualitas: BAIK

Dengan menggunakan cara perhitungan yang sama, maka hasil perhitungan untuk 10 titik adalah sebagaimana terdapat pada Tabel 4.4.

Tabel 4.4 Perhitungan LISEC Score

Titik Samp ling	Or de	Nilai Rata-rata				Skor				To- tal	Kua- litas Air
		% DO %	BOD mg/L	Amoni um mg/L	Fosfat mg/L	% DO	BOD	Amo- nium	Fos- fat		
1	1	67,16	3,99	<0,002	0,14	3	2	1	2	8	Baik
2	1	47,70	38,02	<0,41	0,09	4	5	1	2	12	Se- dang
3	2	78,68	4,22	<0,002	0,085	2	2	1	2	7	Baik
4	2	79,43	3,50	<0,002	0,1	2	2	1	2	7	Baik
5	3	77,04	3,83	<0,002	0,07	2	2	1	2	7	Baik
6	3	76,47	4,00	<0,002	0,23	2	2	1	2	7	Baik
7	4	81,97	3,66	<0,002	0,145	2	2	1	2	7	Baik
8	4	82,46	3,35	<0,002	0,155	2	2	1	2	7	Baik
9	5	87,64	3,78	<0,002	0,225	2	2	1	2	7	Baik
10	5	80,76	3,66	<0,002	0,215	2	2	1	2	7	Baik

Berdasarkan LISEC Score, kualitas air Sungai Sampean di titik 1, 3-10 adalah: Baik. Sedangkan kualitas air di titik 2: Sedang. Kualitas air di titik 2 tidak sebaik 9 titik lainnya, ini dikarenakan berbagai beban pencemar yang diterima titik ini yaitu industri tahu yang membuang limbah tanpa pengolahan terlebih dahulu dan limbah domestik yang berasal dari permukiman padat penduduk di sepanjang sungai.

Angka BOD sebesar 38,02 mg/L pada titik 2 mendapat skor terburuk, yakni 5. Sedangkan nilai BOD pada 9 titik lainnya 3,35-4,00 mg/L berada pada rentang skor yang masih cukup baik yakni 2. Tingginya BOD pada titik 2 juga diikuti rendahnya DO. Persen DO pada titik ini hanya sebesar 47,70 % dan berada pada rentang skor 4.

4.1.4 Perhitungan Dutch Score

DUTCH Score dihitung berdasarkan parameter kimia berupa *dissolved oxygen* yang dikonversi menjadi persen DO saturasi, BOD, amonium. Cara perhitungan seperti dijelaskan dalam poin 3.3.3.2. Nilai % DO saturasi, BOD dan amonium yang digunakan adalah rata-rata nilai yang didapatkan pada dua kali pengukuran. Contoh perhitungan sebagai berikut:

1. Berdasar angka % DO, BOD, amonium dan fosfat diberikan skor sesuai Tabel 3.8.

- % DO 67,16 %, maka skor adalah 3
- BOD 3,99 mg/L, maka skor adalah 2
- Amonium <0,002 mg/L maka skor adalah 1

Maka skor total untuk titik 1 adalah:

$$= 3 + 2 + 1$$

$$= 6$$

2. Berdasar Tabel 3.9, skor 8 termasuk kualitas: BAIK

Dengan menggunakan cara perhitungan yang sama, maka hasil perhitungan untuk 10 titik adalah sebagaimana terdapat pada Tabel 4.5.

Tabel 4.5 Perhitungan DUTCH Score

Titik Sampling	Nilai Rata-rata			Skor			Total	Kualitas Air
	% DO (%)	BOD (mg/L)	Amonium (mg/L)	% DO	BOD	Amonium		
1	67,16	3,99	<0,002	3	2	1	6	Baik
2	47,70	38,02	<0,41	4	5	1	10	Agak Tercemar
3	78,68	4,22	<0,002	2	2	1	5	Baik
4	79,43	3,50	<0,002	2	2	1	5	Baik
5	77,04	3,83	<0,002	2	2	1	5	Baik

Titik Sampling	Nilai Rata-rata			Skor			Total	Kualitas Air
	% DO (%)	BOD (mg/L)	Amonium (mg/L)	% DO	BOD	Amonium		
6	76,47	4,00	<0,002	2	2	1	5	Baik
7	81,97	3,66	<0,002	2	2	1	5	Baik
8	82,46	3,35	<0,002	2	2	1	5	Baik
9	87,64	3,78	<0,002	2	2	1	5	Baik
10	80,76	3,66	<0,002	2	2	1	5	Baik

Berdasarkan DUTCH Score, kualitas air Sungai Sampean di titik 1, 3-10 adalah: Baik. Sedangkan kualitas air di titik 2: Agak Tercemar. Hasil ini tidak berbeda jauh dengan kualitas air sungai berdasarkan LISEC Score. LISEC Score dan DUTCH Score hanya berbeda pada satu komponen skornya saja, yakni fosfat. Pada DUTCH Score, nilai fosfat tidak dimasukkan dalam perhitungan. Kadar fosfat yang terukur di 10 titik sampling juga rendah yaitu pada rentang 0,09-0,225 mg/L (Baku mutu sungai kelas 3 adalah 1 mg/L) dan berada pada rentang skor 2, sehingga skor berdasar LISEC dan DUTCH tidak terpaut jauh.

Seperti halnya pada hasil LISEC Score, DUTCH Score juga menunjukkan bahwa kualitas air di titik 2 tidak sebaik 9 titik lainnya, ini dikarenakan berbagai beban pencemar berupa limbah tahu dan limbah domestik yang berasal dari bagian hulu titik ini. Bahan-bahan organik pada limbah tahu yang belum terolah, ditambah bahan-bahan organik dari limbah domestik adalah penyebab tingginya angka BOD pada titik ini.

Untuk mengetahui pengaruh fluktuasi hasil pengukuran beberapa parameter fisik-kimia terhadap kualitas air Sungai Sampean dilakukan perhitungan LISEC SCORE dan DUTCH SCORE dengan menggunakan data sekunder hasil pengukuran yang dilakukan oleh Dinas Pekerjaan Umum Sumber Daya Air Provinsi Jawa Timur terhadap 7 titik sampling di Sepanjang Sungai Sampean tahun 2017. Hasil Perhitungan sebagaimana tercantum dalam Tabel 4.6 dan 4.7.

Tabel 4.6 Perhitungan LISEC Score dengan Data Sekunder

Ti-tik	Parameter				Skor					Kualitas Air
	% DO	BOD	Amonium	Fosfat	% DO	BOD	Amonium	Fosfat	Total	
1	82,22	14,15	0,128	0,172	2	4	3	2	11	Sedang
2	79,74	12,01	0,101	0,142	2	4	3	2	11	Sedang
3	78,68	11,47	0,087	0,140	2	4	1	2	9	Baik
4	80,96	11,98	0,094	0,159	2	4	1	2	9	Baik
5	82,23	13,00	0,116	0,154	2	4	3	2	11	Sedang
6	86,02	23,17	0,085	0,633	2	5	1	3	11	Sedang
7	75,07	16,40	0,098	0,176	2	5	1	2	10	Sedang

Tabel 4.7 Perhitungan DUTCH Score dengan Data Sekunder

Ti-tik	Parameter				Skor				Kualitas Air
	% DO	BOD	Amonia	Fosfat	% DO	BOD	Amonia	Total	
1	82,22	14,15	0,128	0,172	2	4	3	9	Agak Tercemar
2	79,74	12,01	0,101	0,142	2	4	3	9	Agak Tercemar
3	78,68	11,47	0,087	0,140	2	4	1	7	Baik
4	80,96	11,98	0,094	0,159	2	4	1	7	Baik
5	82,23	13,00	0,116	0,154	2	4	3	9	Agak Tercemar
6	86,02	23,17	0,085	0,633	2	5	1	8	Agak Tercemar
7	75,07	16,40	0,098	0,176	2	5	1	8	Agak Tercemar

Kualitas air yang dihitung berdasarkan data sekunder bersumber dari hasil pemantauan kualitas air tahun 2017 oleh Dinas PU SDA Provinsi Jawa Timur jika dibandingkan dengan kualitas air yang dihitung berdasar data primer dari studi ini dengan menggunakan LISEC SCORE, menunjukkan kualitas lebih buruk. Titik sampling nomer 1 Dinas PU SDA Provinsi berada pada lokasi yang sama dengan titik sampling nomor 7 pada studi ini. Sementara titik nomer 2 sama dengan titik sampling 8 pada studi ini dan titik sampling 6 sama dengan titik 9 pada studi ini. Pada titik 1 data sekunder menunjukkan kualitas air sedang sedangkan data primer menunjukkan kualitas air baik, demikian pula dengan titik 2 dan titik 6.

Hal serupa terjadi juga pada penilaian kualitas air berdasarkan DUTCH Score. Di titik 1, 2 dan 6 berdasar data sekunder menunjukkan kualitas air Agak Tercemar, sementara di titik yang sama berdasarkan data primer menunjukkan kualitas air Baik. Berdasarkan hasil perhitungan ini dapat diketahui bahwa kualitas air Sungai Sampean mengalami fluktuasi dari waktu-ke waktu. Hal ini juga menunjukkan bahwa frekuensi pengukuran yang jauh lebih besar (12 kali pengukuran pada data sekunder) memberikan hasil yang berbeda dengan frekuensi pengukuran yang lebih kecil (hanya 2 kali pengukuran pada studi ini). Ini juga membuktikan salah satu karakteristik penilaian kualitas air dengan metode kimiawi yaitu membutuhkan pengukuran berulang-ulang dalam seri waktu (Rahayu *et al.*, 2009).

4.2 Penentuan Kualitas Sungai Berdasarkan Metode Biologi

4.2.1 Komunitas Makroinvertebrata

Makroinvertebrata yang ditemukan pada 10 titik sampling adalah sebagaimana dalam Tabel 4.8.

Tabel 4.8 Komunitas Makroinvertebrata di Lokasi Studi

Makroinvertebrata										
(Jumlah)										
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Plecoptera: Perlidae	-	-	-	45	-	-	134	66	-	-
Ephemeroptera: Heptageniidae	2	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Ephemeroptera: Baetidae	-	-	-	-	37	1	-	-	4	-
Odonata: Gomphidae	-	-	-	-	-	-	-	2	-	-
Ephemeroptera: Caenidae	2	-	-	21	47	-	21	39	38	-
Crustacea: Palaemonidae	-	-	-	-	-	-	-	-	-	949
Crustacea: Parathelphusidae	20	-	3	-	-	1	28	8	-	-
Trichoptera: Hydropsychidae	2	-	-	5	4	5	209	14	3	-
Diptera: Tipulidae	2	-	1	-	-	4	3	1	-	-
Diptera: Thaumalidae	-	-	-	-	-	-	-	1	-	-

Makroinvertebrata										
(Jumlah)										
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Mollusca: Thiaridae	2	-	128	3	-	-	8	55	-	10
Mollusca: Pilidae	1	-	-	1	-	-	2	-	-	-
Annelida: Hirudinea	-	-	-	-	-	-	-	1	1	-
Arachnidae: Hydrachinidae	1	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Coleoptera: Elmidae	-	-	-	1	-	-	-	-	-	-
Coleoptera: Dytiscidae	2	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Diptera: Culicidae	-	-	-	-	-	1	-	-	-	-
Plecoptera: Corydalidae	1	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Hemiptera: Gerridae	17	-	-	-	72	-	-	-	-	-
Lepidoptera: Pylalidae	-	-	-	2	-	-	-	-	-	-
Diptera: Chironomidae	2	>1500	-	3	28	46	9	-	-	-
	54	>1500	133	80	181	60	414	187	48	959

Ada 21 famili yang ditemukan di seluruh wilayah studi yakni: Plecoptera: Perlidae, Ephemeroptera: Heptageniidae, Ephemeroptera: Baetidae, Odonata: Gomphidae, Ephemeroptera: Caenidae, Crustacea: Palaemonidae, Crustacea: Parathelphusidae, Trichoptera: Hydropsychidae, Diptera: Tipulidae, Diptera: Thaumalidae, Mollusca: Thiaridae, Mollusca: Pilidae, Annelida: Hirudinea Arachnidae: Hydrachinidae Coleoptera: Elmidae, Coleoptera: Dytiscidae, Megaloptera: Corydalidae Hemiptera: Gerridae, Lepidoptera: Pylalidae dan Diptera: Chironomidae.

Kualitas air dan kesehatan ekosistem dapat dinilai melalui keragaman makroinvertebrata yang dapat dievaluasi dengan mempertimbangkan komposisi taksonomi, kelompok trofik fungsional yang ada, dan jenis-jenis komunitas yang dominan (Barbosa, 2001). Berdasarkan studi Kartikasari *et al.*, (2013), semakin baik kualitas sungai maka semakin tinggi keragaman makroinvertebratanya. Titik sampling yang memiliki jumlah taksa terbanyak adalah titik 1 dengan 11 famili. Sedangkan titik 2 memiliki keragaman terendah karena hanya ditemukan Diptera: Chironomidae di titik tersebut. Peta komposisi makroinvertebrata disajikan dalam Gambar 4.1.

Dalam studi ini, titik 1 yang memiliki keragaman tertinggi adalah badan air di orde 1 yang sangat berdekatan dengan sumber air berupa mata air. Beban pencemar hanya berasal dari pertanian serta sedikit aktivitas domestik yang dilakukan masyarakat. Secara fisik, sungai pada titik ini masih memiliki meander alami dengan vegetasi pada tebing serta tepian sungai. Pada titik 1 juga ditemukan banyak bahan organik berupa CPOM/*Coarse Particulate Organic Matter* yang berasal dari daun-daun tumbuhan di tepian sungai. Sedangkan titik 2 menerima beban pencemar dari industri tahu, pertanian dan domestik. Secara fisik, pada titik ini sungai tidak memiliki meander alami akibat diberikannya perkerasan berupa struktur permanen pada tebing kiri dan kanan sungai dan dekatnya jarak antara sungai dengan bangunan di sekitarnya. Tebing sungai berupa struktur permanen dan bukan berupa vegetasi tidak memungkinkan untuk terjadi uptake nutrient oleh tanaman. Vegetasi di sekitar sungaipun cukup terbatas.

Kelimpahan makroinvertebrata toleran juga merupakan suatu indikasi kualitas air buruk. Pada titik 2 dimana ditemukan lebih dari 1500 individu Chironomidae dari genus *Chironomus* menunjukkan kelimpahan yang tinggi dari makroinvertebrata toleran yakni *Chironomus*. Hal ini terjadi pula pada studi di Sungai Nimbai Papua yang tercemar limbah organik berasal dari pengolahan kelapa sawit. Pada lokasi yang tercemar organik tinggi menunjukkan kelimpahan makroinvertebrata toleran yang tinggi pula (Laetamia *et al.*, 2017).

Titik sampling yang juga hanya memiliki sedikit jenis makroinvertebrata adalah titik 3 (4 jenis), titik 9 (4 jenis) dan titik 10 (2 jenis). Hal ini dikarenakan pada bagian hulu titik 3 terdapat bendung yang dapat menjadi faktor pengganggu. Substrat pada bagian ini juga berupa lumpur yang merupakan jenis substrat yang tidak stabil dan biasanya sedikit jenis makroinvertebrata yang dapat ditemukan didalamnya.

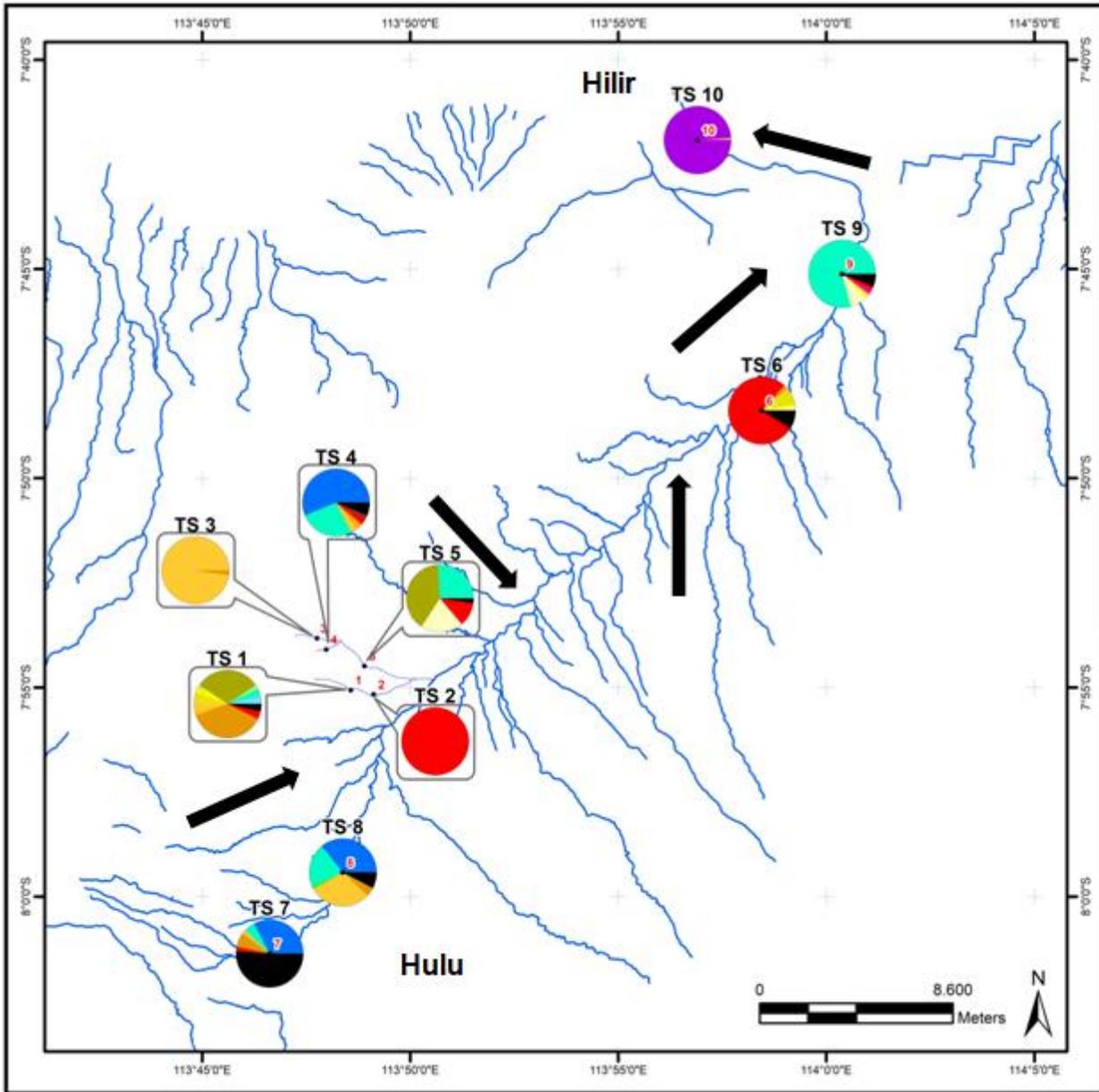
Sementara pada titik 9 substrat berupa pasir halus dan juga sangat sedikit ditemukan bahan organik berupa CPOM yang dapat menjadi sumber makanan bagi makroinvertebrata. Sedangkan pada titik 10 yang sangat berdekatan dengan muara hanya ditemukan Palaemonidae yakni udang muara dan Mollusca: Thiaridae.

Salinitas adalah salah satu faktor yang berpengaruh terhadap kehidupan makroinvertebrata. Sejumlah taksa sangat sensitif terhadap salinitas tinggi, sementara lainnya cukup toleran. Famili Baetidae termasuk paling sensitif terhadap salinitas tinggi, diikuti oleh Chironomidae, Gastropoda, Ephemeroptera-Non Baetidae, Plecoptera, Trichoptera, Hemiptera, Coleoptera. Sementara Crustacea adalah taksa yang memiliki toleransi paling baik terhadap salinitas tinggi (Kefford et al., 2003).

Crustacea: Palaemonidae memiliki kemampuan hidup pada salinitas 2 % hingga 35 %. Biota ini memiliki hyperosmotic regulator pada salinitas 5, 12, 20 % dan hypoosmotic regulator pada salinitas 35 dan 43 % (Kirkpatrick and Jones, 1985). Rentang salinitas di atas adalah nilai yang bisa dijumpai di muara hingga laut. Dua temuan studi di atas dapat menjelaskan kondisi berlimpahnya famili Palaemonidae pada titik 9 yang merupakan daerah dekat muara. Sementara famili yang lain hanya Mollusca: Thiaridae yang ditemukan pada titik ini karena famili lainnya tidak dapat bertahan hidup.

Plecoptera biasa diasosiasikan dengan habitat air bersih yang mengalir deras (Cummins and Merritt, 1978). Plecoptera dari famili Perlidae dalam studi ini ditemukan dalam jumlah cukup banyak di titik 4, 7 dan 8 (sebanyak 45, 134 dan 66 individu). Secara umum Sungai Sampean termasuk sungai dengan slope yang besar dan pada kondisi normal aliran relatif deras. Pada 10 titik sampling kecepatan aliran terukur sebesar 0,5 hingga 1,2 m/detik.

Trichoptera: Hydropsychidae ditemukan dalam jumlah cukup melimpah (209 individu) pada titik 7. Trichoptera biasa ditemukan dalam perairan berarus deras. Arus yang deras adalah hal yang penting berhubungan dengan respirasi serta pengumpulan makanan, karena taksa ini tergolong *filterer* (Cummins and Merritt, 1978). Pada titik 7 kecepatan aliran adalah 0,5 m/detik. Melimpahnya jumlah Hydropsychidae juga berhubungan dengan ketersediaan makanan pada titik ini. Bahan organik berupa dedaunan khususnya daun bambu banyak terdapat di lokasi ini, ditambah bahan organik berasal dari sampah kebun atau dapur yang dibuang masyarakat sekitar sungai. Hydropsychidae ditemukan pada bagian-bagian sungai yang terdapat tumpukan dedaunan pada bagian dasarnya.



GAMBAR 4.1
PETA KOMPOSISI
MAKROINVERTEBRATA

SKALA 1:250.000

Keterangan :

- TITIK SAMPLING

Plecoptera: Perlidae	Megaloptera: Corydalidae
Ephemeroptera: Heptageniidae	Lepidoptera: Pyralidae
Ephemeroptera: Caenidae	Crustacea: Palaemonidae
Odonata: Gomphidae	Crustacea: Palaemonidae
Arachnida: Hydrachnidae	Annelida: Hirudinea
Hemiptera: Gerridae	Diptera: Chironomidae
Ephemeroptera: Baetidae	Diptera: Culicidae
Coleoptera: Dytiscidae	Diptera: Thaumalidae
Diptera: Tipulidae	Coleoptera: Elmidae
Mollusca: Pisidae	Trichoptera: Hydropsychidae
Mollusca: Thiaridae	

Dosen Pembimbing :
Prof. Dr. Yulinah
Trihadiningrum, M.AppSc.

Dibuat Oleh :
Widyanti Yuliandari - 0321650012019

Magister Teknik Lingkungan
Departemen Teknik Lingkungan
Fakultas Teknik Sipil, Lingkungan dan
Kebumian
Institut Teknologi Sepuluh Nopember
Surabaya
2018

Halaman Sengaja Dikosongkan

Berdasarkan studi Forio *et al.* (2017), Salah satu jenis Moluska yakni Thiaridae, biasa ditemukan pada lokasi dengan substrat yang halus. Thiaridae ditemukan di beberapa lokasi sampling dan pada lokasi 3 yaitu sungai ber-orde 2 yang terletak di Desa Selolembu, Thiaridae menjadi taksa dominan yang keberadaannya cukup melimpah (71 individu). Hal ini sesuai dengan kondisi lokasi 3 yang merupakan sungai dengan substrat berupa lumpur yang sangat halus. Gastropoda diantaranya Thiaridae adalah taksa yang tidak memiliki korelasi signifikan dengan sejumlah parameter fisik-kimia air. Famili ini hanya berkorelasi lemah dengan *Dissolved Oxygen* bahkan dapat hidup dalam kondisi oksigen sangat rendah (Sharma *et al.*, 2013).

Ephemeroptera dari famili Caenidae dan Baetidae juga ditemukan dalam wilayah studi. Namun, dibandingkan dengan Caenidae, Baetidae menunjukkan toleransi yang lebih tinggi terhadap pencemar. Baetidae bisa ditemukan pada air yang sangat bersih hingga air yang sedikit tercemar (Alhejoj *et al.*, 2014). Parathelphusidae dan Palaemonidae adalah dua famili dari subfilum Crustacea yang ditemukan di lokasi studi di Filipina. Keduanya adalah taksa yang dapat hidup pada kualitas air sedang (Fajardo *et al.*, 2015).

Masukan bahan organik ke badan air diikuti dekomposisi biologis, akan menyebabkan penurunan level oksigen di dalam air. Dalam kondisi ini, hanya jenis yang memiliki kebutuhan oksigen rendahlah yang dapat bertahan hidup, misalnya *Chironomus*. Kondisi inilah yang terjadi pada titik 2. Input limbah dari *home industry* tahu yang tidak diolah terlebih dahulu sebelum dibuang, ditambah bahan organik dari aktivitas penduduk di sepanjang sungai, menyebabkan beban bahan organik yang tinggi pada badan air ini. *Chironomus* dapat bertahan hidup dan jumlahnya melimpah di titik 2 dengan DO rendah (2,95 mg/L) karena memiliki *respiratory pigment (haemoglobin)* yang dapat membuatnya lebih efisien melakukan penyerapan oksigen (Alba-Tercedor, 1996).

4.2.2 Perhitungan Indeks BMWP

Berdasarkan famili makroinvertebrata yang ditemukan (Tabel 4.8) menggunakan metode perhitungan indeks biotik pada Tabel 3.10, maka dilakukan perhitungan indeks BMWP sebagai berikut.

Contoh perhitungan BMWP Untuk Titik 1

1. Memberi skor famili yang ditemukan berdasarkan Tabel 3.10
 - Ephemeroptera: Heptageniidae, skor 10
 - Ephemeroptera: Caenidae, skor 7
 - Coleoptera: Dytiscidae, skor 5
 - Trichoptera: Hydropsychidae, skor 5
 - Diptera: Tipulidae, skor 5
 - Hemiptera: Gerridae, skor 5
 - Ephemeroptera: Baetidae, skor 4
 - Diptera: Chironomidae, skor 2

$$\text{Skor total} = 10 + 7 + 5 + 5 + 5 + 5 + 4 + 2 = 43$$

Dalam perhitungan ini, makroinvertebrata yang ditemukan hanya dalam jumlah 1 individu tidak diperhitungkan karena dianggap sebagai makroinvertebrata yang hanyut/berasal dari lokasi lain.

2. Intepretasi skor berdasarkan Tabel 3.13 adalah: Terdampak Sedang

Dengan cara perhitungan yang sama, hasil perhitungan skor BMWP untuk 10 titik sampling sebagaimana pada Tabel 4.9.

Tabel 4.9 Perhitungan Indeks BMWP

Taksa	Skor	Skor BMWP Per Titik Sampling									
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Plecoptera: Perlidae	10	-	-	-	10	-	-	10	10	-	-
Ephemeroptera: Heptageniidae	10	10	-	-		-	-	-	-	-	-
Odonata: Gomphidae	8	-	-	-	-	-	-	-	8	-	-
Ephemeroptera: Caenidae	7	7	-	-	7	7	-	7	7	7	-
Coleoptera: Dytiscidae	5	5	-	-	-	-	-	-	-	5	-
Trichoptera:	5	5	-	-	5	5	5	5	5	-	-

Taksa	Skor	Skor BMWP Per Titik Sampling									
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Hydropsychidae											
Diptera: Tipulidae	5	5	-	-	-	-	5	5	-	-	-
Hemiptera: Gerridae	5	5		-		5	-				
Ephemeroptera: Baetidae	4	4	-	-	-	4	-	-	-	4	-
Diptera: Chironomidae	2	2	2	-	-	2	2	2	-	-	-
Skor Total		43	2	0	22	23	12	29	30	16	0
Kualitas Air		Terdampak Sedang	Tercemar Berat	Tercemar Berat	Tercemar Berat	Tercemar	Tercemar Berat	Tercemar	Tercemar	Tercemar	Tercemar Berat

Sedangkan perhitungan berdasarkan modified BMWP (Alba-Tercedor, 1996) adalah seperti pada Tabel 4.10.

Tabel 4.10 Perhitungan BMWP yang Dimodifikasi

Taksa	Skor	Skor BMWP Per Titik Sampling									
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Plecoptera: Perlidae	10	10	-	-	10	-	-	10	10	-	-
Odonata: Gomphidae	8	-	-	-	-	-	-	-	8	-	-
Crustacea	6	6	-	6	-	-	6	6	6	-	6
Coleoptera: Elmidae	5	-	-	-	-		-	-	-	-	-
Trichoptera: Hydropsychidae	5	5	-	-	5	5	5	5	5	5	-
Diptera: Tipulidae	5	5	-	-	-	-	5	5	-	-	-
Ephemeroptera: Caenidae	4	4	-	-	4	4	-	4	4	4	-
Ephemeroptera: Baetidae	4	-	-	-	-	4	4	-	-	4	-
Hemiptera: Gerridae	3	3	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Annelida: Hirudinea	3	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Coleoptera:	3	3	-	-	-	-	-	-	-	-	-

Taksa	Skor	Skor BMWP Per Titik Sampling									
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Dytiscidae											
Mollusca	3	3		3	3	-	-	6	3	-	3
Diptera: Chironomidae	2	2	2	-	2	2	2	2	-	2	-
Skor Total		31	2	9	24	15	22	38	36	16	9
Kualitas Air		Tercemar	Tercemar Berat	Tercemar Berat	Tercemar Berat	Tercemar	Tercemar	Terdampak Sedang	Terdampak Sedang	Tercemar	Tercemar Berat

Dihitung pula indeks BMWP menggunakan metode BMWP-Thai (Tabel 4.11).

Tabel 4.11 Perhitungan BMWP-Thai

Taksa	Skor	Skor BMWP Per Titik Sampling									
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Plecoptera: Perlidae	10	-	-	-	10	-	-	10	10	-	-
Ephemeroptera: Heptageniidae	10	10			-	-	-	-	-	-	-
Crustacea: Palaemonidae	8	-	-	-	-	-	-	-	-	-	8
Ephemeroptera: Caenidae	7	7	-	-	7	7	-	7	7	7	-
Odonata: Gomphidae	6	-	-	-	-	-	-	6	6	-	-
Trichoptera: Hydropsychidae	5	5	-	-	5	5	5	5	5	5	-
Diptera: Tipulidae	5	5	-	-	-	-	5	-	-	-	-
Hemiptera: Gerridae	5	5	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Coleoptera: Dytiscidae	5	5	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Ephemeroptera: Baetidae	4	-	-	-	4	4	-	-	4	4	-
Mollusca: Thiaridae	3	3		3	3	-	-	3	3	-	3

Taksa	Skor	Skor BMWP Per Titik Sampling									
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Crustacea: Parathelphusidae	3	3	-	3	-	-	-	3	3	-	-
Diptera: Chironomidae	2	2	2	-	2	2	2	2	-	-	-
Skor Total		45	2	6	31	18	12	36	38	16	11
Kualitas Air		Terdampak Sedang	Tercemar Berat	Tercemar Berat	Tercemar	Tercemar	Tercemar Berat	Terdampak Sedang	Terdampak Sedang	Tercemar	Tercemar Berat

Perhitungan indeks berdasarkan *Biological Monitoring Working Party* tidak mencakup sejumlah famili yang ditemukan pada lokasi sampling, seperti: Mollusca: Thiaridae dan Pilidae, Crustacea: Parathelphusidae dan Palaemonidae. Hal ini membuat indeks berdasar *original* BMWP pada sejumlah titik menjadi sangat rendah, meski jumlah famili yang ditemukan di lokasi tersebut relatif bervariasi termasuk taksa dengan toleransi sedang. Pada titik 10 bahkan nilai indeks hanya 0, karena pada titik tersebut hanya ditemukan Thiaridae serta Parathelphusidae yang tidak masuk dalam sistem perhitungan indeks BMWP.

Tidak masuknya beberapa famili ke dalam sistem indeks ini sangat wajar jika melihat sejarah perkembangan BMWP sendiri yang pada awalnya muncul dan dikembangkan di Inggris. Jenis taksa yang ada di Eropa tentu tidak persis sama dengan yang ditemukan di Asia Tenggara seperti Indonesia.

Indeks BMWP yang diadaptasi dari Alba-Tercedor memiliki perbedaan pada skor beberapa taksa dengan BMWP *original*. Misalnya skor untuk Caenidae yang pada BMWP adalah 7, sementara pada *modified* BMWP adalah 4. Skor untuk Dytiscidae yang pada *original* BMWP adalah 5, namun pada BMWP *modified* adalah 3. Sistem perhitungan indeks ini memuat beberapa taksa yang tidak dimasukkan pada perhitungan BMWP *original* yakni: Crustacea (skor 6),

dan Mollusca (skor 3). Perbedaan dari BMWP original adalah tidak dimasukkannya makroinvertebrata sensitif yakni Ephemeroptera: Heptageniidae.

Modifikasi lain dari BMWP yang juga digunakan dalam studi ini adalah BMWP Thai. Sistem perhitungan indeks ini disesuaikan dengan jenis taksa makroinvertebrata di Thailand. Secara umum, indeks BMWP Thai untuk 10 titik sampling lebih tinggi dibandingkan dengan *original* BMWP maupun *modified* BMWP berdasar Alba-Tercedor. Hal ini dikarenakan sistem perhitungan indeks ini mencakup lebih banyak taksa.

4.2.3 Perhitungan Indeks *Belgian Biotic Index* /BBI

Perhitungan indeks berdasarkan BBI, selain memperhatikan jenis taksa juga dihitung berdasarkan jumlahnya. Contoh perhitungan indeks BBI untuk titik sampling 1 adalah sebagai berikut:

1. Berdasakan daftar semua taksa makroinvertebrata yang ditemukan di lokasi (Tabel 4.8) diberikan skor dengan mengacu Tabel 3.14.
2. Pada titik 1 ditemukan 2 famili Ephemeroptera yakni:
 - Ephemeroptera Heptageniidae sebanyak 2 individu
 - Ephemeroptera Caenidae sebanyak 2 individu
 - Total Ephemeroptera yang ditemukan adalah 4 individu
3. Skor untuk titik 1 adalah 4
4. Kualitas air berdasar skor tersebut adalah: Tercemar Sedang

Hasil perhitungan berdasarkan *Belgian Biotic Index* untuk 10 titik sampling, dengan menggunakan cara yang sama dengan di atas, ada pada Tabel 4.12. Berdasarkan BBI, dua titik sampling tidak tercemar (titik 7 dan 8), 4 titik agak tercemar (titik 3, 4, 5 dan 9), 2 titik tercemar sedang yakni titik 10 dan 1, dan 2 titik tercemar berat yakni titik 2 dan titik 6.

Tabel 4.12 Perhitungan Indeks BBI

Kelompok Fauna		Jumlah Total Kelompok Fauna Yang Ada					Skor Per Titik Sampling									
		0	2	6	10	16	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
		-	-	-	-	+										
		1	5	10	15											
Ter-dapat Plecoptera atau Ecdyonuridae	Beberapa unit sistematis		7	8	9	10										
	hanya 1 unit sistematis	5	6	7	8	9							9	9		
Trichoptera berselubung	Beberapa unit sistematis		6	7	8	9										
	hanya 1 unit sistematis	5	5	6	7	8										
Ancyliidae, Ephemeroptera kecuali Ecdyonuridae	lebih dari 2 unit sistematis			6	7	8										
	2 atau < 2 unit sistematis	3	4	5	6	7	4									
Aphelochirus atau Odonata atau Gammauridae atau Mollusca kecuali Sphaeriidae	semua unit sistematis yang disebutkan di atas tidak ada	3	4	5	6	7										5
Asselusa atau Hirudinea atau Sphaeriidae atau Hemiptera kecuali	semua unit sistematis yang disebutkan di atas tidak ada	2	3	4	5											

Kelompok Fauna		Jumlah Total Kelompok Fauna Yang Ada					Skor Per Titik Sampling											
		0	2	6	10	16	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10		
Aphelocheirus																		
Tubificidae atau Chironomidae dari kelompok Thummiplumosa	semua unit sistematis yang disebutkan di atas tidak ada	1	2	3														
Eristalinae	semua unit sistematis yang disebutkan di atas tidak ada	0	1	1														
Skor							4	0	7	7	7	3	9	9	7	5		
Kualitas Air							Tercemar Berat	Sangat Tercemar Berat	Agak Tercemar	Agak Tercemar	Agak Tercemar	Tercemar Berat	Tidak Tercemar	Tidak Tercemar	Agak Tercemar	Tercemar Sedang		

4.2.4 Perhitungan Indeks Berdasarkan Chironomidae

Berdasarkan famili Chironomidae yang ditemukan, dihitung indeks keragaman berdasarkan Chironomidae, sebagai berikut:

Contoh Perhitungan untuk Titik 5

$$H' = - \sum \left(\frac{N_1}{N} \ln \frac{N_1}{N} \right) + \left(\frac{N_2}{N} \ln \frac{N_2}{N} \right)$$

$$\begin{aligned}
&= - \sum \left(\frac{21}{28} \ln \frac{21}{28} \right) + \left(\frac{7}{28} \ln \frac{7}{28} \right) \\
&= - \sum (-0,215) + (-0,346) \\
&= 0,561
\end{aligned}$$

Skor 0,56 tidak dapat diinterpretasikan karena tidak berada dalam rentang yang disebutkan dalam acuan berdasarkan Mayaningtyas (2010).

Hasil perhitungan adalah sebagaimana dalam Tabel 4.13

Tabel 4.13 Indeks Keragaman Berdasarkan Chironomidae

Sub-Famili	Titik Sampling									
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Chironominae	-	>1500	-	3	21	46	9	-	-	-
Orthocladiinae	2	-	-	-	7	-	-	-	-	-
Tanypodinae	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Jumlah Total	2	>1500	-	3	28	46	9	-	-	-
Indeks	0	0	-	0	0,56	0	0	-	-	-

Minimnya keragaman maupun kelimpahan Chironomidae yang ditemukan di titik sampling dapat disebabkan berbagai hal seperti yang terjadi pada makroinvertebrata secara umum. Namun ada beberapa tambahan, diantaranya adalah sebagai berikut:

Pasir adalah jenis substrat yang paling tidak mendukung perkembangan Chironomidae. Substrat berupa pasir hanya mengandung sedikit bahan organik dengan akumulasi padatan yang jauh lebih besar dibandingkan jumlah substrat lainnya (Konig and Santos, 2013). Ini dapat menjadi penyebab tidak ditemukannya satupun sub-famili Chironimidae pada titik 9 yang substratnya berupa pasir.

Chironomidae dewasa, salah satu sumber makanannya adalah nektar. Artinya, vegetasi sangat penting peranannya dalam menyediakan makanan bagi

Chironomidae (Mayaningtyas, 2010). Hal ini dapat menjadi penyebab sedikitnya jumlah Chironomidae yang ditemukan karena rata-rata lokasi sampling tidak memiliki vegetasi rapat.

Karena sangat sedikit taksa Chironomidae yang ditemukan di lokasi, dan pada beberapa titik bahkan sama sekali tidak ditemukan Chironomidae (titik 3, 8, 9 dan 10), maka sulit untuk dapat melakukan penilaian kualitas air sungai. menggunakan indeks berdasarkan Chironomidae.

4.3 Korelasi Antara Metode Fisik-Kimia dan Biologi

4.3.1 Perbandingan Hasil Penilaian

Penilaian kualitas Sungai Sampean dengan *bioassessment* menunjukkan kualitas sungai yang lebih buruk daripada hasil metode fisik-kimia. Sementara ketiga indeks BMWP menunjukkan hasil relatif konsisten meski terdapat sedikit perbedaan skor. Hal ini dapat diamati pada Tabel 4.14.

Tabel 4.14 Indeks Berdasarkan Penilaian Fisik-Kimia dan *Bioassessment*

Indeks	Titik Sampling									
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Kualitas Fisik	3,8	2,375	1,5	4	3,375	3,875	2,625	3,688	3,625	3,25
	Baik	Sedang	Sangat Buruk	Baik	Baik	Baik	Sedang	Baik	Baik	Sedang
LISEC	8	12	7	7	7	7	7	7	7	7
	Baik	Sedang	Baik	Baik	Baik	Baik	Baik	Baik	Baik	Baik
LISEC (data sekunder)							11	11	11	
	*	*	*	*	*	*	Sedang	Sedang	Sedang	*
DUTCH	6	10	5	5	5	5	5	5	5	5
	Baik	Agak Ter-cemar	Baik	Baik	Baik	Baik	Baik	Baik	Baik	Baik
DUTCH	*	*	*	*	*	*	9	9	8	*
	*	*	*	*	*	*	Agak Ter-cemar	Agak Ter-cemar	Agak Ter-cemar	*
BMWP	43	2	0	22	23	12	29	30	16	0
	Ter-dampak sedang	Ter-Cemar berat	Ter-Cemar berat	Ter-cemar	Ter-cemar	Ter-cemar berat	Ter-cemar	Ter-cemar	Ter-cemar	Ter-cemar berat

Indeks	Titik Sampling									
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Modified BMWP	31	2	9	24	15	22	38	36	10	9
	Ter-cemar	Ter-Cemar berat	Ter-cemar berat	Ter-cemar	Ter-cemar	Ter-cemar	Ter-dampak sedang	Ter-dampak sedang	Ter-cemar berat	Ter-cemar berat
BMWP Thai	45	2	6	31	18	12	36	38	16	11
	Ter-dampak Sedang	Ter-cemar Berat	Ter-cemar Berat	Ter-cemar	Ter-cemar	Ter-cemar Berat	Ter-dampak Sedang	Ter-dampak Sedang	Ter-cemar	Ter-cemar Berat
<i>Belgian Biotic Index</i>	4	0	7	7	7	3	9	9	7	5
	Ter-cemar Berat	Sangat Ter-cemar Berat	Agak Ter-cemar	Agak Ter-cemar	Agak Ter-cemar	Ter-cemar	Tidak Ter-cemar	Tidak Ter-cemar	Agak Ter-cemar	Ter-cemar Sedang
Indeks Berdasar Chironomidae	0	0	**	0	0,56	0	0	**	**	**

Keterangan:

*Tidak ada data

**Tidak ditemukan Chironomidae

Secara umum, *assessment* berdasarkan metode fisik dan kimiawi menunjukkan kondisi badan air yang lebih baik dari dibandingkan *bioassessment*. Hasil pengukuran beberapa parameter yang diperhitungkan dalam LISEC Score yakni DO, BOD, Amonium dan fosfat masih memenuhi baku mutu untuk sungai kelas 3, kecuali di titik 2. Karenanya, jika berdasarkan skor dari 4 parameter tersebut, kualitas air Sungai Sampean masih baik. Hanya ada 1 titik yang menunjukkan kualitas air sedang, yakni titik 2 yang angka BOD nya telah melampaui baku mutu. Hasil penilaian kualitas air sungai berdasarkan DUTCH Score juga tidak jauh berbeda. Untuk titik 1, 3-10 hasilnya baik. Hanya titik 2 yang menunjukkan kualitas air agak tercemar.

Berbeda dengan hasil penilaian kualitas secara kimia, *bioassessment* justru menunjukkan kualitas air yang lebih buruk. Misalnya pada titik 1, kualitas fisik: Baik, LISEC Score: Baik, DUTCH Score: Baik, namun berdasar BMWP: Terdampak Sedang, berdasar *modified* BMWP: Tercemar, berdasar BMWP Thai: Terdampak Sedang dan berdasar *Belgian Biotic Index* : Tercemar Sedang.

Demikian pula dengan titik 3 yang berdasar LISEC Score dan DUTCH Score kualitasnya adalah baik, berdasar BMWP, Modified BMWP dan BMWP Thai kualitasnya adalah tercemar berat. Perbedaan hasil ini dapat dikarenakan banyak faktor diantaranya:

1. *Bioassessment* merefleksikan kualitas air dalam rentang waktu yang panjang, sehingga dapat berfungsi sebagai biomonitoring. Data hasil *bioassessment* bersifat lebih representatif dikarenakan sebagian besar makroinvertebrata menetap pada dasar sungai, baik pada sedimen, sisa tumbuhan, makrofit, alga dan lainnya. Sebagian lagi berenang bebas pada kolom air atau di permukaan. Makroinvertebrata hidup dalam jangka waktu cukup panjang di air, mulai dari beberapa minggu hingga mencapai 2 tahun. Sementara data fisik kimia bersifat sesaat, hanya mewakili saat sampel diambil.

Bioassessment juga dapat menggambarkan interaksi keseluruhan komponen yang mempengaruhi kualitas sungai karena makroinvertebrata akan merespon berbagai tekanan dari habitatnya (Worf, 1980; De Pauw and Hawkes, 1993).

Hal ini diperkuat juga oleh data sekunder yang menunjukkan bahwa untuk parameter BOD dan juga nitrit selama tahun 2016-2017 seringkali melampaui baku mutu, berbeda dengan hasil pengukuran parameter tersebut yang dilakukan pada studi ini.

2. Pengukuran sejumlah parameter kimia dalam penelitian ini rata-rata menunjukkan hasil yang memenuhi baku mutu, kecuali parameter DO dan BOD di titik 2 dan nitrit di semua titik kecuali titik 7 yang telah melampaui baku mutu. Namun jika dibandingkan dengan data sekunder yang didapat dari hasil pemantauan kualitas air Sungai Sampean tahun 2016 dan 2017 yang dilakukan oleh Dinas Pengairan Provinsi (poin 2.10), angka BOD di beberapa titik seringkali melampaui baku mutu. Titik- titik dengan BOD tinggi adalah titik sampling 1, 3 dan 7 yang merupakan titik sampling tetap Dinas PU SDA Provinsi Jawa Timur. Di titik 1, 6 kali pengukuran di tahun 2017 menunjukkan hasil melampaui baku mutu. BOD tertinggi yang terukur di titik ini adalah 90,15 mg/L. Pada pengukuran bulan Agustus sampai Desember

2017, semua titik menunjukkan BOD melampaui baku mutu (Baku mutu BOD untuk sungai kelas 3 adalah 6 mg/L). Pada titik 3 BOD yang terukur mencapai 78 mg/L dan titik 7 BOD 56,4 mg/L. Titik 1 yang dipantau Dinas PU SDA Provinsi Jawa Timur, sama dengan titik sampling 7 dalam studi ini. Titik 2 berada di lokasi yang sama dengan titik sampling 8 dalam studi ini dan titik 6 sangat berdekatan lokasinya dengan titik sampling 9. Meski lokasi titik sampling Dinas PU SDA tidak seluruhnya sama dengan titik sampling dalam studi ini, secara umum BOD di sungai Sampean berdasar data Dinas PU SDA Provinsi Jawa Timur telah melampaui baku mutu. Namun, hal ini tidak terlihat pada 2 kali pengukuran di 10 titik sampling dalam studi ini. Walau demikian, makroinvertebrata dapat memberi respon terhadap kondisi ini yang terlihat dari buruknya indeks biotik di hampir semua titik jika dibandingkan LISEC dan DUTCH Score yang berdasar pada data kimiawi.

3. LISEC Score hanya memperhitungkan 4 parameter (% DO, BOD, amonium dan fosfat), sedangkan Dutch Score hanya 3 parameter (% DO, BOD, amonium). Masih banyak parameter kualitas fisik-kimia air yang sebenarnya turut menentukan kondisi suatu badan air yang tidak diperhitungkan dalam sistem penilaian menurut LISEC dan DUTCH. Sebagai contoh, nutrient seperti nitrit dan nitrat dan toksikan misalnya pestisida. Nitrit terukur melebihi baku mutu, namun ini tidak diperhitungkan dalam LISEC maupun DUTCH, sehingga buruknya hasil pengukuran nitrit di lokasi studi tidak memberi pengaruh apapun terhadap skor LISEC dan DUTCH. Berbeda dengan *bioassessment*, dimana bioindikator yakni makroinvertebrata akan memberi respon terhadap berbagai variabel bahkan menunjukkan integrasi seluruh variabel lingkungan (Li *et al.*, 2010).
4. Indeks biotik yang digunakan, baik BMWP maupun BBI awalnya dikembangkan di Eropa dimana jenis taksa makroinvertebratanya berbeda dengan yang ada di negara tropis seperti Indonesia. Beberapa famili yang ditemukan pada lokasi studi tidak termuat dalam sistem skoring, hal ini

membuat skor BMWP menjadi rendah. Banyak studi di negara tropis menunjukkan BMWP dapat diaplikasikan dalam *bioassessment* di lingkungan tropis, namun demikian perlu penyesuaian lebih lanjut bukan sekadar pada penambahan taksa.

Jenis famili yang sama, pada lokasi yang berbeda sangat memungkinkan memiliki sensitivitas atau toleransi yang berbeda. Salah satu contohnya adalah perbedaan antara BMWP viet dengan BMWP Thai. Meski lingkungan dan iklim kedua lokasi relatif sama, ada famili yang memiliki toleransi sangat berbeda sehingga diberikan nilai skor toleransi yang juga jagg berbeda. Viviparidae misalnya, yang pada BMWP viet diberikan skor 6, pada BMWP Thai hanya diberi skor 4 (Hoang, 2009). Di Vietnam, meski indeks BMWP Viet telah cukup banyak diaplikasikan, diakui masih terdapat kelemahan berupa masih kurang memadainya sensitivitas indeks ini untuk menggambarkan kondisi ekologis setempat (Nguyen *et al.*, 2014).

Indonesia memiliki kondisi iklim sedikit berbeda dibandingkan dengan Vietnam dan Thailand. Vietnam dan Thailand sama-sama dipengaruhi iklim monsoon. Dalam kondisi iklim yang sama, masih terdapat potensi perbedaan tingkat toleransi suatu famili antara Thailand dengan Vietnam, terlebih dengan Indonesia yang memiliki perbedaan iklim. Indeks BMWP yang dipakai dalam studi ini belum mengalami penyesuaian dengan kondisi lokal. Karenanya, sangat berpotensi terdapat kurangnya sensitivitas indeks untuk menggambarkan kualitas air secara ekologis pada Sungai Sampean. Selain itu, modifikasi indeks untuk digunakan di negara tropis seyogianya tidak hanya mempertimbangkan penyesuaian pada rentang skor beserta cakupan makroinvertebrata namun juga perlu memperhatikan kesesuaian intepretasi skornya (Hoang, 2009).

5. Kondisi fisik sungai memiliki pengaruh penting terhadap kehidupan makroinvertebrata. Substrat berperan sebagai habitat bagi sejumlah makroinvertebrata (Kondolf and Wolman, 1993; Graeber *et al.*, 2017).

Substrat yang memiliki kandungan bahan organik tinggi berperan menyediakan makanan bagi makroinvertebrata *filterer* dan *deposit feeder* (Pan *et al.*, 2015).

Karakteristik sedimen tidak menjadi suatu variabel yang diuji dalam studi ini, namun dari pengamatan terhadap substrat, pada lokasi 9 teramati kondisi substrat berupa pasir halus. Pada lokasi tersebut, sungai dengan tebing batuan kapur tidak ditemukan adanya CPOM/*Coarse Particulate Organic Matter* dalam substrat tersebut. Hal ini disebabkan kecepatan aliran sungai yang cukup tinggi (1,2 m/detik), dan lokasi yang merupakan sungai yang kerap banjir. Tidak adanya vegetasi riparian juga menjadi sebab sedikitnya detritus yang masuk ke sungai. Keterbatasan makanan bagi makroinvertebrata inilah yang membuat jumlah dan jenisnya juga ditemukan sangat sedikit pada beberapa lokasi seperti titik 3 dan titik 9.

Makin lebar dan rapat vegetasi riparian, makin besar pohon dan makin luas kanopinya maka akan makin kaya komunitas makroinvertebrata meskipun daerah tersebut mendapat pengaruh dari aktivitas manusia misalnya pertanian (Tanaka *et al.*, 2016). Gambaran habitat seperti di atas tidak banyak dijumpai pada area studi. Dari banyak titik yang mendapat beban dari aktivitas pertanian (titik 1, 3, 4, 6, 7, 8, 9, 10) hanya titik 8 yang masih memiliki vegetasi riparian yang terhitung rapat dengan sejumlah vegetasi berupa pohon besar dengan kanopi lebar. Sedangkan titik lainnya memiliki riparian yang minim vegetasi, atau ada vegetasi yang cukup lebar namun hanya berupa rumput dan semak. Hal inilah yang mempengaruhi jumlah makroinvertebrata di sejumlah titik.

Erosi pada tebing sungai memiliki korelasi negatif dengan kualitas ekologi. Potensi erosi meningkat seiring berkurangnya vegetasi riparian. Hal ini mengurangi keanekaragaman di dalam habitat tersebut (Fario *et al.*, 2017). Kondisi di atas sejalan dengan yang ditemukan pada titik 3, di mana hampir

tidak ada vegetasi riparian dan tebing sungai seluruhnya berupa struktur permanen.

6. Hujan deras akan menyebabkan peningkatan muka air, mengaduk-aduk substrat dan mengganggu kehidupan makroinvertebrata di dalamnya (Bass, 2003). Hujan deras dapat menghanyutkan seluruh taksa yang ada beserta habitatnya (Hoang, 2009). Hal inilah yang bisa menjadi penyebab hanya satu taksa yang ditemukan di lokasi 9. Pengambilan sampel makroinvertebrata selalu dilakukan dengan mempertimbangkan faktor ini. Karenanya sampel diambil ketika tidak sedang hujan dan diupayakan daerah studi tidak mengalami hujan sejak 3-4 hari sebelumnya. Namun tidak menutup kemungkinan terjadi hujan lokal di daerah hulu yang tidak diketahui, yang berpotensi menghanyutkan makroinvertebrata. Jika berdasarkan data iklim Kabupaten Bondowoso, pada rentang waktu dilakukan studi ini masih termasuk pada musim hujan. Sedikitnya jenis makroinvertebrata yang ditemukan menyebabkan indeks menjadi lebih rendah. Hasil studi ini sejalan dengan temuan Mustow (2002) di Thailand dimana indeks BMWP thai lebih tinggi pada musim kemarau dibandingkan di musim hujan.

Ini berbeda dengan penelitian yang dilakukan oleh Hoang (2010) di Vietnam dimana tidak dijumpai perbedaan signifikan antara komunitas makroinvertebrata yang diambil pada musim hujan maupun kemarau. Namun demikian, penelitian tersebut mengkonfirmasi bahwa makroinvertebrata yang diambil pada musim kemarau jumlahnya lebih sedikit meski tidak signifikan.

7. Pada daerah pertanian makroinvertebrata dapat pula dipengaruhi oleh penggunaan pestisida. Di sejumlah titik ditemukan makroinvertebrata yang sangat sedikit, baik jumlah individu maupun keanekaragamannya. Pada titik 2 misalnya, dimana hanya ditemukan famili Chironomidae saja, atau di titik 9 (hanya ditemukan Baetidae sebanyak 3 individu) dan titik 10 (hanya ditemukan Thiaridae dan Palaemonidae). Pada titik 2, sangat jelas dominasi Chironomidae disebabkan beban bahan organik tinggi. Namun untuk titik

lainnya, kondisi di atas dapat disebabkan oleh berbagai hal salah satunya adalah pestisida.

Karakteristik area studi yang merupakan daerah agraris, sangat memungkinkan penggunaan pestisida seperti umumnya praktik pertanian di Indonesia. Berbagai jenis pestisida memiliki keterkaitan dengan penurunan jumlah maupun keanekaragaman makroinvertebrata melalui mekanisme toksisitas secara langsung (Wijngaarden *et al.*, 2005). Makroinvertebrata memberikan respon terhadap berbagai tekanan lingkungan yang salah satunya adalah kontaminasi oleh pestisida (Rasmussen *et al.*, 2012). Daerah yang mendapatkan limpasan dari areal pertanian memiliki kekayaan spesies yang rendah (Fierro *et al.*, 2017). Kontaminasi pestisida akan menghilangkan makroinvertebrata dari suatu lokasi, meski parameter kualitas air lainnya masih terhitung baik.

8. Kondisi Geologis berpotensi mengaburkan hasil *bioassessment* (Carrie *et al.*, 2015). Salah satu contohnya adalah pada sungai yang mengalir di daerah dengan batuan kapur. Pada batuan kapur keragaman makroinvertebrata jauh lebih rendah daripada sungai dengan batu-batu biasa (Hellman *et al.*, 2014). Dalam studi ini sungai yang berada pada batuan kapur adalah titik 9. Pada titik ini makroinvertebrata yang ditemukan memang tergolong sedikit sehingga indeks biotiknya rendah.

Jika dibandingkan antara hasil *bioassessment* dengan LISEC Score dan DUTCH Score yang dihitung berdasarkan data sekunder dari 12 kali pengukuran (setiap bulan) di tahun 2017, perbedaannya tidak sebesar perbandingan antara *bioassessment* dengan LISEC dan DUTCH Score yang dihitung dari data primer dari studi ini. Ini menunjukkan perlunya pengulangan berkali-kali dalam penggunaan metode penilaian secara fisik-kimia untuk mendapatkan hasil yang lebih sesuai.

Ketiga indeks BMWP cenderung memberikan hasil akhir penilaian yang sama meski terdapat perbedaan skor diantara ketiganya. Sebagai contoh untuk

titik 3 skor BMWP 0 Modified BMWP 9 dan Thai BMWP 6, namun hasil akhirnya adalah sama yakni: cemar berat. Demikian juga untuk titik 4, 5, 9 dan 10, ketiganya memberikan hasil akhir yang persis sama. Sedangkan untuk titik 1, 6, 7 dan 8, ketiga indeks BMWP menunjukkan hasil yang sangat mirip. Ini disebabkan sistem penghitungan skor yang tidak memiliki banyak perbedaan diantara ketiganya. Indeks BMWP baik original BMWP, modified BMWP maupun BMWP Thai hanya memiliki sedikit perbedaan di jenis famili yang diperhitungkan dan skor tiap-tiap famili yang sebagian memiliki perbedaan. Sedangkan untuk interpretasi skornya adalah sama.

Jika dibandingkan dengan BMWP, *Belgian Biotic Index* menunjukkan hasil kualitas air yang lebih baik. Pada titik 3 BMWP menunjukkan cemar berat, namun BBI menunjukkan cemar ringan. Sedangkan pada titik 4 dan 5, ketiga indeks BMWP menunjukkan cemar sementara BBI menunjukkan cemar ringan. Pada titik 7 dan 8 dimana BMWP menunjukkan terdampak sedang dan tercemar, BBI menunjukkan tidak tercemar.

Perbedaan kualitas air berdasarkan BMWP dengan BBI disebabkan kedua indeks memiliki perbedaan cukup signifikan dalam sistem perhitungannya. BMWP memperhitungkan skor (berdasarkan toleransi) seluruh famili yang ditemukan di suatu lokasi, sedangkan BBI ditentukan berdasarkan famili paling sensitif yang ditemukan di suatu lokasi beserta jumlah individu makroinvertebrata yang ditemukan. Pada skor BMWP, semakin banyak ditemukan famili dari jenis yang sensitif maka akan semakin tinggi indeks biotiknya. Sedangkan pada BBI, indeks akan tinggi jika makroinvertebrata yang ditemukan adalah taksa yang sangat sensitif dan ditemukan dalam jumlah individu yang banyak.

4.3.2 Korelasi Metode Fisik-Kimia dan *Bioassessment*

Data hasil penilaian kualitas air secara fisik-kimia diuji korelasi dengan hasil *bioassessment*. Ini dilakukan untuk mengetahui hubungan antara masing-masing metode. Hasilnya adalah seperti pada Tabel 4.15.

Tabel 4.15 Korelasi Metode Fisik-Kimia dengan *Bioassessment*

Indeks	pH	DO	BOD	Nitrit	Nitrat	Fosfat	Kualitas Fisik	LISEC	DUTCH
Nilai Koefisien Korelasi									
BMWP	-0,381	0,061	-0,395	0,249	0,456	-0,018	0,596	0,113	0,113
Modified BMWP	-0,155	0,219	-0,432	0,201	0,578	0,249	0,486	-0,234	-0,234
BMWP Thai	-0,219	0,212	-0,576	0,333	0,588	0,103	0,673	-0,078	-0,078
Belgian Biotic Index	0,085	0,784	-0,665	0,094	0,332	-0,063	-0,088	-0,645	-0,645
P-Value									
BMWP	0,277	0,868	0,258	0,487	0,185	0,960	0,069	0,756	0,756
Modified BMWP	0,668	0,544	0,213	0,578	0,080	0,487	0,154	0,515	0,515
BMWP Thai	0,544	0,556	0,082	0,347	0,074	0,777	0,033	0,831	0,831
Belgian Biotic Index	0,816	0,007	0,036	0,796	0,348	0,863	0,809	0,044	0,044
Korelasi/Hubungan									
	pH	DO	BOD	Nitrit	Nitrat	Fosfat	Kualitas Fisik	LISEC	DUTCH
BMWP	x	x	x	x	x	x	x	x	x
Modified BMWP	x	x	x	x	x	x	x	x	x
BMWP Thai	x	x	x	x	x	x	v	x	x
Belgian Biotic Index	x	v	v	x	x	x	x	v	v

Keterangan:

x : tidak berkorelasi

v : berkorelasi

Seluruh indeks biotik tidak berkorelasi dengan parameter kimiawi air seperti pH, DO, BOD, nitrit dan nitrat. Semua indeks BMWP juga tidak berkorelasi dengan LISEC Score dan DUTCH Score. Hanya BMWP Thai yang memiliki korelasi positif kuat dengan Skor berdasarkan kualitas fisik (koefisien korelasi 0,673 dan nilai signifikansi 0,033).

Oksigen berhubungan dengan kehidupan biota air termasuk makroinvertebrata. Banyak studi yang menunjukkan korelasi ini. Salah satunya *bioassessment* yang dilakukan di Iran menggunakan indeks BMWP,

menunjukkan korelasi antara persen oksigen di dalam badan air dengan skor BMWP. Korelasi tersebut bersifat positif, koefisien korelasi 0,45 dengan $P < 0,01$ (Varnosvaderany *et al.*, 2009). Skor BMWP yang telah diadaptasikan untuk aplikasi di Columbia (BMWP col) memiliki hubungan positif dengan *Dissolved Oxygen* (Ambarita *et al.*, 2016).

Meski nitrit ditemukan sering melampaui baku mutu dalam studi ini, bahkan data sekunder tahun-tahun sebelumnya juga menyatakan demikian, namun berdasar uji statistik nitrit tidak memiliki hubungan dengan indeks manapun. Nitrit adalah bentuk yang tidak stabil, dan mudah berubah menjadi nitrat pada kondisi tersedia oksigen. Dibandingkan dengan nitrit, nitrat tidak bersifat toksik terhadap makroinvertebrata. Dengan demikian, pada lokasi studi kadar nitrit tidak memiliki hubungan dengan indeks biotik.

Pada studi yang dilakukan oleh Deemol *et al.*, (2017), indeks BMWP yang diaplikasikan di Thailand bagian barat menunjukkan korelasi negatif dengan kadar nitrat (koefisien korelasi 0,462). Nitrat yang terukur di lokasi adalah 1-2,96 mg/L, sedangkan kadar nitrat pada studi ini adalah 4,001 sampai 11,99 mg/L. meski kadar nitrat lebih tinggi, namun pada studi ini secara statistik nitrat tidak memiliki korelasi dengan indeks manapun.

Belgian Biotic Index memiliki korelasi positif kuat dengan DO, nilai koefisien korelasi 0,784 dan nilai signifikansi 0,007 (nilai signifikansi dibawah 0,05 dianggap signifikan). *Belgian Biotic Index* juga memiliki korelasi negatif yang kuat dengan BOD, nilai koefisien korelasi $- 0,665$ dan nilai signifikansi 0,036. *Belgian Biotic Index* juga berkorelasi negatif kuat dengan Lisec dan DUTCH Score. Hal ini karena BBI juga berkorelasi dengan parameter yang diperhitungkan dalam LISEC dan DUTCH Score yakni DO dan BOD.

Korelasi yang negatif dikarenakan interpretasi yang berbeda antara skor berdasar LISEC dan DUTCH dengan BBI. Pada LISEC dan DUTCH Score, makin kecil skor maka makin baik kualitas air. Sedangkan pada BBI, makin tinggi skor makin baik kualitas air. Dengan kata lain, makin baik kualitas air, makin tinggi indeks BBI dan makin rendah LISEC dan DUTCH Score-nya.

Perbedaan korelasi antara hasil *bioassessment* dengan hasil metode fisik-kimia yang terjadi pada berbagai studi disebabkan oleh perbedaan kondisi pada

masing-masing sungai yang menjadi objek studi misalnya perbedaan pada berbagai parameter kimiawi, perbedaan kondisi hidrologis sungai, perbedaan substrat dan berbagai kondisi lainnya. Tidak berkorelasinya ketiga BMWP dengan parameter kimia air maupun dengan indeks fisik-kimia pada studi ini bukan berarti metode ini tidak peka untuk menggambarkan kualitas fisik-kimia air Sungai Sampean.

Korelasi yang dihitung di atas memiliki makna secara statistik, namun perlu diingat bahwa komposisi makroinvertebrata dalam studi ini juga dipengaruhi oleh faktor-faktor berupa jenis substrat, musim, salinitas pada titik di hilir serta keberadaan pestisida. Berbagai faktor tersebut turut mempengaruhi hasil *bioassessment*, menghasilkan indeks biotik yang rendah akibat sedikitnya jumlah makroinvertebrata yang ditemukan. Hal ini dapat turut mempengaruhi hasil perhitungan korelasi, sehingga besarnya koefisien korelasi yang dihasilkan tidak menggambarkan kondisi yang sebenarnya. Dengan kata lain, dalam studi ini faktor-faktor berupa jenis substrat, musim, salinitas pada titik di hilir serta keberadaan pestisida turut memberikan pengaruh terhadap besarnya indeks, sehingga indeks tidak hanya dipengaruhi oleh kualitas air berdasarkan parameter kimiawinya.

4.3.3 Aplikasi *Bioassessment* di Sungai Sampean

Perbedaan hasil akhir penilaian kualitas air sungai dengan metode fisik-kimia dan *bioassessment* pada studi ini mengkonfirmasi perlunya penggunaan tidak hanya satu metode dalam penilaian kualitas air sungai. Dalam hal ini *bioassessment* dapat digunakan bersama-sama dengan metode fisik-kimia untuk mendapatkan hasil *assessment* yang lebih meyakinkan.

Metode fisik-kimia berdasarkan LISEC Score dan DUTCH Score dalam studi ini tidak menunjukkan hasil yang jauh berbeda meski secara teoretis dapat dilihat bahwa LISEC mencakup lebih banyak parameter dibandingkan DUTCH Score. Cakupan parameter LISEC Score yang hanya 4 parameter, dan DUTCH Score 3 parameter dapat menjadi kelebihan sekaligus kelemahan bagi metode ini. Kelebihannya adalah, metode ini menjadi sangat sederhana dan lebih ekonomis karena tidak banyak parameter yang harus diukur. Namun kelemahannya adalah,

sedikitnya parameter yang termuat dalam metode ini berakibat ketidaktepatan skor dalam memprediksi kondisi sungai yang sebenarnya, mengingat sangat banyak parameter fisik-kimia yang mempengaruhi kualitas air sungai.

Jika membandingkan kedua Skor yakni LISEC dan DUTCH Score, secara teoretis dapat dipilih skor dengan cakupan parameter lebih banyak yakni LISEC Score sehingga dapat mengantisipasi perubahan pada parameter fosfat pada pengukuran selanjutnya. Namun, untuk pelaksanaan pemantauan oleh pemerintah untuk memenuhi kepentingan legal dan formal, seyogianya tetap mengacu pada regulasi yang berlaku di Indonesia yakni menggunakan metode STORET.

Indeks biotik yang digunakan dalam studi ini hanya *Belgian Biotic Index* yang menunjukkan sensitivitas terhadap variabel kualitas kimia air (DO dan BOD) dan hanya BMWP Thai yang memiliki korelasi dengan kualitas fisik sungai. BMWP dan modified BMWP tidak berkorelasi dengan variabel apapun dalam penelitian ini. Meski demikian bukan berarti BMWP dan *modified* BMWP sama sekali tidak sensitif dan tidak berpotensi untuk digunakan karena tidak adanya korelasi dari dua indeks tersebut dapat dipengaruhi berbagai faktor seperti telah dijelaskan pada bagian-bagian sebelumnya.

Berdasarkan pengolahan data secara statistik dan mempertimbangkan cakupan taksa yang lebih memiliki kemiripan dengan taksa yang ditemukan di Sungai Sampean, maka penggunaan BMWP Thai dipandang dapat diaplikasikan dalam *bioassessment* pada Sungai Sampean. Berdasarkan data statistik pula, BBI juga dipandang dapat digunakan dalam *bioassessment* di Sungai Sampean.

Sangat penting juga untuk dipertimbangkan dalam penerapan *bioassessment* di Sungai Sampean atau sungai lain di Indonesia, bahwa meski BMWP Thai telah dimodifikasi dan disesuaikan dengan kondisi di Thailand yang memiliki kemiripan dengan di Indonesia, jenis makroinvertebrata maupun tingkat toleransinya sangat mungkin berbeda. Kondisi serupa terjadi di Thailand dan Vietnam, meski keduanya memiliki iklim dan kondisi alam yang sangat mirip, namun ada jenis famili yang memiliki perbedaan sangat signifikan dalam tingkat toleransinya diantara dua lokasi ini (Hoang, 2009). Inilah yang menyebabkan

pentingnya mengembangkan sistem indeks sendiri yang lebih tepat untuk digunakan di sungai-sungai di Indonesia.

Selain itu tak kalah pentingnya dengan pemilihan indeks, dalam penerapan *bioassessment* di Sungai Sampean, ada beberapa faktor yang perlu diperhatikan, yakni:

1. Musim

Berdasarkan Rahayu *et al.*, (2009) disarankan untuk melakukan *bioassessment* pada dua musim yang berbeda. Namun merujuk hasil studi ini, terlebih jika terdapat keterbatasan sumber daya dalam melakukan *bioassessment* dan sampling hanya dapat dilakukan sekali dalam setahun, maka waktu terbaik adalah pada musim kemarau.

2. Jenis Substrat

Karena jenis substrat berpengaruh terhadap komunitas makroinvertebrata yang hidup di dalamnya, maka pemilihan lokasi sampling penting untuk memperhatikan jenis substratnya. Seperti yang ditemukan di lokasi 3 dan 10 dimana sangat sedikit jenis makroinvertebrata yang ditemukan, maka sebaiknya lokasi dipilih yang memiliki substrat berupa bebatuan dan bukan yang berupa lumpur halus maupun pasir.

3. Kondisi Fisik Sungai

Kondisi fisik sungai sebaiknya juga menjadi variabel yang diamati karena dapat menjadi bahan untuk mengkonfirmasi hasil *bioassessment*. Atau akan lebih baik jika dipilih lokasi sampling dengan kondisi fisik yang memang mendukung kehidupan makroinvertebrata, sehingga hasil *bioassessment* tidak bias.

4. Salinitas

Karena salinitas berpotensi mengaburkan hasil *bioassessment*, maka seyogianya lokasi sampling dipilih yang memiliki rentang salinitas yang setara.

Halaman Sengaja Dikosongkan

BAB V

KESIMPULAN DAN SARAN

5.1 Kesimpulan

Kesimpulan yang dari studi ini adalah:

1. Kualitas air Sungai Sampean berdasarkan kualitas fisik ada dalam rentang baik hingga buruk. Sedangkan berdasarkan metode kimia dengan LISEC Score berada pada rentang :sangat baik hingga sedang, dan berdasarkan DUTCH Score adalah: sangat baik hingga agak tercemar.
2. Kualitas air Sungai Sampean berdasarkan *bioassessment* dengan makroinvertebrata adalah: berdasar skor BMWP : terdampak sedang hingga tercemar berat, berdasarkan *Modified* BMWP : terdampak sedang hingga tercemar berat, berdasarkan skor BMWP Thai : terdampak sedang hingga tercemar berat. Sedangkan menurut *Belgian Biotic Index*: tercemar sedang hingga sangat tercemar. Sementara indeks berdasarkan Chironomidae sulit digunakan dalam penilaian kualitas Sungai Sampean.
3. Secara umum *assessment* dengan metode fisik-kimia menunjukkan status kualitas air yang lebih baik dibandingkan *bioassessment*. Indeks BMWP memiliki korelasi kuat dengan kualitas fisik, sementara *Belgian Biotic Index* berkorelasi kuat dengan DO dan BOD, LISEC Score dan DUTCH Score.

5.2 Saran

Berdasarkan studi yang telah dilakukan, berikut beberapa saran terkait penerapan *bioassessment* pada Sungai Sampean:

1. *Bioassessment* dapat diterapkan dalam penilaian kualitas Sungai Sampean sehingga dapat saling melengkapi dengan metode fisik-kimia yang sudah biasa dilaksanakan. Seyogianya aplikasi *bioassessment* di

- Sungai Sampean memperhatikan beberapa hal yakni: pemilihan titik sampling, pemilihan indeks biotik, dan waktu sampling;
2. Variabel fisik sungai seperti *meander feature*, vegetasi, jenis substrat, kecepatan aliran, adalah variabel yang penting untuk turut diukur/diamati dalam pelaksanaan *bioassessment*;
 3. Kadar pestisida dalam air sungai juga perlu diukur untuk dapat memastikan hasil *bioassessment*.

5.3 Rekomendasi

Berdasarkan temuan-temuan pada studi ini, berikut beberapa rekomendasi yang dapat diaplikasikan dalam pengelolaan Sungai Sampean

1. Dampak praktik pertanian konvensional sudah saatnya mulai dicarikan solusinya, mengingat sektor ini menjadi peluang ancaman yang penting bagi kualitas Sungai Sampean. Program BOTANIK yang telah mulai dirintis di Kabupaten Bondowoso dengan memajukan pertanian organik adalah salah satu cara untuk melindungi badan air dari pengaruh negatif aktivitas pertanian. Program seperti ini perlu terus digiatkan di seluruh DAS Sampean sehingga akan terasa manfaatnya terhadap kualitas lingkungan;
2. Pembuangan limbah industri tahu juga perlu menjadi perhatian, mengingat hal ini telah turut menjadi faktor buruknya kualitas air di salah satu bagian Sungai Sampean. Instansi pemerintah yang berwenang perlu mengambil tindakan agar pelaku usaha melakukan pengolahan limbahnya sebelum dibuang ke sungai;
3. Pembuangan sampah domestik terjadi hampir di semua titik sampling. Pemerintah melalui instansi yang berwenang perlu mengambil kebijakan untuk menghentikan praktik ini baik melalui sisi regulasi, penegakan hukum dan dengan meningkatkan pelayanan persampahan pada masyarakat.

DAFTAR PUSTAKA

- Akolkar, P., Agrawal, S. And Trivedi, R.C. (2008), *Biological Monitoring of Water Quality in India – Needs and Constrains*. Proceeding of the Scientific Conference: Rivers in the Hindu Kush-Himalaya, Eds: Moog, O., Hal. 125-129.
- Alba-Tercedor, J. (2005), *Implication of Taxonomic Modification and Alien Species on Biological Water Quality Assessment as Exemplified by The BBI Method, In Development In Hydrobiology The Diversity Of Aquatic Ecosystem eds.Segers. H. and K. Martens*. Springer. Netherland.
- Alhejoj, I., Salameh, E.M., and Bandel, K. (2014), *Mayflies (Order Ephemeroptera): An Effective Indicartor of Water Bodies Condition in Jordan*. International Journal of Scientific Research in Environmental Science. Vol. 2. Hal. 346-3xx.
- Al-Shami, S. A., Rawi, C. S. M., Ahmad, A. H., Hamid, S.A. and Mohd Nor, S.A (2011), *Influence of agricultural, industrial, and Anthropogenic Stresses on the Distribution and Diversity of Macroinvertebrates in Juru River Basin, Penang, Malaysia*. Ecotoxicology and Environmental Safety, Vol. 74 Hal. 1195–1202.
- APHA, AWWA, WPFC. (2005), *Standard methods for examination of water and wastewater*, 21st.ed., APHA, AWWA, WPFC, Washington.
- Armitage, P.D., Moss, D., Wright, J. F. dan Furse, M. T. (1983), *The Performance of a New Biological Water Quality Score System Based on Macroinvertebrates Over a Wide Range of Unpolluted Running Water Sites*. Water Res Vol. 17 Hal. 333-347.
- Badan Pengendalian Dampak Lingkungan Provinsi Jawa Timur. (2007), *Pedoman Pemantauan Terhadap Kualitas Air Sungai di Jawa Timur*. Surabaya.
- Badan Pusat Statistik Bondowoso (2015), *Bondowoso Dalam Angka 2015*. Bondowoso.

- Badan Pusat Statistik Bondowoso (2017), *Bondowoso Dalam Angka 2017*. Bondowoso.
- Badan Pusat Statistik Situbondo (2016), *Bondowoso Dalam Angka 2016*. Situbondo.
- Bahri, S. (2014), *Pengaruh Ukuran Sampel Makrozoobentos Bioindikator Terhadap Penilaian Tingkat Pencemaran Air Sungai*, Jurnal Sumber Daya Air, Vol. 10 No. 2, hal. 181-194
- Balderas, E.C., C. Grac, L. Berti-Equille dan Hernandez, A.M. (2016), *Potential Application of Macroinvertebrates Indices in Bioassessment of Mexican Streams*. Ecological Indicators Vol. 61 Hal. 558-567.
- Barbosa, F.A.R., Callisto, M. and Galdean, N. (2001), *The diversity of benthic macroinvertebrates as an indicator of water quality and ecosystem health: A case study for Brazil*. Aquatic Ecosystem Health & Management Vol. 4 Hal. 51-59.
- Barbour, M.T., Gerritsen, J., Snyder, B.D. dan Stribling, J.B.(1999), *Rapid Bioassessment Protocols for Use in Streams and Wadeable Rivers: Periphyton, Benthic Macroinvertebrates and Fish, Second Edition*. EPA 841-B-99-002. U.S. Environmental Protection Agency; Office of Water; Washington, D.C.
- Bass, D. (2003), *A comparison of freshwater macroinvertebrate communities on small caribbean islands*. Bioscience Vol. 53. Hal. 1094–1100.
- Bouchard Jr, R.W.(2004), *Guide to Aquatic Macroinvertebrates of the Upper Midwest*. Water Resources Center- University of Minnesota.
- Campbell, I. (2002), *Biological Monitoring and Assesment Using Invertebrates, in Environmental Monitoring Handbook, eds. Burden, R.F., I. Mc Kelvie, U. Forstner, . and A. Guenthier*. McGraw Hill, New York.
- Carrie, R., Dobson, M. and Barlow, J. (2015), *The Influence of Geology and Season on Macroinvertebrates of Belizean Stream*. Freshwater Science Vol. 34, Hal. 000-000.
- Chessman, B.C. (1995), *Rapid Assesment of Rivers using macroinvertebrates: a procedure based on habitat-specific sampling, family level identification and a Biotic Index*. Aust I Ecol Vol. 20 Hal. 122-129.

- Dalu, T., Wasserman, R. J., Tonkin, J. D., Alexander, M. E., Dalu, M.T.B., Mototsoe, N. S., Manungo, K. I., Bepe, O., dan Dube, T. (2017), *Assessing Driver of Benthic Macroinvertebrate Community Structure in African Highland Streams: an Extrapolation using Multivariate Analysis*. Science of Total Environment Vol. 601-602 Hal. 1340-1348.
- DC. Sawyer, C. N., McCarty, P.L., Parkin, G. F. (1994), *Chemistry for environmental engineering and science*, 5thed., McGraw-Hill, Singapore.
- De Melloa, K., Randhir, T.O., Valentec, R.A., Vettorazzi, C. A. (2017), *Riparian restoration for protecting water quality in tropical agricultural watersheds* Ecological Engineering Vol. 108 Hal. 514–524.
- De Pauw, N. and Hawkes, H.A. (1993), *Biological Monitoring of River Water Quality*, p. 87-111. In: Walley, W.J. & S. Judd (eds). *River Water Quality Monitoring And Control*. Ashton University. UK.
- De Pauw, N. dan Vanhooren, G. (1983), *Method for Biological Quality Assessment of Watercourses in Belgium*. Hydrobiologia Vol. 153–168.
- De Zwart, D and Trivedi R.C., (1994) *Manual on Integrated Water Quality Evaluation*, National institute of Public Health and Environmental Protection, The Netherlands.
- Dinas Pekerjaan Umum Sumber Daya Air Provinsi Jawa Timur (2016), *Laporan Tahunan Kualitas Air*. Surabaya.
- Faisal, M., Mulana, F., Gani, A, and Daimon, H. (2015), *Physical and Chemical Properties of Wastewater Discharged from Tofu Industries in Banda Aceh City, Indonesia*. Research Journal of Pharmaceutical, Biological and Chemical Sciences Vol. 6 Hal. 1053-1058.
- Fajardo, M.D.R., Seronay, R.A., and Jumawan, J.C. (2015), *Aquatic Macroinvertebrates Community and Physico-Chemical Characteristic of Freshwater Bodies in Tubay, Agusan Del Norte Philippines*. Journal of Entomology and Zoology Studies Vol. 3 Hal. 440-446.
- Forio, M. E., Locka, K., Radama, E. D., Bande, M., Asio, V. and Goethals, P.L.M. (2017), *Assessment and analysis of Ecological Quality, Macroinvertebrate Communities And Diversity In Rivers Of A*

- Multifunctional Tropical Island*. Ecological Indicators Vol. 77 Hal. 228–238.
- Graeber, D., Jensen, T.M., Rasmussen, J.J., Riis, T., Wiberg-Larsen, P., Baatrup-Pedersen, (2017), *A. Multiple Stress Response of Lowland Stream Benthic Macroinvertebrates depend on Habitat Type*. Science of the Total Environment, Vol. 599-600 Hal. 1517-1523.
- Hoang, T.H. (2009), *Monitoring and Assessment of Macroinvertebrate Communitites in Support of River Management in Northern Vietnam*. PhD Thesis, Ghent University, Gent, Belgium.
- Kartikasari, D., Retnaningdyah, C. and Arisoesilaningih, E. (2013), *Application of Water Quality and Ecology Indices of Benthic Macroinvertebrate to Evaluate Water Quality of Tertiary Irrigation in Malang District*. The Journal of Tropical Life Vol. 3 Hal.193-201.
- Kefford, B.J., Papas, P. J. And Nuggeoda, D. (2003,) *Relative Salinity Tolerance of Macroinvertebrates from Barwon River Victoria Australia*. Marine and Freshwater Research, Vol. 54 Hal. 755-765.
- Kirkpatrick, K. And Jones, M. B. (1985), *Salinity Tolerance and Osmoregulation of a Prawn Palaemon offers Milke Edward (Caridea: Palaemonidae)*. Journal of Experimental Marine Biology and Ecology. Vol. 9Hal. 61-70.
- Kondolf, G.M., Wolman, M.G. (1993). *The sizes of salmonid spawning gravels*. Water Resour. Res. Vol. 29 Hal. 2275–2285.
- Konig, R. And Santos, R. (2013), *Chironomidae (Insecta: Diptera) of Different Habitats and Microhabitats of Vacacai Mirim River Mirobasin Brazil*, Annals aof Brazillian Academy of Sciences Vol. 85 Hal. 975-985.
- Leatemala, S. P. O., Manangkalangi, E., Theresia Lefaan, E. P., Peday, H. F. Z. and Luky Sembel, L. (2017), *Makroavertebrata Bentos Sebagai Bioindikator Kualitas Air Sungai Nimbai Manokwari, Papua Barat*. Jurnal Ilmu Pertanian Indonesia (JIPI), Vol. 22 Hal. 25-33.
- Li, L., Zheng, B. dan L. Liu. (2010), *Bioassesment and Bioindicators Used for River Ecosystems: Definitions, Approaches and Trends*. Proceeding of International Society for Environmental Information Sciences 2010

- Annual Conference (ISEIS) , Beijing, Procedia Environmental Sciences Vol. 2 Hal. 1510–1524.
- Margaryan, L. (2016), *Impact of domestic wastewater on surface water quality of selected residential settlements in Armenia*. European Water Vol. 53 Hal. 5-12.
- Mayaningtyas, P. (2010), *Pengembangan Biokriteria Untuk Menilai Kualitas Sungai Dengan Menggunakan Larva Chironomidae (Diptera) di Sungai Ciliwung*. Disertasi. Institut Teknologi Bandung. Bandung.
- Metcalf, J.L. (1989), *Biological Water Quality Assesment of Running Waters Based on Macroinvertebrate Communities : History and Present Status in Europe*. Environmental Pollution Vol. 60 Hal.101-39.
- Meybeck, M. (2003), *Global Analysis of River System: From Earth System Controls to Anthropocene Syndromes*. Philosophical Transaction B Vol. 358 Hal. 1935–1955.
- Milošević, D., Mančev, D., Čerba, D., Piperac, M. S., Popović, N., Atanacković, A., Đuknić, J., Simić, V. and Paunović, M. (2018), *The potential of chironomid larvae-based metrics in the bioassessment of non-wadeable rivers*, Science of the Total Environment, Vol.616–617, hal. 472–479.
- Murray, T. (2016), Tanypodinae, <http://www.pbase.com> diakses 6 Januari 2018 20.50.
- Murray, T. (2016), Chironominae, <http://www.pbase.com> diakses 6 Januari 2018 20.50.
- Odume, O. N., and Muller, W.J. (2011), *Diversity and structure of Chironomidae communities in relation to water quality differences in the Swartkops River*. Physic and Chemistry of The Earth, Vol. 36 Hal. 929-938.
- Pan, B.-Z., Wang, Z.-Y., Li, Z.-W., Lu, Y.-J., Yang, W.-J., Li, Y.-P., (2015), *Macroinvertebrate assemblages in relation to environments in the West River, with implications for management of rivers affected by channel regulation projects*. Quat. Int. Vol. 384 Hal. 180–185.
- Rahayu, S., Widodo, R.H., Van Noordwijk, M., Suryadi, I. and Verbist, B. (2009), *Monitoring Air di Daerah Aliran Sungai*. World Agroforestry Centre, Bogor.

- Resh, V.H. (2007), *Multinational Freshwater Bioassessment Programs in the Developing World: Lesson Learned from African and Southeast Asian River*. Environmental Management Vol. 39 Hal. 737-748.
- Rizo-Patrón V, F., Kumar, A. McCoy Coltonc, M.B. Springer, M. and Tramaa, F.A. (2013), *Macroinvertebrate Communities as Bioindicators of Water Quality in Conventional and Organic Irrigated Rice Fields in Guanacaste, Costa Rica*. Ecological Indicators, vol. 29, hal. 68–78.
- Rosenberg, D.M. (1998), *A National Aquatic Ecosystem Health Program for Canada: We Should Go Against The Flow*. Bull. Entomol. Soc. Can. Vol.30 Hal. 144-152.
- Schneck, F. and Melo, A. S. (2010), *Reliable sample sizes for estimating similarity among macroinvertebrate assemblages in tropical stream*, Int. J. Lim., Vol. 46 Hal. 93–100.
- Sharma, K.K., Bangitra, K., and Saini, M. (2013), *Diversity and Distribution of Mollusca in Relation to the Physico-Chemical Profile of Gho-Manhassan Stream Jammu*, International Journal of Biodiversity Conservation, Vol. 5. Hal. 240-249.
- Shillaa, D. J. and Shilla, D. A. (2012), *Effects of riparian vegetation and bottom substrate on macroinvertebrate communities at selected sites in the Otara Creek, New Zealand*. Journal of Integrative Environmental Sciences Vol. 9, Hal. 131–150.
- Solis, M., Bonetto, C., Marrochi, N., Paracampo, A., and Mugni, H. (2018), *Aquatic Macroinvertebrates are Affected by Insecticide Application on The Argentine Pampas*. Ecotoxicology and Environmental Safety Vol. 148. Hal 11-16.
- Spellerberg, I.F. (2005). *Monitoring Ecological Change*. Second Edition. Cambridge University Press. New York.
- Tanaka, M. O., de Souza, A. L. T., Moschini, L. E. And de Oleivera, A. K. (2016), *Influemce of Watershed Landuse and Riparian Characteristic on Biological Indicators of Stream Water Quality in Southeastern Brazil*. Agriculture Ecosystem and Environment, Vol. 216 Hal. 333-339.

- Trihadiningrum, Y. (1995), *Strategy Towards Water Quality Management Blawi River System in East Java Indonesia*. Disertasi. Universiteit Antwerpen. Wilrijk.
- Vannote, R. L., G. W. Minshall, K. W. Cummins, J. R. Sedell, And Cushing, C. E.. (1980), *The River Continuum Concept*, Journal of Fish and Aquatic Science, Vol. 37 Hal. 130-137.
- Walkowiak, M., Paasivirta, L., Meriläinen, J.J. and Arvola, L. (2016), *Contrasting Patterns in Chironomid (Chironomidae) Communities of Shallow and Deep Boreal Lakes Since the 1960s*. Finnish Zoological and Botanical Publishing Board, Vol. 53 Hal. 35-51.
- Wallace, J.B., and Webster, J.R. (1996), *The Role Of Macroinvertebrates In Stream Ecosystem Function*. Anna Rev., Vol. 41 Hal. 115-139.
- Wan Abdul Ghani, W. M. H., Md Rawi, S. Hamid, S. A and Al-Sham, S. A. (2016), *Efficiency of Different Sampling Tools for Aquatic Macroinvertebrate Collections in Malaysian Streams*, Tropical Life Sciences Research, Vol. 27 Hal. 115–133.
- Wieben, C.M., Baker, R.J., and Nicholson, R.S. (2013), *Nutrient concentrations in surface water and groundwater, and nitrate source identification using stable isotope analysis, in the Barnegat Bay-Little Egg Harbor watershed, New Jersey, 2010–11: U.S. Geological Survey Scientific Investigations Report 2012–5287*, 44 p.
- Wijngaarden, R.P.V., Brock, T.C., Van Den Brink, P.J. (2005), *Threshold Levels of Effect on Insecticides in Freshwater Ecosystem*. Vol. 14 Hal. 355-380.
- Xu, M., Wang, Z., Duan, X. and Pan, B. (2014), *Effects of Pollution on Macroinvertebrates and Water Quality Bio-assessment*. Hydrobiologi Vol. 729 Hal. 247–259.

Halaman Sengaja Dikosongkan

LAMPIRAN 1

Beberapa Famili Makroinvertebrata yang Ditemukan di Lokasi Studi

Gambar	Taksa
	Plecoptera: Perlidae
	Ephemeroptera: Caenidae
	Ephemeroptera: Baetidae
	Trichoptera: Hydropsychidae
	Crustacea: Palaemonidae

Gambar	Taksa
	Mollusca: Thiaridae
	Crustacea: Parathelphusidae
	Diptera: Tipulidae
	Diptera: Chironomidae

Biografi Penulis

Penulis lahir dan menempuh pendidikan hingga SMA di Kota Situbondo, lalu menamatkan pendidikan S1 di Jurusan Teknik Lingkungan FTSP-ITS pada tahun 2002. Sejak akhir tahun 2002 mengabdikan sebagai PNS di Kabupaten Bondowoso, dan mendapatkan tugas sebagai kepala UPT Laboratorium Lingkungan pada Badan Lingkungan Hidup Kabupaten Bondowoso sejak tahun 2010.



Penulis belum pernah mempublikasikan karya ilmiah, namun memiliki minat dalam penulisan karya ilmiah populer maupun *creative content*. Karya penulis yang berupa *blogpost* dengan tema lingkungan pernah memenangi kompetisi blog yang diselenggarakan oleh Green Peace (Tahun 2014) dan World Wide Fund (2014). Penulis juga menerbitkan buku populer bertema lingkungan dengan judul: *Kuliah Jurusan Apa? Jurusan Teknik Lingkungan* (Gramedia Pustaka Utama, 2016). Korespondensi dengan penulis dapat dilakukan melalui email: wyliandari@gmail.com, dan tulisan-tulisan dapat diakses melalui www.widyantiwylidari.com.

Halaman Sengaja Dikosongkan