

TESIS

**STUDI KONSENTRASI MIKROPLASTIK PADA AIR DAN
USUS IKAN HASIL TANGKAPAN DI DANAU TOWUTI,
LUWU TIMUR, SULAWESI SELATAN**

Disusun dan diajukan oleh :

MUH. AMRI YUSUF

L 01219 1 002



**PROGRAM MAGISTER ILMU PERIKANAN
FAKULTAS ILMU KELAUTAN DAN PERIKANAN
UNIVERSITAS HASANUDDIN
MAKASSAR
2021**

TESIS

**STUDI KONSENTRASI MIKROPLASTIK PADA AIR DAN
USUS IKAN HASIL TANGKAPAN DI DANAU TOWUTI,
LUWU TIMUR, SULAWESI SELATAN**

Disusun dan diajukan oleh :

MUH. AMRI YUSUF

L 01219 1 002



**PROGRAM MAGISTER ILMU PERIKANAN
FAKULTAS ILMU KELAUTAN DAN PERIKANAN
UNIVERSITAS HASANUDDIN
MAKASSAR
2021**

LEMBAR PENGESAHAN

STUDI KONSENTRASI MIKROPLASTIK PADA AIR DAN USUS IKAN HASIL
TANGKAPAN DI DANAU TOWUTI, LUWU TIMUR, SULAWESI SELATAN

Disusun dan diajukan oleh :

MUH. AMRI YUSUF
L 01219 1 002

Telah dipertahankan di hadapan Panitia Ujian yang dibentuk dalam rangka
Penyelesaian Studi Program Magister Program Studi Ilmu Perikanan Fakultas Ilmu
Kelautan dan Perikanan Universitas Hasanuddin
pada Tanggal 18 Agustus 2021
dan dinyatakan telah memenuhi syarat kelulusan.

Menyetujui,

Pembimbing Utama,



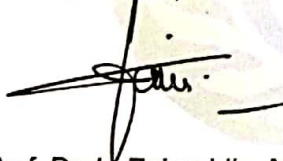
Prof. Dr. Akbar Tahir, M.Sc.
NIP. 19610718 198810 1 001

Pembimbing Pendamping,



Dr. Ir. Khusnul Yaqin, M.Sc.
NIP. 19680726 199403 1 002

Ketua Program Studi
Ilmu Perikanan,



Prof. Dr. Ir. Zainuddin, M.Si.
NIP. 19640721 199103 1 001

Dekan Fakultas Ilmu Kelautan
dan Perikanan,



Zainuddin, S.Pi., MP., Ph.D.
NIP. 19750611 200312 1 003

PERNYATAAN KEASLIAN

Yang bertanda tangan dibawah ini:

Nama : Muh. Amri Yusuf
Nomor mahasiswa : L 01219 1 002
Program studi : Ilmu Perikanan
Jenjang : S2

Menyatakan dengan ini bahwa karya tulisan saya berjudul:

Studi Konsentrasi Mikroplastik pada Air dan Usus Ikan Hasil Tangkapan di Danau
Towuti, Luwu Timur, Sulawesi Selatan

Adalah karya tulisan saya sendiri dan bukan merupakan pengambilan alihan tulisan orang lain bahwa tesis yang saya tulis ini benar-benar merupakan hasil karya saya sendiri.

Apabila dikemudian hari terbukti atau dapat dibuktikan bahwa sebagian atau keseluruhan Tesis ini karya orang lain, maka saya bersedia menerima sanksi atas perbuatan tersebut.

Makassar, 18 Agustus 2021
Yang Menyatakan,



Muh. Amri Yusuf
L 01219 1 002

PERNYATAAN KEPEMILIKAN TULISAN

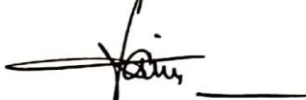
Saya yang bertanda tangan di bawah ini:

Nama : Muh. Amri Yusuf
Nomor mahasiswa : L 01219 1 002
Program studi : Ilmu Penikanan
Fakultas : Ilmu Kelautan dan Perikanan

menyatakan bahwa publikasi sebagian atau keseluruhan isi tesis pada jurnal atau forum ilmiah lain harus seizin dan menyertakan tim pembimbing sebagai pemilik tulisan (*author*) dan Universitas Hasanuddin sebagai institusinya. Apabila dalam waktu sekurang-kurangnya dua semester (satu tahun sejak pengesahan tesis) saya tidak melakukan publikasi dari sebagian atau keseluruhan tesis ini, maka pembimbing sebagai salah seorang dan penulis berhak mempublikasikannya pada jurnal ilmiah yang ditentukan kemudian, sepanjang nama mahasiswa tetap diikutkan.

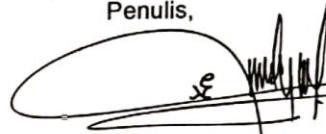
Makassar, 18 Agustus 2021

Mengetahui,



Prof. Dr. Ir. Zainuddin, M.Si
NIP. 19640721 199103 1 001

Penulis,



Muh. Amri Yusuf
NIM. L 01219 1 002

KATA PENGANTAR

Puji syukur penulis panjatkan kehadiran Allah SWT. atas segala karuniaNya penulis dapat menyelesaikan penyusunan tesis yang berjudul: “**Studi Konsentrasi Mikroplastik pada Air dan Usus Ikan Hasil Tangkapan di Danau Towuti, Luwu Timur, Sulawesi Selatan**”. Shalawat serta salam kepada Nabi Muhammad SAW. sebagai *uswatun hasanah wa rahmatan lil ‘alamiin*.

Selama proses tugas akhir, penulis menyadari bahwa tesis ini dapat diselesaikan berkat bantuan dan dukungan dari berbagai pihak, sehingga penulis berterima kasih setinggi-tingginya kepada semua pihak yang terlibat baik secara langsung maupun tidak langsung, utamanya kepada:

1. Bapak Prof. Dr. Akbar Tahir, M.Sc. dan Bapak Dr. Ir. Khsunul Yaqin, M.Sc. selaku pembimbing dalam penelitian ini yang dengan penuh ketulusan mengarahkan, mulai dari tahap awal hingga penelitian selesai. Semoga senantiasa sehat selalu dalam lindungannya, *aamiin allaahumma aamiin*
2. Ibu Dr. Nita Rukminasari, S.Pi., M.Si., Ibu Dr. Ir. Nadiarti, M.Sc. dan Ibu Dr. Sri Wahyuni Rahim, ST., M.Si. selaku dosen penguji yang telah banyak memberikan saran dan arahan yang sangat bermanfaat
3. Prof. Dr. Ir. Zainuddin, M.Si. selaku Ketua Program Studi Ilmu Perikanan, Fakultas Ilmu Kelautan dan Perikanan, Universitas Hasanuddin, Makassar
4. Bapak dan Ibu Dosen, staf pegawai serta seluruh mahasiswa(i) Fakultas Ilmu Kelautan dan Perikanan, Universitas Hasanuddin yang telah terlibat dan banyak membantu selama menjalani masa studi, terutama kepada Kak Ega Adhi Wicaksono dan Kak Amriana selaku mahasiswa(i) PMDSU.
5. Ibu Bapak sekeluarga dan Bapak Haji Andi Herianto & Ibu Hajjah Astina Mansur Dg. Bau sekeluarga yang senantiasa memberikan dukungan, mendo'akan dan memberikan semangat yang luar biasa selama tugas akhir. Porsi khusus kepada Sitti 'Aaisyah Hardiyanti (*tichan*). Semuanya, semoga senantiasa sehat, selalu dalam lindungan Allah SWT. *aamiin aamiin aamiin allaahumma aamiin yaa rabbal ‘alamiinn yaa mujiibassaailiin*

Makassar, 18 Agustus 2021

Muhammad Amri Yusuf

ABSTRAK

Muh. Amri Yusuf. L012191002. “Studi konsentrasi mikroplastik pada air dan usus ikan hasil tangkapan di Danau Towuti, Luwu Timur, Sulawesi Selatan” dibimbing oleh **Akbar Tahir** sebagai Pembimbing Utama dan **Khusnul Yaqin** sebagai Pembimbing Anggota.

Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui konsentrasi, karakteristik dan polimer mikroplastik yang berada di air dan usus ikan hasil tangkapan di Danau Towuti, Luwu Timur, Sulawesi Selatan. Pengambilan sampel air pada sembilan titik dan masing-masing terdiri dari lima kali ulangan yaitu: A, Timampu; B, outlet; C, Lengke; D, Lengkobale; E, Tokalimbo; F, Tomeraka; G, Lengkona; H, Inlet; I, Tengah. Pengambilan sampel usus ikan pada lima spesies yaitu; ikan butini (*Glossogobius matanensis*), ikan louhan (*Cichlasoma trimaculatum*), ikan betok (*Anabas testudineus*), ikan nila (*Oreochromis niloticus*) dan ikan gabus (*Channa striata*), masing-masing terdiri dari 11-15 ekor yang diambil dari titik C, Lengke; G, Lengkona dan H, Inlet. Identifikasi polimer dengan metode FT-IR. Pengolahan data konsentrasi mikroplastik menggunakan ANOVA *one-way*, Tukey post *hoc test* dan uji statistik non-parametrik *Bartlett test*. Hasil penelitian menunjukkan konsentrasi mikroplastik 7,36-26,28 partikel/liter pada air dan 0,036-0,117 partikel/gram pada usus ikan. Karakteristik partikel mikroplastik berwarna biru mendominasi, diduga karena alat tangkap perikanan dan cat dari kapal yang digunakan sebagai alat transportasi di perairan danau. Partikel mikroplastik bentuk fragmen yang mendominasi di perairan diduga dari tumpukan sampah plastik yang terdegradasi dan cat kapal, sedangkan dominasi partikel mikroplastik bentuk serat pada usus ikan diduga dari alat tangkap perikanan yang digunakan nelayan. Ditemukan empat jenis polimer, yaitu; polietilen, polianilin, poliester dan cat anti korosi/anti fouling.

Kata kunci: konsentrasi, karakteristik, polimer, mikroplastik, Danau Towuti

ABSTRACT

Muh. Amri Yusuf. L012191002 “Study on microplastic concentration in waterbody and gut of fish from Lake Towuti, East Luwu, South Sulawesi”. Under the supervision of **Akbar Tahir** as the main supervisor and **Khusnul Yaqin** as a member supervisor.

This study aims to identify concentration, characteristic, and polymer type of microplastics containing in the waterbody and gut of fish captured from lake Towuti, East Luwu, South Sulawesi. Sampling was performed in nine stations (five replicates respectively): A, Timampu; B, outlet; C, Lengke; D, Lengkobale; E, Tokalimbo; F, Tomeraka; G, Lengkona; H, Inlet; I, Tengah. Five fish species (11-15 fish respectively) were obtained for fish gut collection: Butini (*Glossogobius matanensis*), Three Spot Cichlid (*Cichlasoma trimaculatum*), Climbing Perch (*Anabas testudineus*), Nile Tilapia (*Oreochromis niloticus*) and Snakehead (*Channa striata*), obtained from station C, Lengke; G, Lengkona and H, Inlet. The polymer type was identified by applying FT-IR procedure. Data of microplastic concentration was analyzed using *one-way* ANOVA, *post hoc* test Tukey and non-parametric test. The results revealed microplastic concentration 7,36-26,28 particles/liter in waterbody and 0,036-0,117 particles/gram in fish gut. Blue microplastic particle dominates the overall microplastic content, allegedly originated from fishing gears and staining of the lake transportation vessels. Fragment particles are the most abundant shape that might come from the degraded plastic litter dumps and staining of the lake transportation vessels, while microplastic fiber dominates in fish guts could be from fishing gears applied by fishers. Four types of polymers were identified: *polyethylene*, *polyaniline*, *polyester* and *anticorrosion paint/anti fouling*.

Keywords: concentration, characteristic, polymer, microplastic, lake Towuti

DAFTAR ISI

	Halaman
TESIS	i
TESIS	ii
LEMBAR PENGESAHAN	iii
PERNYATAAN KEASLIAN	iv
PERNYATAAN KEPEMILIKAN TULISAN	v
KATA PENGANTAR	vi
ABSTRAK	vii
ABSTRACT	viii
DAFTAR ISI	ix
DAFTAR TABEL	xi
DAFTAR GAMBAR	xii
DAFTAR LAMPIRAN	xiii
I. PENDAHULUAN	1
A. Latar Belakang	1
B. Rumusan Masalah	2
C. Tujuan Penelitian	2
D. Kegunaan Penelitian	3
E. Ruang Lingkup / Batasan Penelitian	3
II. TINJAUAN PUSTAKA	4
A. Mikroplastik	4
B. Alur Sebaran Mikroplastik	5
C. Mikroplastik di Perairan Tawar	5
D. Mikroplastik pada Ikan Air Tawar	7
E. Dampak Mikroplastik	9
F. Isolasi Mikroplastik	10
G. Kerangka Pikir Penelitian	11
III. METODE PENELITIAN	13
A. Waktu dan Tempat	13
B. Prosedur Penelitian	14
1. Pengambilan Sampel	14
2. Identifikasi Polimer Mikroplastik	16
3. Analisis Data	17

IV. HASIL	18
A. Data Ukuran Ikan	18
B. Mikroplastik pada Sampel Air	18
C. Mikroplastik pada Usus Ikan.....	22
D. Jenis Polimer Hasil <i>Fourier Transform Infra Red</i> (FT-IR).....	25
V. PEMBAHASAN	28
A. Mikroplastik pada Sampel Air	28
B. Mikroplastik pada Usus Ikan.....	31
C. Jenis Polimer Hasil <i>Fourier Transform Infra Red</i> (FT-IR).....	34
VI. KESIMPULAN DAN SARAN	36
A. Kesimpulan	36
B. Saran.....	36
DAFTAR PUSTAKA.....	37
LAMPIRAN	44

DAFTAR TABEL

Nomor	Teks	Halaman
1.	Data yang diukur pada sampel	16
2.	Data ukuran ikan yang biasa dikonsumsi oleh masyarakat sehari-hari	18
3.	Data identifikasi ikan yang biasa dikonsumsi oleh masyarakat sehari-hari	18
4.	Konsentrasi Warna Mikroplastik pada Sampel Air	19
5.	Konsentrasi Bentuk Mikroplastik pada Sampel Air	21
6.	Konsentrasi Warna Mikroplastik pada Usus Ikan	23
7.	Konsentrasi Bentuk Mikroplastik pada Usus Ikan	24

DAFTAR GAMBAR

Nomor	Teks	Halaman
1.	Kerangka Pikir Penelitian	11
2.	Lokasi Pengambilan Sampel Air (Danau Towuti)	13
3.	Sketsa <i>neuston net</i>	14
4.	Timbangan digital untuk mengetahui bobot tubuh ikan	15
5.	Pengukuran panjang total menggunakan mistar	16
6.	Rata-rata Konsentrasi Mikroplastik pada Sampel Air	19
7.	Proporsi Warna Mikroplastik pada Sampel Air	20
8.	Proporsi Bentuk Mikroplastik pada Sampel Air	21
9.	Bentuk dan Warna Mikroplastik pada Sampel Air	22
10.	Rata-rata Konsentrasi Mikroplastik pada Usus Ikan	23
11.	Proporsi Warna Mikroplastik pada Usus Ikan	24
12.	Proporsi Bentuk Mikroplastik pada Usus Ikan	25
13.	Bentuk dan Warna Mikroplastik pada Usus Ikan	25
14.	Spektrum Polimer Polietilen	26
15.	Spektrum Polimer Polianilin	26
16.	Spektrum Polimer Poliester	27
17.	Spektrum Polimer Cat Anti Korosi/Anti Fouling	27

DAFTAR LAMPIRAN

Nomor	Teks	Halaman
1.	Data ukuran ikan yang biasa dikonsumsi oleh masyarakat sehari-hari	45
2.	Data identifikasi ikan yang biasa dikonsumsi oleh masyarakat sehari-hari	45
3.	Data yang diukur pada sampel	45
4.	Rata-rata Konsentrasi Mikroplastik pada Sampel Air	46
5.	Konsentrasi Warna Mikroplastik pada Sampel Air	46
6.	Proporsi Warna Mikroplastik pada Sampel Air	47
7.	Konsentrasi Bentuk Mikroplastik pada Sampel Air	47
8.	Proporsi Bentuk Mikroplastik pada Sampel Air	48
9.	Bentuk dan Warna Mikroplastik pada Sampel Air	48
10.	Rata-rata Konsentrasi Mikroplastik pada Usus Ikan	49
11.	Konsentrasi Warna Mikroplastik pada Usus Ikan	49
12.	Proporsi Warna Mikroplastik pada Usus Ikan	50
13.	Konsentrasi Bentuk Mikroplastik pada Usus Ikan	50
14.	Proporsi Bentuk Mikroplastik pada Usus Ikan	50
15.	Bentuk dan Warna Mikroplastik pada Usus Ikan	51
16.	Spektrum Polimer Polietilen	51
17.	Spektrum Polimer Polianilin	51
18.	Spektrum Polimer Poliester	52
19.	Spektrum Polimer Cat Anti Korosi/Anti Fouling	52

I. PENDAHULUAN

A. Latar Belakang

Era modern menimbulkan ragam aktivitas yang dilakukan oleh manusia, salah satunya dengan penggunaan plastik pada aspek kehidupan sehari-hari, baik pada skala kecil maupun skala besar. Limbah dari penggunaan plastik saat ini menjadi objek perhatian dalam hal pencemaran lingkungan, baik pada ekosistem darat maupun perairan. Secara global, pada tahun 2010 limbah plastik mendekati angka 13 juta metrik ton (MT) yang berasal lebih dari 190 negara di dunia yang masuk ke ekosistem perairan (Jambeck *et al.*, 2015). Limbah plastik yang terdapat pada ekosistem perairan memiliki variasi ukuran, yang seluruh variasi ukurannya memberikan ancaman terhadap perairan secara global (Tahir *et al.*, 2019). Dari seluruh variasi ukuran sampah plastik, yang memiliki ukuran < 5mm tergolong sebagai mikroplastik (Choi *et al.*, 2019; GESAMP, 2019). Mikroplastik yang tersebar bebas di perairan berasal dari sampah plastik yang mengalami fragmenasi, degradasi, menjadi potongan/puing plastik berukuran lebih kecil (Masura *et al.*, 2015; Zhang *et al.*, 2020). Hal tersebut dapat menjadi sebuah masalah pada beberapa organisme perairan, karena mereka menduga mikroplastik tersebut sebagai mangsa yang aman untuk dikonsumsi (Masura *et al.*, 2015).

Beberapa penelitian menemukan bahwa mikroplastik membahayakan kesehatan, baik pada hewan akuatik (Wang *et al.*, 2019) maupun pada manusia (Wang *et al.*, 2018). Mikroplastik dapat menyerap berbagai zat kimia beracun yang tentunya dapat membahayakan kesehatan hewan akuatik, seperti: PCB, PAH, HCH, DDT. Oleh karena itu, mengonsumsi hewan akuatik yang tercemar mikroplastik dapat membahayakan kesehatan pada manusia (Wang *et al.*, 2018).

Berawal dari kegiatan mangsa-memangsa pada organisme perairan, mulai dari organisme yang berukuran kecil hingga pada organisme yang berukuran besar, sesuai level trofik dan berujung pada konsumsi pangan pada manusia. Pencemaran mikroplastik mengancam hampir seluruh hewan akuatik secara global karena bentuk dan ukurannya yang sangat kecil dan menyerupai plankton di perairan, sehingga hewan akuatik berpotensi besar keliru dalam mengonsumsi makanan. Namun beberapa penelitian pencemaran mikroplastik sebagian besar dilakukan pada hewan akuatik di perairan laut, sedangkan pada perairan tawar dan organismenya masih kurang (Basseling *et al.*, 2016; Wang *et al.*, 2019). Padahal pencemaran mikroplastik di perairan tawar tidak kalah pentingnya untuk diteliti (Wang *et al.*, 2019). Pencemaran

mikroplastik, selain terjadi di ekosistem laut, muara dan sungai, juga dapat terjadi di danau (Yuan *et al.*, 2019; Yin *et al.*, 2019; Pleiter *et al.*, 2020; Alfonso *et al.*, 2020). Di Indonesia penelitian pencemaran mikroplastik di danau belum pernah dilakukan. Terjadinya pencemaran mikroplastik di danau, didasari oleh berbagai alasan yaitu: hidrodinamik, topografi, kegiatan perikanan, kegiatan pertanian dan limbah rumah tangga (Yuan *et al.*, 2019).

Indonesia memiliki salah satu danau besar sekaligus sebagai danau purba, yaitu Danau Towuti tepatnya di Kabupaten Luwu Timur, Sulawesi Selatan. Beberapa permasalahan terkait dengan potensi pencemaran mikroplastik di Danau Towuti yaitu: limbah rumah tangga seiring dengan meningkatnya jumlah penduduk, tingginya aktivitas perikanan tangkap yang menggunakan alat tangkap berbahan dasar dari plastik, aktivitas pertanian atau perkebunan, limbah industri dan pertambangan. Beberapa hal tersebut menjadi ancaman terhadap perairan dan bagi hewan akuatik yang berada di perairan Danau Towuti (Wijaya *et al.*, 2009), sekaligus menjadi ancaman kepada masyarakat yang akan mengkonsumsi hewan akuatik (ikan hasil tangkapan) yang berasal dari perairan Danau Towuti. Pencemaran mikroplastik di Danau Towuti dapat mengancam kelestarian Danau Towuti sebagai danau purba. Disisi lain Danau Towuti menjadi rumah bagi banyak jenis organisme hingga sebagian besar masyarakat yang memiliki mata pencaharian utama sebagai nelayan bergantung pada kondisi kelestarian Danau Towuti.

Berdasarkan uraian di atas, maka penelitian tentang studi konsentrasi cemaran mikroplastik pada air dan ikan hasil tangkapan di Danau Towuti, perlu untuk dilakukan.

B. Rumusan Masalah

Berdasarkan latar belakang yang telah diuraikan, maka rumusan masalah dalam penelitian adalah sebagai berikut:

1. Bagaimanakah kondisi konsentrasi mikroplastik pada air dan usus ikan hasil tangkapan di Danau Towuti?
2. Bagaimanakah karakteristik mikroplastik pada air dan usus ikan hasil tangkapan di Danau Towuti?
3. Apa jenis polimer yang terdapat pada partikel mikroplastik di perairan Danau Towuti?

C. Tujuan Penelitian

Berdasarkan rumusan masalah pada penelitian ini, maka ditentukan beberapa tujuan dalam penelitian ini, yaitu:

1. Mengetahui kondisi konsentrasi mikroplastik pada air dan usus ikan hasil tangkapan di Danau Towuti
2. Mengetahui karakteristik mikroplastik pada air dan usus ikan hasil tangkapan di Danau Towuti
3. Mengetahui jenis polimer yang terdapat pada partikel mikroplastik di perairan Danau Towuti

D. Kegunaan Penelitian

Kegunaan dari penelitian ini adalah sebagai salah satu bahan informasi penting terhadap pencemaran mikroplastik di lingkungan perairan tawar (ekosistem danau) di Indonesia, keberadaan dan konsentrasi mikroplastik pada ikan hasil tangkapan di Danau Towuti yang dikonsumsi masyarakat, juga sebagai upaya meningkatkan kesadaran masyarakat dan pemerintah setempat dalam menjaga kelestarian Danau Towuti sebagai danau purba yang ada di Indonesia. Selain itu, juga dapat menjadi referensi untuk pengembangan penelitian mikroplastik di perairan tawar khususnya pada ekosistem danau.

E. Ruang Lingkup / Batasan Penelitian

Penelitian ini dilaksanakan dalam ruang lingkup pencemaran mikroplastik yang ada di perairan Danau Towuti, keberadaan dan konsentrasi mikroplastik pada air dan usus ikan hasil tangkapan nelayan yang dikonsumsi masyarakat.

II. TINJAUAN PUSTAKA

A. Mikroplastik

Mikroplastik merupakan sampah plastik yang terdegradasi menjadi potongan, puing atau serpihan plastik yang berukuran lebih kecil (Masura *et al.*, 2015; Zhang *et al.*, 2020). Secara umum, puing plastik dengan kategori mikroplastik memiliki ukuran 300 μm – 5 mm (Frias and Nash, 2019; GESAMP, 2019) dengan berbagai bentuk (Mao *et al.*, 2020) yaitu: serat, pelet (*pellets*), fragmen (*fragment*) dan film. Frias *et al.*, (2019) menjelaskan bahwa aktivitas penguraian oleh mikroorganisme (biodegradasi), penetrasi cahaya atau sinar matahari (fotodegradasi), reaksi oksidatif oleh suhu tertentu (*thermooxidative degradation*), degradasi karena suhu tinggi (*thermal degradation*) dan aktivitas air di perairan menjadi penyebab limbah plastik terdegradasi menjadi puing plastik yang lebih kecil (mikroplastik).

Mikroplastik dapat diklasifikasikan berdasarkan sumbernya, yaitu: mikroplastik primer dan mikroplastik sekunder (Cole *et al.*, 2011). Mikroplastik primer lebih mengarah pada limbah dari penggunaan produk pengobatan (medis) dan produk kecantikan (kosmetik) yang pada umumnya mengandung *microplastic scrub*. Padahal sebelum tahun 1980 untuk keperluan kecantikan (kosmetik) beberapa bersumber dari bahan-bahan alami. Namun, tingkat efektivitas yang lebih tinggi pada *scrub* mampu mengalahkan bahan-bahan alami yang digunakan untuk kecantikan sebelum tahun 1980. Sehingga, penggunaan *scrub* ini meningkat pesat seiring dengan dipatenkannya menjadi bahan kosmetik yang resmi. Contoh lain pada teknologi *airblasting* pada kapal, digunakan untuk menghilangkan korosi pada komponen-komponen kapal, dan terdapat bahan baku yang terdiri dari beberapa unsur mikroplastik.

Mikroplastik sekunder lebih mengarah kepada puing (fragmen) plastik yang lebih kecil dari puing plastik yang memiliki ukuran lebih besar. Keberadaan fragmen plastik ini akan terpengaruh oleh proses kimiawi, biologi dan secara fisik. Fotodegradasi menjadi salah satu penyebab degradasi mikroplastik, melalui paparan sinar ultraviolet (UV) dan akan menyebabkan degradasi pada fragmen mikroplastik menjadi lebih kecil bergantung pada jenis polimernya.

Berdasarkan polimernya, mikroplastik terbagi dalam beberapa jenis polimer. Diantaranya (Matsui *et al.*, 2020) yaitu: polietilen (PE), polipropilen (PP), polistirena (PS), polivinil klorida (PVC), polimetil metakrilat (PMMA), nilon-6 (N6), nilon-6,6 (N66), akrilonitril-butadiena-stirena, kopolimer (ABS), polietilen tereftalat (PET), polikarbonat (PC) dan poliuretan berbasis metilen difenildiisosiyanat (PU).

Saat ini, limbah plastik menjadi objek perhatian dalam hal pencemaran lingkungan, baik pada ekosistem darat maupun perairan sehingga memberikan ancaman terhadap keberlanjutan bumi (Tahir *et al.*, 2019). Secara global, pada tahun 2010 limbah plastik mendekati angka 13 juta metrik ton (MT) yang berasal lebih dari 190 negara di dunia yang masuk ke ekosistem perairan (Jambeck *et al.*, 2015).

B. Alur Sebaran Mikroplastik

Berdasarkan beberapa penelitian, pencemaran mikroplastik terjadi pada beberapa ekosistem perairan, seperti: danau, sungai, muara dan laut (Yuan *et al.*, 2019; Yin *et al.*, 2019; Wicaksono *et al.*, 2020; Jiang *et al.*, 2020; Pleiter *et al.*, 2020; Alfonso *et al.*, 2020; Taha *et al.*, 2021). Pencemaran mikroplastik terjadi, karena didasari oleh berbagai alasan: hidrodinamik, topografi, kegiatan perikanan, kegiatan pertanian dan limbah rumah tangga (domestik) (Basseling *et al.*, 2016; Yuan *et al.*, 2019).

Seiring dengan jalur-jalur aliran air limbah baik itu bermula dari saluran irigasi masyarakat kemudian dengan beberapa jalur yang dilaluinya, kemungkinan besar dapat terjadi pencemaran mikroplastik. Pada penelitian Wicaksono *et al.* (2020) terjadi pencemaran mikroplastik di Sungai Jenebereng, Indonesia dengan konsentrasi 1,20-3,19 partikel/m³, sedangkan pada penelitian lain yang dilakukan di Danau Poyang, China juga terjadi pencemaran mikroplastik dengan konsentrasi pada air sebesar 5-34 partikel/liter dan pada ikan (*Carrasius auratus*) sebanyak 0-18 partikel/individu (Yuan *et al.*, 2019). Selanjutnya pada penelitian lain, pencemaran mikroplastik terjadi lagi di Muara Terengganu, Malaysia dengan konsentrasi pada air 545,8 partikel/m³ (Taha *et al.*, 2021), serta pencemaran mikroplastik di Laut Kuning Selatan, China dengan konsentrasi 4,5-6,5 partikel/liter (Jiang *et al.*, 2020).

Sebaran mikroplastik sebelum mencapai lautan, terlebih dahulu melalui beberapa jalur perairan seiring berlangsungnya berbagai faktor degradasi sekaligus mencemari perairan yang dilaluinya. Misalnya saja bermula dari limbah domestik, peternakan, pertanian, industri kemudian memasuki saluran irigasi, sungai-sungai kecil dan menuju danau sekitar, kemudian berakhir di perairan laut, seiring dengan faktor biodegradasi, fotodegradasi, *thermooxidative*, *thermal degradation* dan *hydrolysis*, maka pencemaran mikroplastik semakin meluas pada perairan yang dilaluinya.

C. Mikroplastik di Perairan Tawar

Beberapa penelitian, dominan menunjukkan studi mikroplastik pada ekosistem perairan laut yang diduga sebagai tempat terakhir mikroplastik, sedangkan

pencemaran mikroplastik pada ekosistem perairan tawar dan organismenya masih kurang (Basseling *et al.*, 2016; Yuan *et al.*, 2019; Wang *et al.*, 2020). Padahal pencemaran mikroplastik di perairan tawar tidak kalah pentingnya untuk diteliti (Wang *et al.*, 2020). Pencemaran mikroplastik selain terjadi di ekosistem laut, muara dan sungai, juga dapat terjadi di danau (Yuan *et al.*, 2019; Yin *et al.*, 2019; Pleiter *et al.*, 2020; Alfonso *et al.*, 2020), sedangkan di Indonesia penelitian pencemaran mikroplastik di danau belum pernah dilakukan.

Sebagian mikroplastik, berawal dari lingkungan darat sebelum mencapai perairan laut sebagai tempat terakhir. Perairan tawar (saluran irigasi, waduk, danau dan sungai) menjadi penerima sekaligus sebagai jalur migrasi pencemaran mikroplastik dari pemukiman, industri, pertanian dan perikanan sebelum menuju ke perairan laut. Konsentrasi mikroplastik bervariasi diberbagai wilayah perairan, juga dengan masing-masing penyebab yang menghadirkan mikroplastik. Secara umum, limbah antropogenik dan transfer melalui atmosfer menjadi penyebab keberadaan mikroplastik.

Mikroplastik yang berada di perairan tawar, tepatnya yang berada di perairan danau bersumber dari limbah masyarakat sekitar atau kegiatan antropogenik dan berbagai penyebab yang lainnya hingga yang bersumber dari atmosfer (Allen *et al.*, 2019). Limbah dari beberapa aktivitas seperti; perikanan komersial, perkapalan, proses ledakan udara, produk perawatan kecantikan (kosmetik) yang dibuang ke alam, turut berkontribusi menghadirkan mikroplastik di danau (Free *et al.*, 2014; Alfonso *et al.*, 2020). Beberapa penelitian mengemukakan bahwa berbagai faktor eksternal juga turut mempengaruhi konsentrasi mikroplastik disuatu wilayah, seperti: arus permukaan yang bergerak karena pengaruh angin, banjir, limpasan, pelepasan bendungan, pengembangan wilayah hingga pariwisata (Fischer *et al.*, 2016; Li *et al.*, 2018; Meng *et al.*, 2020).

Beberapa penelitian mikroplastik di danau memiliki konsentrasi yang berbeda-beda dengan masing-masing penyebab. Alfonso *et al.*, (2020) dalam penelitiannya mengemukakan bahwa limpasan dari pemukiman perkotaan, limbah tekstil dan aktivitas perikanan menyebabkan keberadaan mikroplastik dengan konsentrasi rata-rata $0,9 \pm 0,6$ partikel/ m^3 di Petagonian, Argentina. Kemudian, keberadaan mikroplastik dengan konsentrasi 0,62-4,31 partikel/ m^2 di Danau Dongting, China disebabkan oleh limbah plastik sehari-hari dan migrasi perairan dari sungai-sungai sekitarnya (Hu *et al.*, 2020). Mikroplastik lebih tinggi ditemukan di Danau Ontario, Kanada dengan konsentrasi 0,8-15,4 partikel/liter yang disebabkan oleh limpasan air hujan, limpasan pertanian dan limbah air yang diolah (Grbic *et al.*, 2020).

Keberadaan mikroplastik pada lingkungan perairan danau berpotensi mengancam keberadaan organisme yang berada di perairan tersebut, utamanya organisme akuatik yang menjadi mata pencaharian masyarakat sekitar untuk dikonsumsi. Bentuk dan ukuran mikroplastik yang kecil dan menyerupai plankton sebagai pakan alami di perairan, sehingga hewan akuatik berpotensi besar keliru dalam kegiatan konsumsi makanan. Berdasarkan hal tersebut, maka mikroplastik di perairan tawar terdistribusi setidaknya pada dua kompartemen, yaitu pada perairan (air) dan organisme perairan (hewan akuatik) yang akan dikonsumsi masyarakat sekitar. Padahal dalam penelitian telah diketahui bahwa mikroplastik berpotensi membahayakan kesehatan, baik pada hewan akuatik (Wang *et al.*, 2019) maupun pada manusia (Wang *et al.*, 2018). Hal tersebut karena mikroplastik bersifat absorban, dapat menyerap berbagai zat kimia beracun, seperti: PCB, PAH, HCH, DDT yang tentunya dapat membahayakan kesehatan hewan akuatik sekaligus dapat membahayakan dan mengancam kesehatan pada manusia yang mengonsumsinya (Wang *et al.*, 2018).

D. Mikroplastik pada Ikan Air Tawar

Keberadaan mikroplastik pada organisme, khususnya pada ikan yang dikonsumsi manusia, tidak lepas dari ketersediaan mikroplastik di perairan. Berbagai penyebab hadirnya mikroplastik di perairan telah diuraikan dari beberapa penelitian. Pada perairan tawar, sungai dan danau adalah jalur utama yang tercemar mikroplastik sebelum berujung di perairan laut. Sekaligus berpotensi membahayakan organisme perairan, khususnya ikan yang akan dikonsumsi masyarakat. Jumlah mikroplastik yang ada pada ikan bukan hanya karena jenis spesies yang berbeda, melainkan karena faktor habitat dan strategi makan dari ikan tersebut (Azizi *et al.*, 2021).

Mikroplastik di perairan tawar dapat mempengaruhi kualitas hidup organisme akuatik, baik secara tidak langsung maupun secara langsung (Azizi *et al.*, 2021). Beberapa organisme akuatik mengalami kematian, gangguan pencernaan, luka tenggerokan, dan lain-lain (Eerkes-Medrano *et al.*, 2015). Selain itu, pada plastik ditemukan bahan yang mengandung zat aditif dan bersifat karsinogen dari beberapa produksi tekstil, kemasan dan pakaian.

Bentuk dan ukuran mikroplastik di perairan tawar juga sangat berpengaruh karena menyerupai makanan ikan seperti: plankton, organisme kecil, limbah organik dan anorganik (Zheng *et al.*, 2019). Ikan dapat terkecoh dalam memilih makanan untuk dikonsumsi dan mikroplastik dengan bentuk serat adalah yang paling umum ditemukan pada ikan. Mikroplastik juga diduga berpeluang dapat berkontribusi pada siklus rantai

makanan dan dapat berpindah sesuai dengan konsep biomagnifikasi. Melalui kegiatan mangsa-memangsa dari level tropik yang tinggi terhadap level tropik yang rendah, proses perpindahan mikroplastik dapat terjadi hingga pada manusia yang mengkonsumsi ikan dengan kandungan mikroplastik (Thompson *et al.*, 2009; Santillo *et al.*, 2017).

Beberapa penelitian mengemukakan tentang keberadaan mikroplastik diberbagai organisme bahkan pada level tropik terendah, seperti pada zooplankton (Cole *et al.*, 2013). Keberadaan mikroplastik pada berbagai level tropik, semakin memperluas ancaman dan potensi membahayakan terhadap ikan yang akan dikonsumsi masyarakat. Bahwa selain terpapar langsung dari perairan, juga sangat berpotensi didapatkan dari siklus rantai makanan.

Secara umum, untuk mendeteksi keberadaan mikroplastik pada ikan yang akan dikonsumsi masyarakat, dapat diketahui melalui organ pencernaan ikan (*gastrointestinal tract*), usus (*intestine*), insang (*gills*) (Lusher *et al.*, 2013; Yuan *et al.*, 2019; Zheng *et al.*, 2019; Sun *et al.*, 2021). Meskipun organ tersebut tidak dikonsumsi khusus oleh manusia, namun keberadaan mikroplastik dalam organ ikan tetap membahayakan dan mengancam kesehatan manusia. Hal tersebut dikarenakan mikroplastik sebelum masuk ke dalam organ tubuh ikan mengakumulasi zat-zat kimia yang bersifat toksik dan karsinogen. Selain itu, mikroplastik juga berpotensi menghadirkan biofilm yang dapat menjadi sumber mikroba patogen (Leslie *et al.*, 2013; Eerkes-Medrano *et al.*, 2015; Koelmans *et al.*, 2019).

Konsentrasi mikroplastik pada ikan air tawar bervariasi. Sun *et al.* (2021) dalam penelitiannya di China menemukan konsentrasi mikroplastik 0,015 partikel/gram pada ikan nila (*Oreochromis niloticus*), sedangkan pada ikan mas (*Cirrhinus molitorella*) dengan konsentrasi 0,031 partikel/gram yang berfokus pada organ saluran pencernaan dan insang. Pada penelitian Kasamesiri *et al.* (2020) di Thailand menemukan keberadaan mikroplastik dengan konsentrasi 1,6 partikel/individu pada ikan *Mystus bocourti*, sedangkan pada *Labridae longibarbis* dengan konsentrasi 1,2 partikel/individu. Kemudian Wang *et al.* (2020) mendeteksi 5,0 partikel/individu konsentrasi mikroplastik pada ikan *Cyprinus carpio*.

Pada kondisi tersebut, khususnya pada penelitian Sun *et al.* (2021) memiliki potensi yang berbahaya pada manusia sebagai konsumen, karena ikan nila dan ikan mas merupakan ikan yang disenangi masyarakat sekitar untuk dikonsumsi. Demikian juga pada penelitian yang lainnya, dengan kondisi ikan yang mengandung mikroplastik dan menjadi konsumsi yang disenangi masyarakat.

Beberapa penelitian telah diuraikan mengenai urgensi keberadaan mikroplastik pada organisme akuatik. Utamanya pada ikan yang dikonsumsi manusia, dapat

mengancam dan membahayakan kesehatan manusia. Namun sebelum sampai pada manusia sebagai konsumen, ikan yang mengonsumsi mikroplastik secara tidak sengaja di perairan, terlebih dahulu mengalami beberapa gangguan kesehatan (Wang *et al.*, 2018; Jabeen *et al.*, 2018; Qiao *et al.*, 2019; Naidoo *et al.*, 2019; Chen *et al.*, 2020).

E. Dampak Mikroplastik

Berdasarkan penelitian Wang *et al.* (2018) yang menyatakan bahwa mikroplastik dapat menyerap berbagai zat kimia beracun, seperti: PCB, PAH, HCH, DDT yang tentunya dapat membahayakan kesehatan organisme akuatik, sehingga mengonsumsi hewan akuatik yang telah tercemar mikroplastik dapat membahayakan kesehatan pada manusia. Pada aspek fungsi fisiologis dan nilai nutrisi pada biota, cemaran mikroplastik dapat mengganggu fisiologi dan perilaku organisme (*behavior*). Kemudian, dampak dari mikroplastik menyebabkan aktivitas makan melambat, nafsu makan berkurang, dan berpengaruh pada kualitas gizi (protein, karbohidrat dan lipid) yang menyebabkan pertumbuhan melambat dan lebih rendah (Yin *et al.*, 2018; Yin *et al.*, 2019).

Ditinjau dari aspek organ pada biota, mikroplastik sangat bersifat toksik dan menyebabkan kerusakan pada mukosa, meningkatkan permeabilitas, peradangan, gangguan metabolisme, perubahan bakteri tertentu dan berujung pada kelangsungan hidup biota (Qiao *et al.*, 2019; Naidoo *et al.*, 2019).

Pada penelitian Chen *et al.* (2020) mengemukakan bahwa mikroplastik memberikan dampak buruk pada hewan akuatik ikan zebra dan ikan nila, utamanya pada proses metabolismenya. Bahwa ketika proses metabolisme mengalami gangguan, maka pertumbuhan dan kebiasaan hidup dari hewan akuatik juga akan turut terganggu. Jumlah mikroplastik yang ada pada ikan dapat dianggap sebagai representatif dari keberadaan mikroplastik di perairan.

Keberadaan mikroplastik pada ikan mas (*Carrasius auratus*) dapat menyebabkan kerusakan mekanis pada sekitar rahang. Selain itu, keberadaan partikel mikroplastik pada saluran pencernaan juga dapat menyebabkan penyumbatan dan cedera/luka (Jabeen *et al.*, 2018). Kemudian dampak lain yang diderita pada ikan yang mengandung mikroplastik, dapat memberikan perubahan tingkah laku hingga pada respon stress pada ikan (Choi *et al.*, 2018).

Berbagai macam dampak yang ditimbulkan dari mikroplastik terhadap hewan akuatik, tidak lepas dari sifat dan kondisinya sebagai bahan toksik yang mampu mengakumulasi berbagai zat karsinogen dari perairan (Chen *et al.*, 2020; Kasamesiri *et*

al. 2020; Sun *et al.*, 2021). Kemudian dengan kondisi tersebut masuk ke dalam tubuh hewan akuatik dan dalam kondisi tertentu dalam saluran pencernaan ikan, zat-zat karsinogen yang terkandung pada partikel mikroplastik terlepas, hingga memberikan dampak buruk pada ikan (Rochman, 2015).

Seiring dengan proses metabolisme yang terjadi dalam tubuh ikan, meskipun dalam keadaan metabolisme yang terganggu. Mikroplastik yang sebelumnya berada pada saluran pencernaan, akan keluar kembali bersamaan dengan hasil metabolisme. Kemudian, mikroplastik yang bebas di perairan memiliki potensi akan dikonsumsi kembali oleh hewan akuatik (Azizi *et al.*, 2021; Sun *et al.*, 2021)

Beberapa penelitian telah menguraikan mengenai kondisi dan keberadaan mikroplastik yang memiliki dampak buruk pada kehidupan dan kesehatan hewan akuatik (Wang *et al.*, 2018; Qiao *et al.*, 2019; Naidoo *et al.*, 2019), khususnya pada ikan air tawar yang dikonsumsi manusia, sedangkan untuk mengetahui keberadaan mikroplastik baik pada perairan maupun pada biota, memerlukan metode khusus dalam mengisolasi partikel mikroplastik.

F. Isolasi Mikroplastik

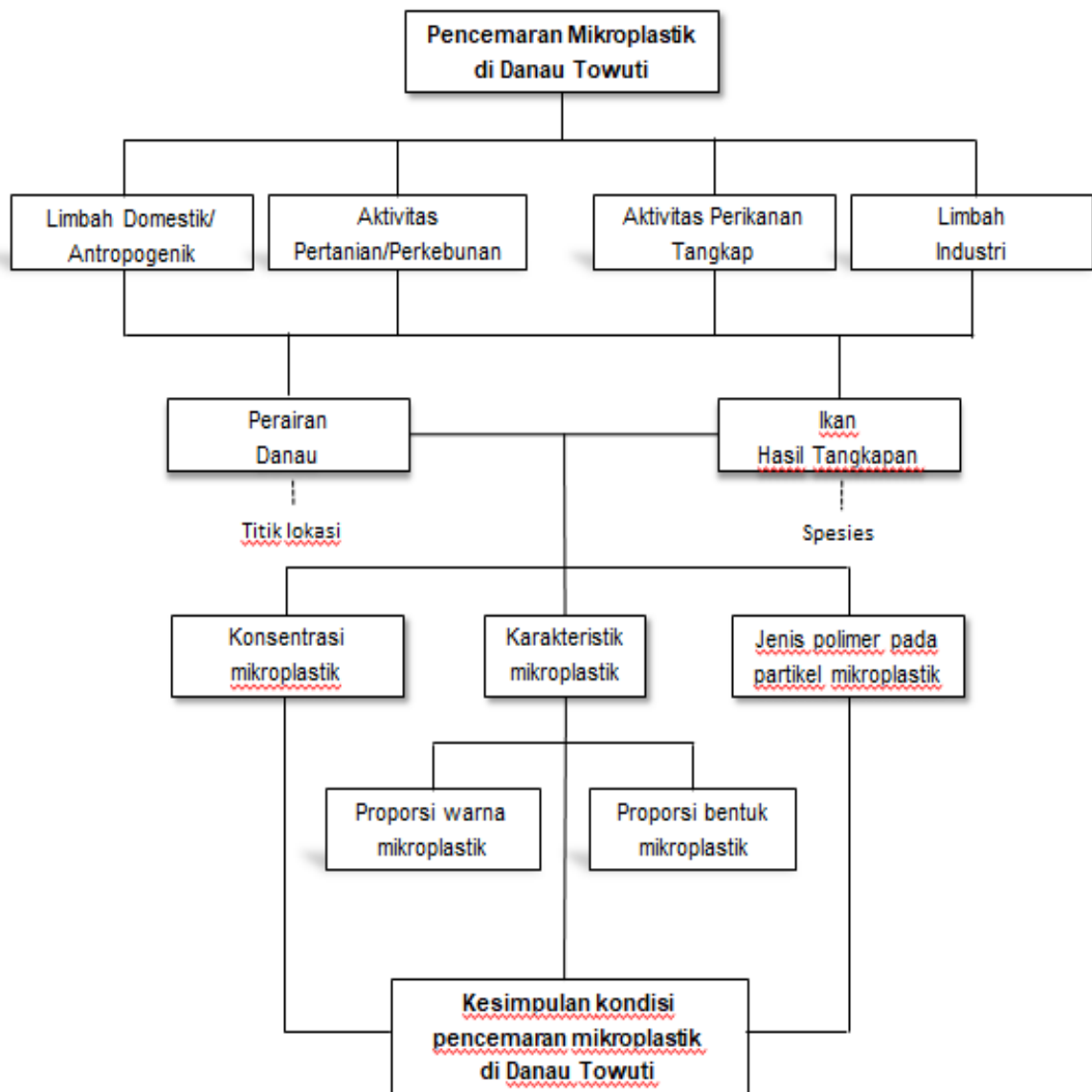
Secara umum isolasi mikroplastik dari perairan menggunakan alat yang menyerupai *plankton-net*, yaitu *manta trawl* atau *neuston-net*. Penggunaan alat tersebut menyerupai cara kerja pada *plankton net*, dapat digunakan pada perairan yang memiliki gelombang air dan bekerja lebih baik ketika gelombang di perairan lebih kecil atau lebih tenang mencegah kondisi alat dari kerusakan. Pada umumnya jaring pada *neuston net* menggunakan jaring dengan ukuran mesh size 300 μm – 350 μm . Secara umum, penarikan *neuston net* dengan kecepatan 1-5 knot. Kemudian, hal yang penting untuk diperhatikan adalah memastikan bahwa tidak ada sampel mikroplastik yang tertinggal pada botol *cod-end* ketika memindahkan ke wadah sampel (Loder and Gerdts, 2015).

Isolasi mikroplastik pada hewan akuatik (biota) umumnya ditargetkan pada ususnya (Loder and Gerdts, 2015; Lusher *et al.*, 2016). Sesuai dengan tingkah laku biota ketika mengonsumsi mikroplastik di perairan karena memiliki bentuk dan ukuran yang menyerupai pakan alami (plankton), sedangkan pembahasan tentang konsumsi akan berkaitan dengan usus. Dalam mengisolasi mikroplastik pada usus memerlukan teknik *digestion* agar material mikroplastik dapat dipastikan dan tidak diragukan masih mengandung material biologis pada organ pencernaan dari biota tersebut. Pada teknik *degestion* dilakukan dengan penggunaan asam kuat dan basa kuat seperti KOH 10% melalui cara merendamkan pada usus dari biota. Teknik *digestion* tersebut telah

terbukti dapat menghilangkan material biologis lainnya, kemudian tidak merusak dan dapat mempertahankan keberadaan partikel mikroplastik yang terkandung pada usus dengan baik (Foekema *et al.*, 2013; Lusher *et al.*, 2016).

G. Kerangka Pikir Penelitian

Berdasarkan uraian di atas, kerangka pikir penelitian dapat dilihat Gambar 1.



Gambar 1. Kerangka Pikir Penelitian

Beberapa hal yang menjadi penyebab pencemaran mikroplastik yang terjadi di Danau Towuti yaitu: limbah domestik, aktivitas pertanian atau perkebunan, aktivitas perikanan tangkap dan limbah domestik. Dari beberapa penyebab tersebut kemudian perairan danau dan ikan hasil tangkapan nelayan menjadi objek pencemaran

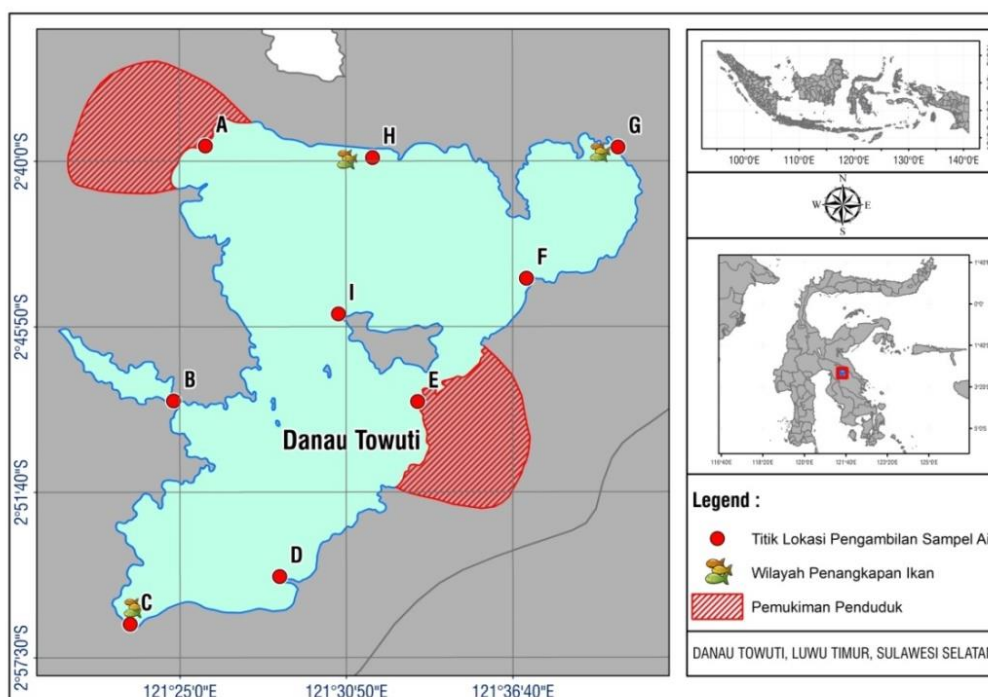
mikroplastik. Perairan danau dapat ditinjau dari beberapa titik lokasi, sedangkan ikan hasil tangkapan dapat ditinjau dari beberapa spesies.

Pencemaran mikroplastik dapat diamati pada tiga parameter, yaitu: konsentrasi mikroplastik, karakteristik mikroplastik dan jenis polimer pada partikel mikroplastik. Karakteristik mikroplastik juga dapat diamati dari warna dan bentuk mikroplastik. Kemudian dari beberapa parameter tersebut dapat disimpulkan mengenai kondisi pencemaran mikroplastik di Danau Towuti.

III. METODE PENELITIAN

A. Waktu dan Tempat

Pengambilan sampel air dan ikan dilakukan pada September 2020 di Danau Towuti, Luwu Utara, Sulawesi Selatan. Danau Towuti memiliki luas permukaan sekitar 560 km², kedalaman hingga 203 m, berada 293 di atas permukaan laut (Haffner *et al.*, 2001) dan merupakan salah satu danau terbesar di Indonesia setelah Danau Toba (Wijaya *et al.*, 2009). Beberapa titik lokasi sebagai tempat pengambilan sampel air dan ikan. Titik lokasi pengambilan sampel air dapat dikategorikan berdasarkan wilayah Tenggara dan Barat Laut. Wilayah Tenggara (C, Lengke; G, Lengkona; F, Tomeraka; D, Lengkobale; E, Tokalimbo; I, Tengah;) dan wilayah Barat Laut (A, Timampu; H, Inlet; B, Outlet), sedangkan untuk wilayah yang berdekatan dengan penduduk yaitu pada titik A, Timampu dan I, Tengah. Titik lokasi C, Lengke; G, Lengkona dan H, Inlet adalah wilayah yang paling sering dikunjungi untuk kegiatan perikanan tangkap (Gambar 2).



Gambar 2. Lokasi Pengambilan Sampel Air (Danau Towuti).
Sumber: *World Geodetic System 1984*

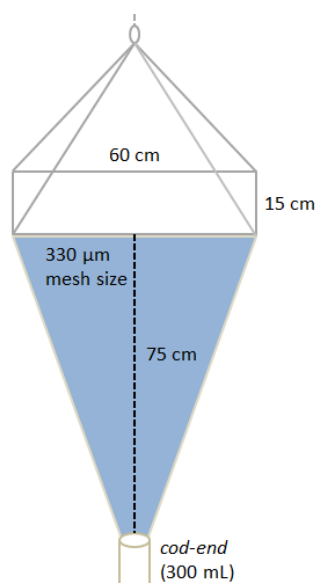
Isolasi mikroplastik dilakukan pada September – Desember 2020 di Laboratorium Ekotoksikologi Laut, Fakultas Ilmu Kelautan dan Perikanan, Universitas Hasanuddin, Makassar, Sulawesi Selatan. Identifikasi polimer mikroplastik dilakukan di Laboratorium Kimia, Lembaga Ilmu Pengetahuan Indonesia, Serpong.

B. Prosedur Penelitian

1. Pengambilan Sampel

a. Mikroplastik pada sampel air

Sampel air diambil pada sembilan titik lokasi berdasarkan perwakilan wilayah di Danau Towuti (Gambar 2). Pengambilan sampel air pada tiap titik lokasi sampling menggunakan ember bervolume 10 Liter sebanyak 5 kali ulangan. Air pada ember kemudian dituang dan disaring menggunakan *neuston net* dengan ukuran mesh size 330 μm (Gambar 3) (Covernton *et al.*, 2019; Tahir *et al.*, 2019). Hasil saringan yang terkumpul dalam *cod-end* jaring dengan kapasitas 300 mL, kemudian diambil dan dimasukkan ke dalam botol sampel untuk dibawa dan dianalisis di laboratorium.



Gambar 3. Sketsa *neuston net*

Sampel air kemudian disaring dengan bantuan *vacuum pump* (Rocker 410) menggunakan filter selulosa (Whatman, besar pori 0.45 μm) dan kemudian hasil saringannya diamati dengan menggunakan mikroskop stereo (Euromax Stereoblue) dengan pembesaran yang digunakan 20x dan 45x untuk melihat keberadaan mikroplastik. Partikel mikroplastik yang ditemukan kemudian diletakkan pada gelas objek dengan penutup, lalu disimpan di dalam aluminium foil untuk kemudian diidentifikasi jenis polimernya dengan menggunakan metode *Fourier Transform Infra Red* (FT-IR) (Bruker Tensor II).

b. Mikroplastik pada usus ikan

Sampel ikan diambil dari hasil tangkapan nelayan yang menggunakan pukat atau alat tangkap jenis lainnya, di wilayah penangkapan perairan Danau Towuti (titik H, G dan C pada Gambar 2). Secara umum sampel ikan yang diambil merupakan jenis

ikan yang biasa dikonsumsi oleh masyarakat sehari-hari yang berada disekitar Danau Towuti, yaitu: ikan butini (*Glossogobius matanensis*) 15 ekor, ikan louhan (*Cichlasoma trimaculatum*), ikan betok (*Anabas testudineus*) 11 ekor, 15 ekor ikan nila (*Oreochromis niloticus*) 15 ekor dan ikan gabus (*Channa striata*) 15 ekor. Ikan yang tertangkap kemudian diukur bobot tubuh, panjang total (Tabel 1) dan kemudian identifikasi jenisnya (Tabel 2). Tiap individu dari masing-masing spesies kemudian dibedah dan ususnya diambil untuk analisis mikroplastik di laboratorium.

Teknik *digestion* pada usus ikan menggunakan KOH untuk menghilangkan material biologis lainnya dan dapat mempertahankan kondisi keutuhan partikel mikroplastik (Foekema *et al.*, 2013; Lusher *et al.*, 2016). Sampel usus ikan pada penelitian ini direndam larutan KOH 20% (200 gr KOH *crystal* + 1L *aquades*) ditambahkan pada sampel sebanyak 3 kali volume sampel dan dibiarkan selama 14 hari pada suhu ruang atau hingga partikel organik hancur. Sampel kemudian dituang ke dalam cawan petri secara bertahap dan teliti agar partikel mikroplastik tidak terlewatkan. Kemudian secara perlahan juga diamati dengan teliti agar partikel mikroplastik tetap utuh dan tidak rusak karena bercampur dengan material sisa makanan dari usus, seperti; tulang, cangkang, dll. Pengamatan menggunakan mikroskop stereo (Euromax Stereoblue) dengan pembesaran yang digunakan 20x dan 45x untuk melihat keberadaan mikroplastik. Sampel mikroplastik yang ditemukan kemudian diidentifikasi warna, bentuk, ukuran dan jumlahnya (Foekema *et al.*, 2013).

Data ukuran ikan yang biasa dikonsumsi oleh masyarakat sehari-hari dapat dilihat pada Tabel 2. Berikut beberapa alat yang digunakan untuk mengukur bobot tubuh dan panjang total pada sampel ikan (Gambar 4 dan Gambar 5).



Gambar 4. Timbangan digital untuk mengetahui bobot tubuh ikan



Gambar 5. Pengukuran panjang total menggunakan mistar

Persentase kontaminasi ikan yang dikonsumsi didapatkan dari jumlah total keseluruhan ikan pada tiap spesies dibagi dengan jumlah individu yang terkontaminasi mikroplastik (Rochman *et al.*, 2015), sehingga dapat diketahui tingkat persentase mikroplastik pada jenis ikan yang dikonsumsi oleh masyarakat.

$$\% \text{ Kontaminasi} = \frac{\text{Jumlah total keseluruhan ikan}}{\text{Jumlah individu yang terkontaminasi}} \times 100\%$$

Data identifikasi ikan yang biasa dikonsumsi oleh masyarakat sehari-hari dapat dilihat pada Tabel 3. Data identifikasi didapatkan dari halaman resmi fishbase (fishbase.de) Ver. 2021 dan didukung dengan beberapa referensi penelitian: Mamangkey, 2010; Hedianto, 2018; Fitriani *et al.*, 2011; Liana *et al.*, 2011).

2. Identifikasi Polimer Mikroplastik

Metode FT-IR digunakan untuk bisa mengetahui jenis polimer dari mikroplastik yang ditemukan pada sampel (Cole *et al.*, 2011; Barnes *et al.*, 2009; Thompson *et al.*, 2004). Analisis FT-IR diawali dengan persiapan sampel berupa pembersihan dan pengeringan sampel untuk menghindari keberadaan biofilm yang dapat mengganggu proses identifikasi (Basseling *et al.*, 2016). Sampel kemudian diletakkan pada cawan sampel dan dibaca dengan menggunakan FT-IR (Bruker Tensor II). Kemudian spektrum gelombang yang muncul dibaca dengan menggunakan *library* NICODOM.

Berdasarkan prosedur di atas, data primer dari tiap sampel uji dapat dilihat pada Tabel 1.

Table 1. Data yang diukur pada sampel

No.	Sampel / Jumlah Sampel	Parameter	Alat / Metode	Satuan
1.	Mikroplastik pada perairan danau / 9 titik lokasi x 5 kali ulangan = Total 45 sampel air	Konsentrasi	Mikroskop	partikel/liter
		Ukuran	Mikroskop	µm
		Bentuk	Mikroskop	-
		Warna	Mikroskop	-
		Jenis Polimer	FT-IR	-
2.	Ikan / Total dari 5 spesies, 71 ekor	Bobot Tubuh	Timbangan Digital	g
		Panjang Total	Mistar	cm

3.	Mikroplastik pada ikan / Total 5 spesies, 71 ekor	Konsentrasi	Mikroskop	partikel/gram
		Ukuran	Mikroskop	µm
		Bentuk	Mikroskop	-
		Warna	Mikroskop	-
		Jenis Polimer	FT-IR	-

3. Analisis Data

Mikroplastik yang ditemukan pada sampel air dan usus ikan, ditinjau dari tiga parameter, yaitu: konsentrasi mikroplastik, konsentrasi dan proporsi warna mikroplastik, konsentrasi dan proporsi bentuk mikroplastik. Untuk melihat perbedaan konsentrasi mikroplastik antar titik lokasi dan ikan, digunakan uji ANOVA *one-way* yang dilanjutkan dengan Tukey *post hoc test*. Warna dan bentuk mikroplastik yang ditemukan pada air dan usus ikan diuji dengan statistik non-parametrik *Bartlett test*.

IV. HASIL

A. Data Ukuran Ikan

Hasil pengukuran data ikan yang biasa dikonsumsi oleh masyarakat sehari-hari dapat dilihat pada Tabel 2. terdiri dari; rata-rata panjang total, rata-rata bobot tubuh dan persentase kontaminasi partikel mikroplastik.

Table 2. Data ukuran ikan yang biasa dikonsumsi oleh masyarakat sehari-hari

Spesies	Rata-rata Panjang Total (cm)	Rata-rata Bobot Tubuh (g)	Persentase Kontaminasi
<i>Glossogobius matanensis</i>	20.27 ± 1.42	82.61 ± 15.90	100%
<i>Cichlasoma trimaculatum</i>	13.34 ± 1.14	49.04 ± 10.65	93%
<i>Anabas testudineus</i>	14.70 ± 1.27	61.20 ± 21.67	91%
<i>Oreochromis niloticus</i>	18.87 ± 0.94	150.07 ± 25.31	100%
<i>Channa striata</i>	25.91 ± 1.84	165.63 ± 43.01	93%

Hasil identifikasi ikan yang biasa dikonsumsi oleh masyarakat sehari-hari dapat dilihat pada Tabel 3. Tiap jenis ikan masing-masing memiliki kebiasaan makan, jenis makanan dan wilayah hidup yang berbeda.

Tabel 3. Data identifikasi ikan yang biasa dikonsumsi oleh masyarakat sehari-hari

Spesies	Kebiasaan Makan	Makanan	Wilayah
<i>G. matanensis</i>	Karnivor (Mamangkey, 2010)	Ikan-ikan kecil	Demersal
<i>C. trimaculatum</i>	Karnivor (Hedianto, 2018)	Ikan kecil, zooplankton	Pelagis
<i>A. testudineus</i>	Karnivor (Fitriani <i>et al</i> , 2011)	Udang-udang, larva ikan	Demersal
<i>O. niloticus</i>	Herbivor (Mamangkey, 2010)	Fitoplankton	Pelagis
<i>C. striata</i>	Karnivor (Liana <i>et al</i> , 2011)	Ikan, krustasea	Demersal

Sumber: FishBase, Ver. 2021

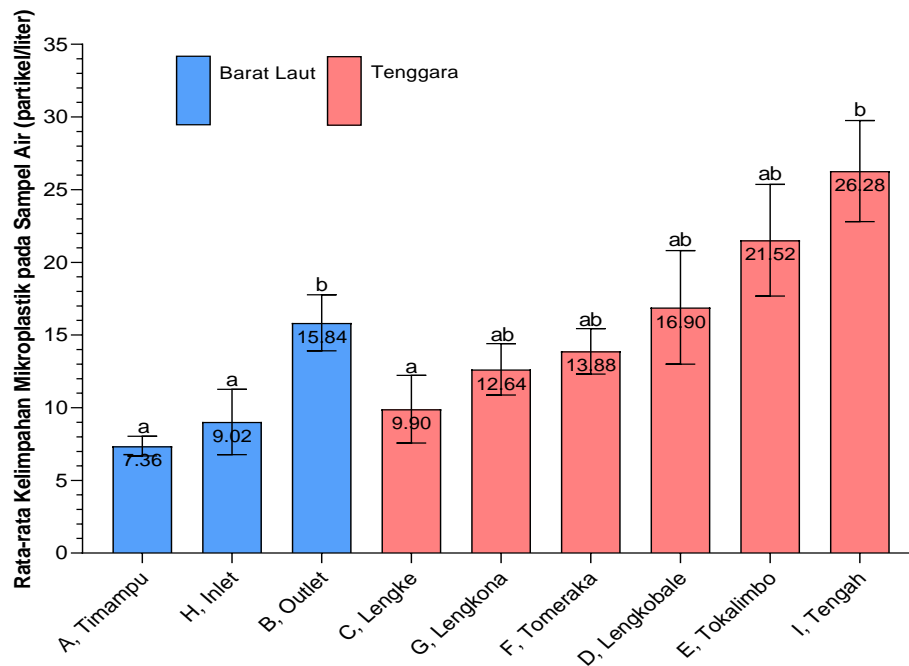
B. Mikroplastik pada Sampel Air

Hasil uji data mikroplastik pada sampel air dapat ditinjau dari; konsentrasi partikel mikroplastik, konsentrasi dan proporsi warna mikroplastik, konsentrasi dan proporsi bentuk mikroplastik.

1. Konsentrasi Mikroplastik pada Sampel Air

Data konsentrasi mikroplastik pada sampel air disajikan pada Gambar 4. Berdasarkan hasil analisis ragam menunjukkan bahwa konsentrasi mikroplastik pada

wilayah Barat Laut, titik A, Timampu dan H, Inlet menunjukkan perbedaan secara signifikan dengan titik B, Outlet, sedangkan pada wilayah Tenggara, titik I, Tengah menunjukkan perbedaan secara signifikan dengan titik C, Lengke ($p < 0,05$).



Gambar 4. Rata-rata Konsentrasi Mikroplastik pada Sampel Air (partikel/liter). Huruf notasi yang berbeda menunjukkan perbedaan yang signifikan secara statistik ($p < 0,05$)

2. Konsentrasi dan Proporsi Warna Mikroplastik pada Sampel Air

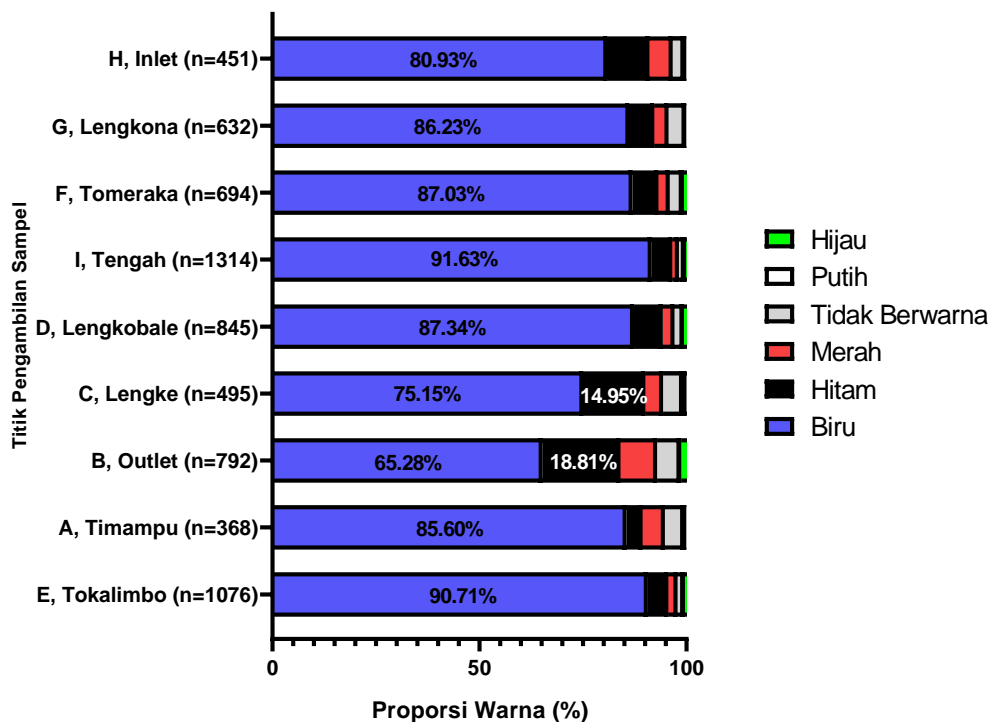
Data konsentrasi warna mikroplastik disajikan pada Tabel 4. Hasil pengamatan yang dilakukan pada sampel air perairan Danau Towuti ditemukan lima varian warna, yaitu: biru, hitam, merah, putih, hijau dan partikel mikroplastik yang tidak berwarna. Secara umum, biru merupakan warna yang mendominasi berdasarkan perhitungan statistik (31,5 – 120,4 partikel/liter). Selain warna biru, warna hitam, merah dan partikel mikroplastik tidak berwarna juga secara konsisten muncul pada semua titik lokasi penelitian. Partikel mikroplastik yang tidak berwarna untuk seluruh lokasi, tidak ada yang berbeda secara signifikan.

Tabel 4. Konsentrasi Warna Mikroplastik pada Sampel Air. Huruf notasi yang berbeda menunjukkan perbedaan yang signifikan secara statistik ($p < 0,05$)

Lokasi	Partikel Mikroplastik (partikel/liter)					Tidak Berwarna
	Biru	Hitam	Merah	Putih	Hijau	
A, Timampu	31,5 ± 1,09 ^a	1,4 ± 0,25 ^b	2,0 ± 0,32 ^b	0,1 ± 0,04 ^b	0,1 ± 0,04 ^b	1,7 ± 0,26 ^d
B, Outlet	51,7 ± 3,18 ^a	14,9 ± 1,20 ^b	7,0 ± 0,40 ^{bc}	0,1 ± 0,04 ^c	1,0 ± 0,16 ^{bc}	4,5 ± 0,78 ^d
C, Lengke	37,2 ± 4,50 ^a	7,4 ± 0,83 ^b	2,1 ± 0,24 ^b	0 ^b	0,4 ± 0,08 ^b	2,4 ± 0,29 ^d

D, Lengkobale	73,8 ± 8,20 ^a	5,9 ± 0,62 ^b	2,4 ± 0,26 ^b	0,1 ± 0,04 ^b	0,5 ± 0,14 ^b	1,8 ± 0,21 ^d
E, Tokalimbo	97,6 ± 7,61 ^a	5,3 ± 0,83 ^b	2,4 ± 0,20 ^b	0,2 ± 0,05 ^b	0,4 ± 0,18 ^b	1,7 ± 0,25 ^d
F, Tomeraka	60,4 ± 3,07 ^a	4,3 ± 0,30 ^b	1,9 ± 0,18 ^b	0,2 ± 0,05 ^b	0,4 ± 0,04 ^b	2,2 ± 0,37 ^d
G, Lengkona	54,5 ± 3,24 ^a	3,8 ± 0,49 ^b	2,2 ± 0,17 ^b	0 ^b	0,1 ± 0,04 ^b	2,6 ± 0,24 ^d
H, Inlet	36,5 ± 5,29 ^a	4,6 ± 0,29 ^b	2,5 ± 0,21 ^b	0 ^b	0,20 ± 0,09 ^b	1,3 ± 0,18 ^d
I, Tengah	120,4 ± 8,20 ^a	6,5 ± 0,62 ^b	2,1 ± 0,31 ^b	0,4 ± 0,11 ^b	0,1 ± 0,04 ^b	1,9 ± 0,31 ^d

Secara umum, data warna mikroplastik juga dapat ditinjau dari proposi warna pada Gambar 9. Secara keseluruhan, biru merupakan warna yang mendominasi (65,28% - 91,63%).



Gambar 5. Proporsi Warna Mikroplastik pada Sampel Air. (n) menunjukkan jumlah partikel mikroplastik

3. Konsentrasi dan Proporsi Bentuk Mikroplastik pada Sampel Air

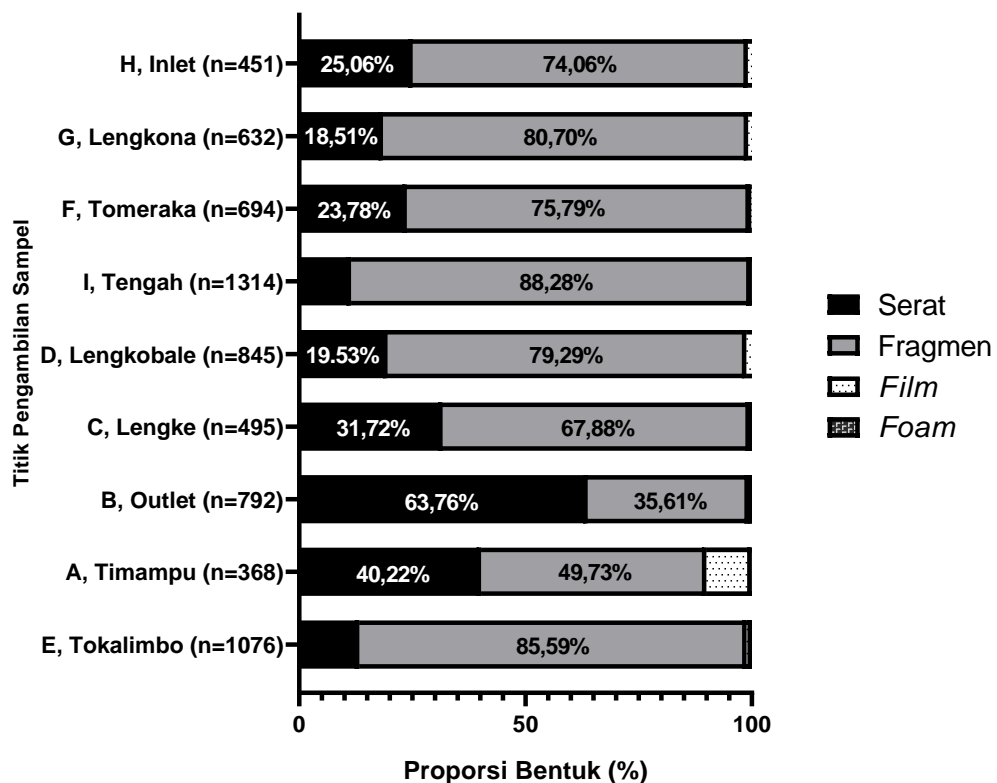
Data konsentrasi bentuk mikroplastik disajikan pada Tabel 5. Hasil pengamatan yang dilakukan pada sampel air perairan Danau Towuti ditemukan empat varian bentuk, yaitu: serat, fragmen, *film* dan *foam*. Dari berbagai bentuk yang ditemukan, fragmen merupakan bentuk yang mendominasi berdasarkan perhitungan statistik (18,3 – 116,0 partikel/liter). Titik B, Outlet memiliki proporsi bentuk *serat* yang lebih tinggi dibandingkan dengan titik lokasi yang lainnya (50,5 ± 4,12 partikel/liter).

Konsentrasi mikroplastik lebih besar dalam bentuk *film* ($3,7 \pm 0,66$ partikel/liter) ditemukan pada titik A.

Tabel 5. Konsentrasi Bentuk Mikroplastik pada Sampel Air. Huruf notasi yang berbeda menunjukkan perbedaan yang signifikan secara statistik ($p < 0,05$)

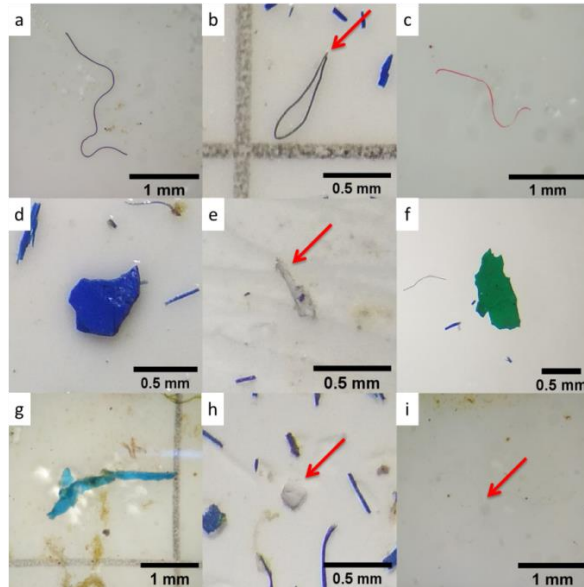
Lokasi	Bentuk Partikel Mikroplastik (partikel/liter)			
	Serat	Fragmen	Film	Foam
A, Timampu	$14,8 \pm 1,39^a$	$18,3 \pm 0,59^a$	$3,7 \pm 0,66^b$	0^b
B, Outlet	$50,5 \pm 4,12^a$	$28,2 \pm 1,85^b$	$0,5 \pm 0,14^c$	0^c
C, Lengke	$15,7 \pm 0,94^{ab}$	$33,6 \pm 4,36^a$	$0,2 \pm 0,09^b$	0^b
D, Lengkobale	$16,5 \pm 1,35^b$	$67,0 \pm 7,81^a$	$1,0 \pm 0,16^b$	0^b
E, Tokalimbo	$14,3 \pm 1,26^b$	$92,1 \pm 7,48^a$	$1,2 \pm 0,11^b$	0^b
F, Tomeraka	$16,5 \pm 1,43^a$	$52,6 \pm 2,94^b$	$0,2 \pm 0,05^c$	$0,1 \pm 0,04^c$
G, Lengkona	$11,7 \pm 1,05^b$	$51,0 \pm 3,04^a$	$0,5 \pm 0,00^b$	0^b
H, Inlet	$11,3 \pm 0,54^b$	$33,4 \pm 4,84^a$	$0,4 \pm 0,04^b$	0^b
I, Tengah	$15,1 \pm 1,15^b$	$116,0 \pm 8,56^a$	$0,1 \pm 0,04^b$	$0,2 \pm 0,05^b$

Secara umum, data bentuk mikroplastik juga dapat ditinjau dari proporsi bentuk pada Gambar 11. Secara keseluruhan, fragmen merupakan bentuk yang mendominasi (35,61% - 88,28%).



Gambar 6. Proporsi Bentuk Mikroplastik pada Sampel Air. (n) menunjukkan jumlah partikel mikroplastik

Beberapa representatif bentuk dan warna mikroplastik yang ditemukan pada sampel air, yaitu: (a) serat biru (b) serat hitam (c) serat merah (d) fragmen biru (e) fragmen putih (f) fragmen hijau (g) *film* biru (h) *foam* putih (i) serat tidak berwarna, dapat dilihat pada Gambar 7.



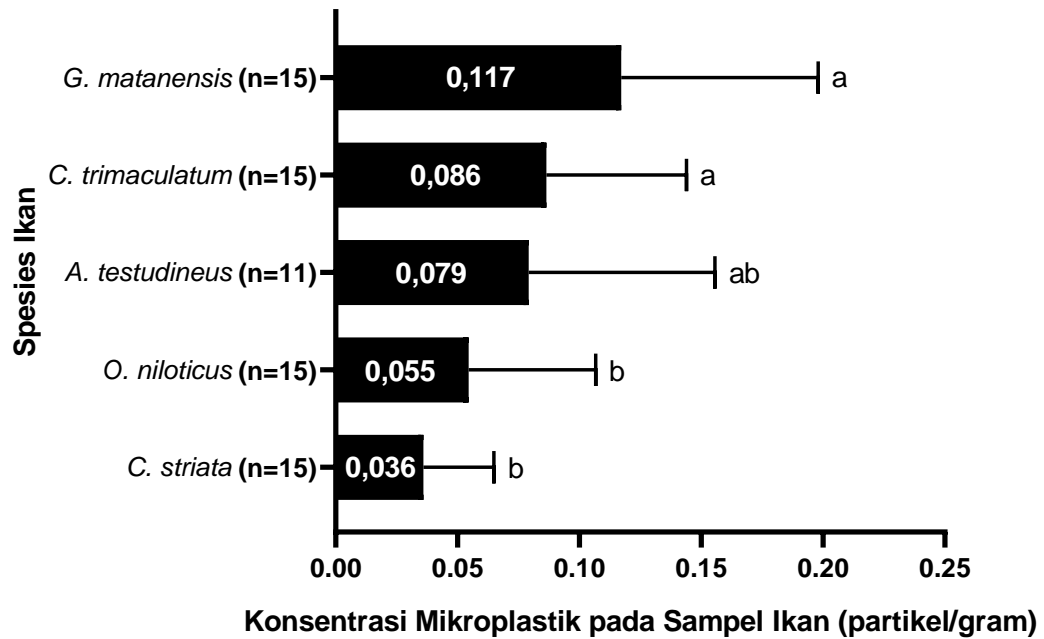
Gambar 7. Bentuk dan Warna Mikroplastik pada Sampel Air. Tanda arah panah menunjukkan partikel mikroplastik

C. Mikroplastik pada Usus Ikan

Hasil uji data mikroplastik pada usus ikan dapat ditinjau dari: konsentrasi mikroplastik, konsentrasi dan proporsi warna mikroplastik, konsentrasi dan proporsi bentuk mikroplastik.

1. Konsentrasi Mikroplastik pada Usus Ikan

Hasil uji data konsentrasi mikroplastik pada sampel ikan disajikan pada Gambar 13. Berdasarkan hasil analisis ragam menunjukkan bahwa konsentrasi mikroplastik pada sampel ikan butini (*G. matanensis*) berbeda secara signifikan dengan ikan nila (*O. niloticus*) dan ikan gabus (*C. striata*) ($p < 0,05$). Ikan butini (*G. matanensis*) merupakan jenis ikan yang paling banyak mengandung mikroplastik dibandingkan dengan empat jenis ikan yang lainnya.



Gambar 8. Rata-rata Konsentrasi Mikroplastik pada Usus Ikan (partikel/gram). Huruf notasi yang berbeda menunjukkan perbedaan yang signifikan secara statistik ($p < 0,05$). (n) menunjukkan jumlah sampel ikan

2. Konsentrasi dan Proporsi Warna Mikroplastik pada Usus Ikan

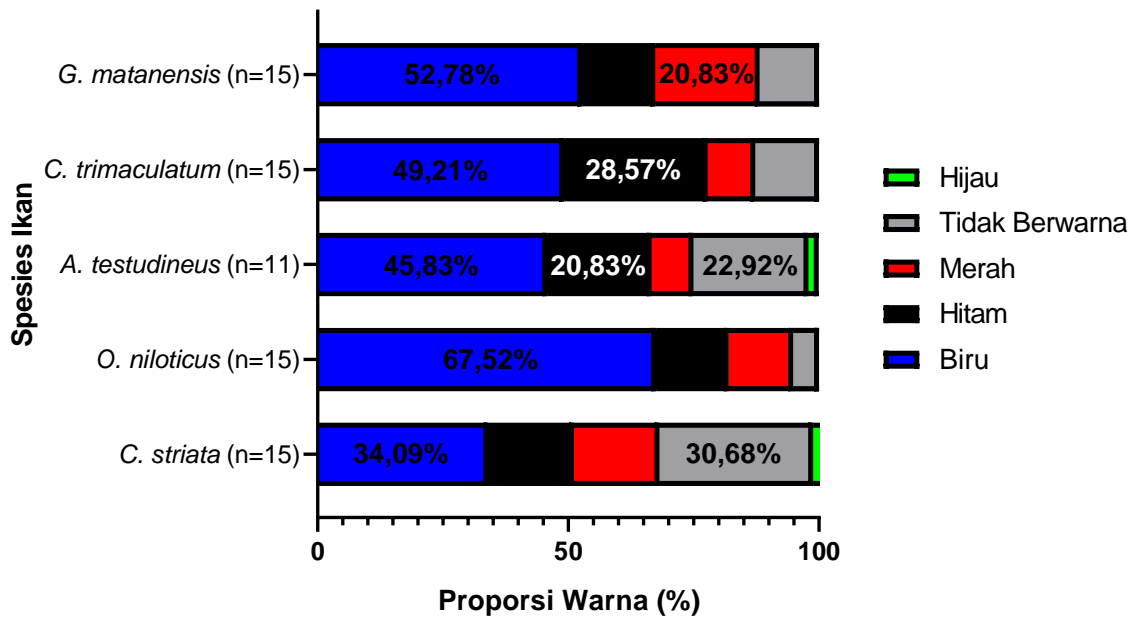
Data konsentrasi warna mikroplastik disajikan pada Tabel 6. Hasil pengamatan yang dilakukan pada sampel ikan ditemukan empat varian warna, yaitu: biru, hitam, merah, hijau dan beberapa partikel mikroplastik tidak berwarna. Dari seluruh warna yang ditemukan, biru merupakan warna yang mendominasi berdasarkan perhitungan statistik (0,012 – 0,061 partikel/gram). Partikel mikroplastik dengan warna merah, hitam dan partikel mikroplastik tidak berwarna konsisten muncul pada tiap spesies ikan.

Tabel 6. Konsentrasi Warna Mikroplastik pada Usus Ikan. Huruf notasi yang berbeda menunjukkan perbedaan yang signifikan secara statistik ($p < 0,05$). (n) menunjukkan jumlah sampel ikan

Spesies	Partikel Mikroplastik (partikel/gram)				
	Biru	Hitam	Merah	Hijau	Tidak Berwarna
<i>G. matanensis</i> (n=15)	0,061 ± 0,045 ^a	0,016 ± 0,016 ^b	0,026 ± 0,032 ^b	0 ^b	0,015 ± 0,026 ^d
<i>C. trimaculatum</i> (n=15)	0,042 ± 0,031 ^a	0,025 ± 0,033 ^a b	0,009 ± 0,015 ^b	0 ^c	0,010 ± 0,013 ^d
<i>A. testudineus</i> (n=11)	0,041 ± 0,045 ^a	0,014 ± 0,020 ^a b	0,006 ± 0,011 ^b	0,002 ± 0,005 ^b	0,017 ± 0,022 ^d
<i>O. niloticus</i> (n=15)	0,035 ±	0,008 ±	0,007 ±	0 ^b	0,003 ± 0,005 ^d

	0,042 ^a	0,008 ^b	0,008 ^b		
	0,012	0,007	0,006	0,0004	0,011 ± 0,010 ^d
<i>C. striata</i> (n=15)	± 0,010 ^a	± 0,009 ^a _b	± 0,010 ^a _b	± 0,001 ^b	

Secara umum, data warna mikroplastik pada ikan juga dapat ditinjau dari proposi warna pada Gambar 9. Secara keseluruhan, partikel mikroplastik berwarna biru merupakan warna yang mendominasi (34,09% - 67,52%).



Gambar 9. Proporsi Warna Mikroplastik pada Usus Ikan. (n) menunjukkan jumlah sampel ikan

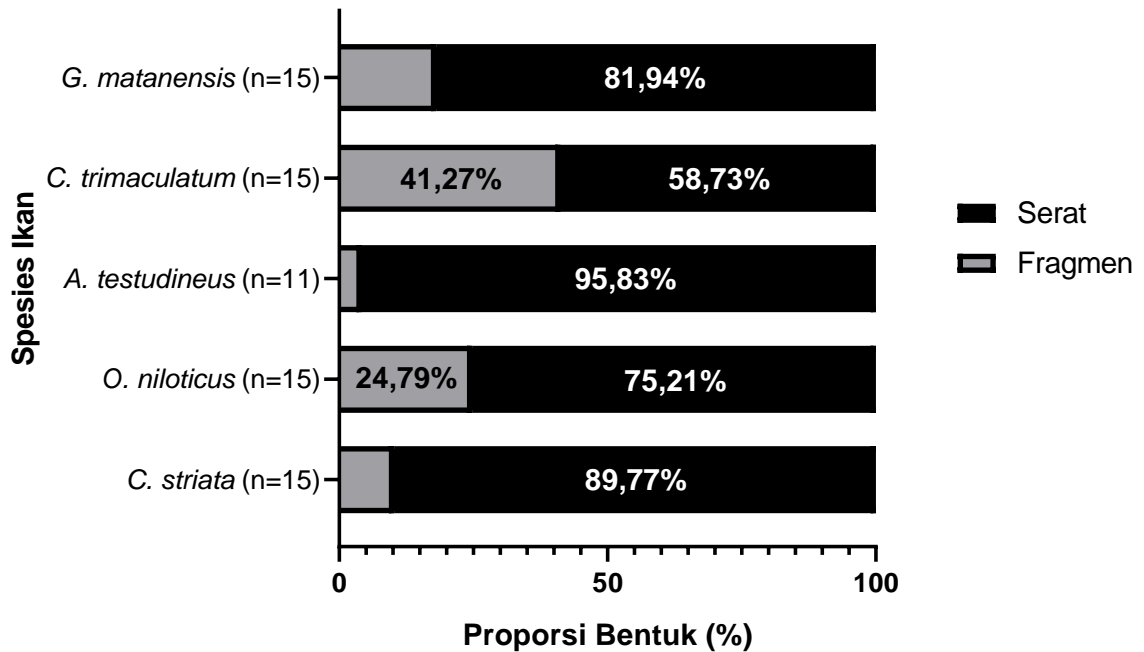
3. Konsentrasi dan Proporsi Bentuk Mikroplastik pada Usus Ikan

Data konsentrasi bentuk mikroplastik pada usus ikan disajikan pada Tabel 7. Hasil pengamatan yang dilakukan pada sampel ditemukan dua varian bentuk, yaitu: serat dan fragmen. Dari dua bentuk yang ditemukan, serat merupakan bentuk yang mendominasi berdasarkan perhitungan statistik (0,033 - 0,097 partikel/gram).

Tabel 7. Konsentrasi Bentuk Mikroplastik pada Usus Ikan. Huruf notasi yang berbeda menunjukkan perbedaan yang signifikan secara statistik ($p < 0,05$). (n) menunjukkan jumlah sampel ikan

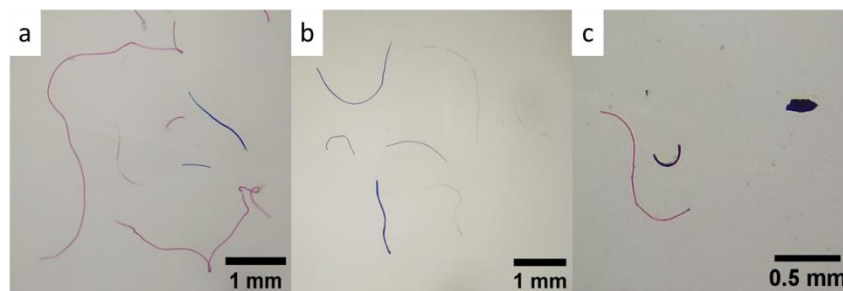
Spesies	Bentuk Partikel Mikroplastik (partikel/gram)	
	Serat	Fragmen
<i>G. matanensis</i> (n=15)	0,097 ± 0,081 ^a	0,020 ± 0,014 ^b
<i>C. trimaculatum</i> (n=15)	0,053 ± 0,042 ^a	0,034 ± 0,042 ^a
<i>A. testudineus</i> (n=11)	0,077 ± 0,077 ^a	0,003 ± 0,006 ^b
<i>O. niloticus</i> (n=15)	0,038 ± 0,020 ^a	0,014 ± 0,036 ^b
<i>C. striata</i> (n=15)	0,033 ± 0,023 ^a	0,004 ± 0,005 ^b

Secara umum, data bentuk mikroplastik pada usus ikan juga dapat ditinjau dari proporsi bentuk pada Gambar 18. Secara keseluruhan, partikel mikroplastik dengan bentuk serat mendominasi (75,21% - 95,83%).



Gambar 10. Proporsi Bentuk Mikroplastik pada Usus Ikan. (n) menunjukkan jumlah sampel ikan

Beberapa bentuk dan warna mikroplastik yang ditemukan pada usus ikan, didapatkan dua bentuk dan beberapa warna mikroplastik, yaitu: (a) serat merah, (b) serat biru dan (c) fragmen biru, dapat dilihat pada Gambar 11:



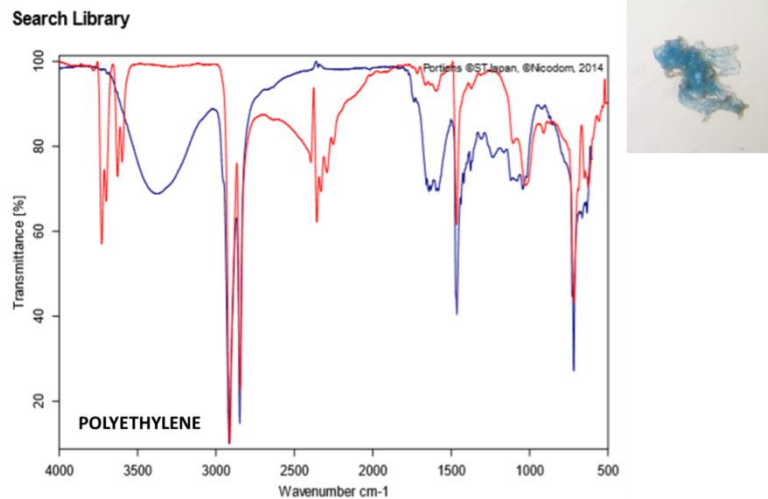
Gambar 11. Bentuk dan Warna Mikroplastik pada Usus Ikan

D. Jenis Polimer Hasil *Fourier Transform Infra Red* (FT-IR)

Mikroplastik yang ditemukan pada sampel dianalisis FT-IR Bruker Tensor II dan ditemukan empat jenis polimer yang berbeda dari lima sampel yang berhasil dianalisis, yaitu:

1. Polietilen

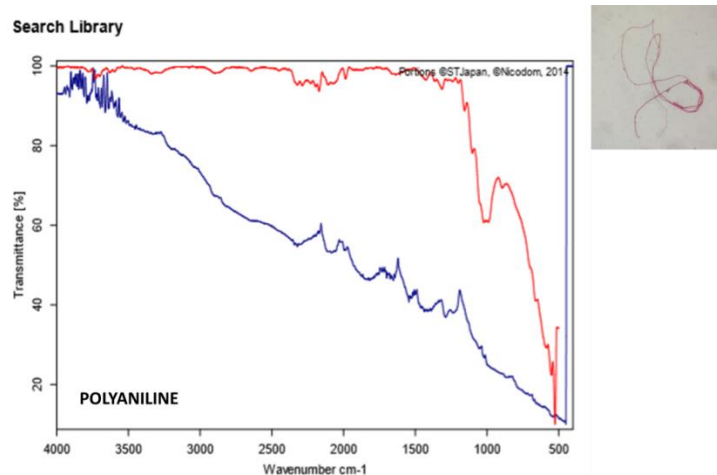
Jenis polimer polietilen (PE) dengan molekul C_2H_4 secara umum bersumber dari kantong plastik yang digunakan dalam kehidupan sehari-hari dengan berbagai peruntukan, selanjutnya dapat juga berasal dari botol-botol plastik, termasuk botol air mineral yang dikonsumsi oleh masyarakat sekitar, kemudian lebih dari 90% juga dapat berasal dari produk kosmetik (Costa *et al.*, 2017).



Gambar 12. Spektrum Polimer Polietilen

2. Polianilin

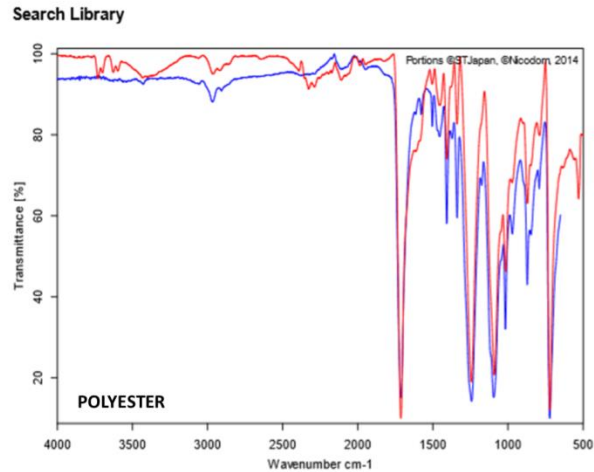
Polimer polianilin (PANI) dihasilkan dari proses polimerisasi monomer anilin ($C_6H_5NH_2$), kebanyakan ditemukan sebagai bahan penyempurna suatu produk yang tiap produk tersebut ada berbahan dasar dari *film*, polietilen, dll untuk menghasilkan produk dengan kualitas tinggi, seperti; baterai, bahan elektronik dan bahan optoelektronik yang lainnya (Suryaningsih dkk., 1998; Diah dkk., 2008; Rosana dan Putri; 2012; Vali et al., 2018).



Gambar 13. Spektrum Polimer Polianilin

3. Poliester

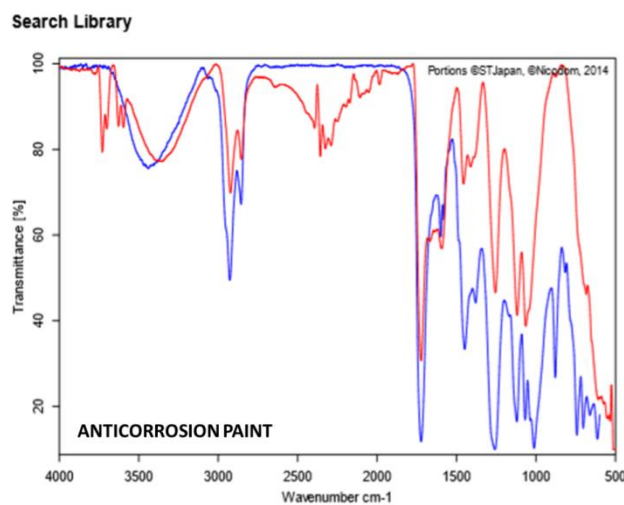
Secara umum, jenis polimer poliester (PET) di perairan tersedia dengan beberapa bentuk, seperti: serat, butiran dan *film*, diproduksi dengan tingkat ketahanan tinggi utamanya untuk oksigen dan karbondioksida, sehingga untuk jenis polimer ini digunakan sebagai bahan baku untuk kemasan makanan dan minuman (Kusch, 2017).



Gambar 14. Spektrum Polimer Poliester

4. Cat Anti Korosi/Anti Fouling

Jenis polimer cat anti korosi/anti fouling merupakan salah satu komposisi dasar dari bahan cat yang sering digunakan masyarakat dalam upaya memelihara dan menjaga benda dari pengotoran dan korosi. Hal tersebut dilakukan agar benda yang dilapisi dengan cat yang berbahan dasar dari polimer cat anti korosi/anti fouling bisa dapat bertahan dengan lama (Samina *et al.*, 2011; Boucher and Friot, 2017; Failasuf, 2019).



Gambar 15. Spektrum Cat Anti Korosi/Anti Fouling

V. PEMBAHASAN

A. Mikroplastik pada Sampel Air

1. Konsentrasi Mikroplastik pada Sampel Air

Titik lokasi I, Tengah ($26,28 \pm 7,781$) yang berada di tengah danau adalah titik lokasi tidak terdapat penduduk, namun nilai konsentrasi mikroplastik adalah yang tertinggi diantara semua titik lokasi yang ada. Titik lokasi A, Timampu ($7,36 \pm 1,513$) adalah titik lokasi yang berdekatan dengan penduduk, namun nilai konsentrasi mikroplastik adalah yang terendah diantara semua titik lokasi yang ada.

Pada penelitian ini Danau Towuti dapat dikategorikan berdasarkan pembagian wilayah, yaitu: wilayah tenggara dan wilayah barat laut. Wilayah tenggara dapat dikatakan nilai konsentrasi pada tiap titik tergolong tinggi. Hal tersebut dikarenakan banyaknya terdapat tumpukan sampah plastik yang dominan terjadi pada wilayah tenggara yang diduga terseret dan terbawa oleh pergerakan air ke beberapa titik di wilayah tenggara. Pada bagian wilayah barat laut, cukup terjaga dari adanya tumpukan sampah plastik. Namun berdasarkan data yang didapatkan bahwa konsentrasi mikroplastik cukup tinggi pada titik B, outlet yang berada pada wilayah barat laut. Hal ini diduga karena pergerakan air yang mengarah pada saluran pengeluaran (*outlet*) menyebabkan partikel mikroplastik yang berada di perairan berkumpul pada titik B, outlet.

Selain dari hal tersebut, penyebaran mikroplastik di Danau Towuti dapat dilihat dari konsentrasi mikroplastik yang terdapat pada titik E, Tokalimbo dan titik I, Tengah. Dua titik yang mempunyai nilai konsentrasi mikroplastik yang tertinggi dibandingkan dengan titik lokasi yang lainnya. Hal ini diduga titik E, Tokalimbo dan I, Tengah adalah titik lokasi yang menjadi pusat penyebaran mikroplastik di perairan Danau Towuti. Diduga partikel mikroplastik berawal dari titik E, Tokalimbo yang berdekatan dengan penduduk tersebar menuju ke titik I, Tengah kemudian sebelum menyebar secara acak ke berbagai titik di perairan Danau Towuti, terlebih dahulu tersebar pada titik lokasi yang berdekatan dengan titik E, Tokalimbo dan I, Tengah (wilayah tenggara). Titik lokasi E, Tokalimbo merupakan titik lokasi dengan tingkat aktivitas masyarakat yang cukup tinggi, mulai dari datangnya berbagai imigran, aktivitas pertanian/perkebunan, hingga sampai padatnya aktivitas jasa pengiriman barang.

Di sekitar Danau Towuti tidak ada fasilitas pengelolaan sampah plastik padat. Beberapa warga sekitar danau membuang sampah plastik ke saluran irigasi, sungai hingga ke perairan danau. Limbah-limbah plastik tersebut, kemudian mengalami

fotodegradasi menjadi puing-puing plastik yang kecil yang dapat meningkatkan konsentrasi mikroplastik di perairan (Cole *et al.*, 2011).

Beberapa penelitian melaporkan bahwa terjadinya konsentrasi mikroplastik pada ekosistem danau bervariasi: Danau Wuliangshuai (China) sebesar 3,12-11,25 partikel/liter (Mao *et al.*, 2020), Danau Victoria (Afrika) sebesar 0,02–2,19 partikel/m³ (Egessaa *et al.*, 2020) dan di Danau Ontario (Kanada) sebesar 0,9-15,4 partikel/liter (Grbic *et al.*, 2020). Beberapa penelitian juga melaporkan bahwa konsentrasi mikroplastik rendah di perairan dikarenakan tingginya tingkat kesadaran masyarakat untuk melakukan upaya-upaya pelestarian lingkungan seperti pengadaan fasilitas kebersihan, pembuangan sampah dan pengolahan limbah yang dijadikan sebagai pembangkit listrik. Hal tersebut menjadi tindakan solutif untuk mengendalikan tingginya konsentrasi limbah plastik di perairan (Eckert *et al.*, 2018; Yin *et al.*, 2019). Sebaliknya tingginya konsentrasi mikroplastik di suatu perairan dikarenakan tingkat kesadaran masyarakat yang masih rendah karena limbah plastik dibuang langsung ke perairan, juga minimnya fasilitas pengolahan limbah sampah plastik, sehingga menyebabkan konsentrasi mikroplastik yang tinggi di suatu perairan (Wang *et al.*, 2018; Jiang *et al.*, 2019; Yin *et al.*, 2019).

Selain itu, aktivitas perikanan tangkap dengan alat tangkap yang berbahan dasar dari plastik, kegiatan pertanian dan industri-industri yang limbah buangnya memiliki keterkaitan dengan jalur perairan ke danau juga dapat menjadi penyebab yang meningkatkan konsentrasi mikroplastik di perairan danau (Basseling *et al.*, 2016; Yuan *et al.*, 2019). Beberapa penelitian, konsentrasi mikroplastik di perairan dipengaruhi oleh limbah domestik, kegiatan perikanan, kegiatan pertanian dan kegiatan industri (Li *et al.*, 2013; Yuan *et al.*, 2019; Yin *et al.*, 2019; Ding *et al.*, 2019). Kemudian beberapa penelitian, menyatakan bahwa partikel-partikel mikroplastik yang berada di perairan, sangat sensitif dipengaruhi oleh pergerakan air, yang menyebabkan partikel-partikel mikroplastik dengan cepat berpindah dari satu titik lokasi ke titik lokasi yang lainnya (Chubarenko *et al.*, 2018; Yuan *et al.*, 2019; Yin *et al.*, 2019).

2. Konsentrasi dan Proporsi Warna Mikroplastik pada Sampel Air

Variasi warna yang ditemukan pada partikel mikroplastik beragam, sedangkan partikel mikroplastik berwarna biru adalah warna yang paling mendominasi dari warna yang lainnya. Tingginya nilai konsentrasi dan persentase partikel mikroplastik berwarna biru diduga karena tingginya aktivitas perikanan tangkap dan aktivitas transportasi di perairan danau. Sebagian besar masyarakat disekitar Danau Towuti berprofesi sebagai nelayan, yang artinya tingkat aktivitas perikanan tangkap yang cukup tinggi dengan berbagai alat tangkap yang digunakan para nelayan. Selain itu, partikel mikroplastik

dengan warna biru pada penelitian ini kemungkinan besar diduga berasal dari kendaraan transportasi di perairan danau berupa kapal yang didominasi menggunakan cat warna biru, baik kendaraan yang digunakan para nelayan untuk melakukan aktivitas penangkapan ikan maupun kendaraan yang digunakan untuk mengangkut beberapa kebutuhan masyarakat setiap harinya berupa, sandang pangan dan papan dari satu lokasi ke lokasi yang lainnya.

Beberapa penelitian mengemukakan bahwa mikroplastik dengan warna biru kemungkinan besar dapat bersumber dari penggunaan alat tangkap yang digunakan pada aktivitas perikanan tangkap (Basseling *et al.*, 2016; Yuan *et al.*, 2019; Wu *et al.*, 2020). Pada penelitian Wu *et al.* (2020) mengemukakan bahwa partikel mikroplastik berwarna biru mendominasi di Kepulauan Ma'an disebabkan oleh alat tangkap yang digunakan nelayan untuk aktivitas perikanan tangkap.

3. Konsentrasi dan Proporsi Bentuk Mikroplastik pada Sampel Air

Kondisi di perairan Danau Towuti pada beberapa titik ditemukan tempat berkumpulnya sampah plastik hasil dari aktivitas masyarakat sehari-hari, seperti; plastik kemasan makanan dan minuman, serta limbah domestik lainnya. Tersebar nya limbah plastik yang tersebar ke beberapa titik, diduga karena keadaan pergerakan air di perairan danau. Kemudian, terdapat aktivitas kapal sebagai alat transportasi di perairan danau yang tiap sisi luar kapal dilapisi dengan cat. Tiap sisi luar kapal setiap saat berhadapan dengan badan air di perairan danau dan sangat berpotensi terjadinya hantaman pergerakan air pada sisi kapal yang dilapisi cat. Adanya aktivitas kapal yang sisi luarnya dilapisi cat mendapat hantaman dari pergerakan air dan berkumpulnya limbah plastik pada beberapa titik, diduga menjadi penyebab partikel mikroplastik dengan bentuk fragmen mendominasi di perairan danau.

Yin *et al.* (2019) dan Ding *et al.* (2019) dalam penelitiannya mengemukakan bahwa ada beberapa hal yang memungkinkan dapat menyebabkan adanya partikel mikroplastik berbentuk fragmen yang mendominasi di perairan, salah satu diantaranya adalah adanya aktivitas transportasi di perairan. Tiap sisi luar alat transportasi yang dilapisi cat, setiap saat berhadapan dengan badan air dan mendapat hantaman dari pergerakan air di perairan, berpotensi menghadirkan partikel mikroplastik berbentuk fragmen. Kemudian dengan kondisi tertentu, terjadinya pergerakan air, reaksi fotodegradasi dan degradasi karena suhu tinggi turut menjadi penyebab terjadinya konsentrasi partikel mikroplastik dengan bentuk fragmen di perairan (Cole *et al.*, 2011; Frias *et al.*, 2019).

B. Mikroplastik pada Usus Ikan

1. Konsentrasi Mikroplastik pada Usus Ikan

Konsentrasi mikroplastik bervariasi pada usus ikan di beberapa spesies. Konsentrasi mikroplastik pada ikan butini (*G. matanensis*) berbeda nyata dengan konsentrasi mikroplastik pada ikan nila (*O. niloticus*) dan ikan gabus (*C. striata*) namun tidak berbeda nyata dengan ikan louhan (*C. trimaculatum*) dan ikan betok (*A. testudineus*). Masing-masing nilai konsentrasi yaitu: ikan butini ($0,117 \pm 0,081$), ikan louhan ($0,086 \pm 0,058$), ikan betok ($0,079 \pm 0,076$), ikan nila ($0,055 \pm 0,052$) dan ikan gabus ($0,036 \pm 0,029$). Pada penelitian ini, nilai konsentrasi mikroplastik pada sampel ikan, lebih tinggi daripada penelitian Sun *et al.* (2021) 0,015 partikel/gram pada ikan nila (*Oreochromis niloticus*) dan pada ikan mas (*Cirrhinus molitorella*) dengan konsentrasi 0,031 partikel/gram.

Ikan butini memiliki nilai konsentrasi mikroplastik pada usus sebesar (0,117 partikel/gram) dengan persentase kontaminasi 100% diduga karena peran ikan butini sebagai puncak level trofik yang memiliki kebiasaan makan dengan memangsa ikan-ikan kecil dan ikan yang lainnya, sehingga tergolong ikan karnivor (Mamangkey, 2010). Wilayah hidup ikan ini tergolong ikan demersal yang cenderung di dasar perairan. Keberadaan ikan butini di Danau Towuti memiliki peran penting, selain menjadi salah satu ikan konsumsi dengan sumber protein hewani, juga menjadi nilai ekonomis penting bagi masyarakat.

Kemudian setelah ikan butini, terdapat ikan louhan dengan nilai konsentrasi mikroplastik tertinggi ke-dua (0,086 partikel/gram). Ikan louhan merupakan ikan pelagis yang kebiasaan hidupnya senang berada di kolom dan di permukaan air, sedangkan untuk kebiasaan makannya ikan ini tergolong ikan omnivor. Namun ikan louhan ini omnivor cenderung ke karnivor, ditandai dengan adanya sisa tulang belulang dari usus ikan louhan. Tulang belulang tersebut diduga hasil dari memangsa ikan-ikan kecil yang berada di perairan. Ikan louhan yang berada di perairan Danau Towuti diduga karena aktivitas migrasi ikan dari Danau Matano (Hedianto, 2018).

Kemudian terdapat ikan betok dengan nilai konsentrasi mikroplastik tertinggi ketiga (0,079 partikel/gram). Keberadaan ikan betok di Danau Towuti tidak terlalu diminati namun tetap menjadi ikan konsumsi bagi masyarakat. Keberadaannya yang tidak menjadi pilihan utama, namun sebahagian kecil masyarakat tetap ada yang mengonsumsi.

Ikan betok merupakan ikan demersal yang keseringan berada di dasar perairan dengan kebiasaan makan tergolong ikan omnivor namun condong karnivor karena banyaknya ditemukan jenis hewan diususnya dibanding jenis tumbuhan. Salah satu

kemampuan ikan betok adalah dapat bertahan hidup pada perairan yang kondisi oksigennya rendah, hal tersebut karena ikan betok mampu secara langsung mengambil oksigen di permukaan dengan bantuan alat pernafasan tambahan yang disebut labirin (Fitriani *et al.*, 2011). Kondisi ikan betok dengan nilai konsentrasi tertinggi ke-tiga diduga karena tingkat selektifitas yang cukup tinggi dalam menentukan makanan dan kebiasaan hidupnya yang keseringan di dasar perairan.

Nilai konsentrasi pada ikan betok, kemudian disusul ikan nila (0,055 partikel/gram). Ikan Nila merupakan salah satu ikan introduksi di Danau Towuti, namun dengan tingkat reproduksinya yang tinggi sehingga populasinya terbilang cukup banyak, bahkan mulai mengancam keberadaan spesies yang lainnya di perairan Danau Towuti. Ikan nila tergolong ikan pelagis yang kebiasaan hidupnya berada di kolom atau di permukaan perairan, sedangkan untuk kebiasaan makan ikan ini mengonsumsi jenis fitoplankton, zooplankton, dll sehingga ikan ini tergolong ikan omnivor yang cenderung herbivor ditandai dengan usus ikan yang panjang dan terdapat serasah dari usus (Mamangkey, 2010). Kebiasaan makan ikan nila yang tergolong omnivor cenderung herbivor, juga memiliki peluang untuk mengonsumsi makanan yang tersedia di perairan tanpa kandungan mikroplastik. Namun pada penelitian ini, tingkat persentase kontaminasi pada ikan nila dengan nilai 100%.

Selanjutnya setelah ikan nila dengan nilai konsentrasi tertinggi ke-empat, terdapat ikan gabus dengan nilai konsentrasi mikroplastik tertinggi ke-lima (0,036 partikel/gram). Ikan gabus tergolong salah satu jenis ikan demersal yang kebiasaan hidupnya di dasar perairan. Apabila musim kemarau berkepanjangan ikan gabus dapat bertahan di dalam tanah yang lembab dengan mengandalkan kemampuan alat pernafasan tambahannya (labirin). Kebiasaan makan ikan gabus, tergolong ikan karnivor, karena memangsa beberapa jenis ikan, krustasea, bahkan dapat memangsa kawanannya sendiri dengan sifat kanibalismenya (Liana *et al.*, 2020). Sumber mikroplastik pada ikan gabus, selain dari perairan secara langsung diduga didapatkan dari hasil mangsa terhadap ikan-ikan yang lainnya atau ikan sejenis dengan seukurannya.

Seluruh sampel ikan yang terdiri dari lima spesies tersebut adalah ikan yang dikonsumsi oleh masyarakat sekitar, sehingga ikan dengan spesies yang sama yang berpotensi tinggi mengandung mikroplastik, kemungkinan besar akan dapat mengancam kesehatan manusia sebagai konsumen (Wang *et al.*, 2018; Wu *et al.*, 2020).

2. Konsentrasi dan Proporsi Warna Mikroplastik pada Usus Ikan

Konsentrasi proporsi warna mikroplastik pada usus ikan didominasi oleh warna biru. Diduga karena ketersediaan partikel mikroplastik berwarna biru di perairan,

sehingga warna biru juga mendominasi pada usus ikan. Aktivitas perikanan tangkap dan aktivitas transportasi berupa kapal yang dilapisi cat berwarna biru di perairan diduga juga menjadi penyebab terhadap tingginya konsentrasi proporsi partikel mikroplastik berwarna biru pada usus ikan.

Beberapa penelitian juga menyatakan bahwa secara umum mikroplastik dengan warna biru adalah yang paling mendominasi dan paling umum ditemukan pada ikan (Possatto *et al.*, 2011; Lusher *et al.*, 2016 Vendel *et al.*, 2017; Ferreira *et al.*, 2018; Zhang *et al.*, 2019; Wu *et al.*, 2020). Partikel mikroplastik berwarna biru dapat ditemukan pada komposisi cat, komposisi kemasan yang sering digunakan industri pengemasan dan secara umum bersumber dari kegiatan antropogenik (Lewis, 2004; Cauwenberghe *et al.*, 2013; Dantas *et al.*, 2020). Kemudian Dantas *et al.* (2020) dalam penelitiannya menyatakan bahwa ketersediaan mikroplastik berwarna biru yang mendominasi kemungkinan karena ketersediaannya juga di perairan yang melimpah dibandingkan dengan partikel mikroplastik dengan warna yang lainnya.

3. Konsentrasi dan Proporsi Bentuk Mikroplastik pada Usus Ikan

Konsentrasi dan proporsi bentuk mikroplastik pada usus ikan yang ditemukan didominasi oleh bentuk serat dan diikuti oleh bentuk fragmen dengan seluruh warna yang ditemukan. Pada penelitian ini, konsentrasi mikroplastik dengan bentuk serat pada usus ikan lebih tinggi dibandingkan dengan mikroplastik bentuk fragmen. Padahal data konsentrasi mikroplastik pada perairan danau, partikel mikroplastik bentuk fragmen lebih mendominasi dibandingkan dengan mikroplastik berbentuk serat. Hal tersebut diperkirakan bahwa keberadaan mikroplastik bentuk serat pada perairan sangat mengecoh ikan dengan bentuknya yang menyerupai bentuk mangsa mereka. Penggunaan alat tangkap turut diduga menjadi penyebab tingginya konsentrasi mikroplastik berbentuk serat pada usus ikan.

Pada penelitian Dantas *et al.* (2020) partikel mikroplastik dengan bentuk serat adalah yang paling banyak ditemukan pada ikan. Partikel mikroplastik dengan bentuk serat yang sangat mengecoh bagi ikan, karena bentuk serat yang sangat menyerupai dengan makanannya yang akan mereka mangsa (Masura *et al.*, 2015), sedangkan dugaan sumber mikroplastik dengan bentuk serat dapat berasal dari kegiatan para nelayan menangkap ikan dengan peralatan tangkap yang digunakan seperti, jaring pukat, tali, dll (Wu *et al.*, 2020).

C. Jenis Polimer Hasil *Fourier Transform Infra Red (FT-IR)*

Beberapa aktivitas di sekitar dan di perairan Danau Towuti diduga menjadi penyebab hadirnya mikroplastik di perairan. Pada penelitian ini ditemukan beberapa jenis polimer pada mikroplastik hasil dari FT-IR, yaitu:

1. Polietilen

Di perairan Danau Towuti terdapat banyak sampah plastik yang bersumber dari aktivitas harian masyarakat, juga terdapat aktivitas perikanan tangkap yang tinggi. Diduga pecahan-pecahan sampah plastik dan serat dari alat perikanan tangkap terdegradasi menjadi puing-puing yang berukuran lebih kecil, sehingga jenis polimer polietilen ini diduga berasal dari sumber tersebut.

Menurut Costa *et al.*, (2017) jenis polimer polietilen (PE) dengan molekul C_2H_4 secara umum bersumber dari kantong plastik yang digunakan dalam kehidupan sehari-hari dengan berbagai peruntukan. Selanjutnya dapat juga berasal dari botol-botol plastik, termasuk botol air mineral yang dikonsumsi oleh masyarakat sekitar yang setelah pemakaiannya menjadi limbah dan mengalir melalui saluran irigasi menuju perairan danau. Menurut Yuan *et al.* (2019) dalam penelitiannya menyatakan bahwa untuk jenis polimer PE kemungkinan besar bersumber dari kegiatan perikanan dengan menggunakan alat tangkap berupa jaring pukat, dll.

2. Polianilin

Sampah berbahan dasar plastik yang ditemukan di Danau Towuti bervariasi dengan berbagai jenis. Sampah tersebut kemungkinan besar berasal dari aktivitas harian masyarakat sekitar, juga dapat bersumber dari masyarakat perkotaan yang mengalir melalui saluran drainase yang terhubung dengan danau.

Polimer polianilin (PANI) kebanyakan ditemukan sebagai bahan penyempurna suatu produk yang tiap produk tersebut ada berbahan dasar dari *film* dan polietilen untuk menghasilkan produk dengan kualitas tinggi, seperti; baterai, bahan elektronik dan bahan optoelektronik yang lainnya (Suryaningsih dkk., 1998; Diah dkk., 2008; Vali *et al.*, 2018).

3. Poliester

Kondisi perairan di Danau Towuti pada beberapa titik lokasi terdapat banyak tumpukan sampah plastik, baik itu dalam bentuk kemasan makanan, minuman hingga jenis kain pakaian. Diduga dari tumpukan sampah tersebut turut berkontribusi menghadirkan jenis polimer poliester di perairan Danau Towuti.

Menurut Kusch (2017) secara umum, jenis polimer poliester (PET) digunakan sebagai bahan baku untuk kemasan makanan dan minuman yang diproduksi dengan tingkat ketahanan tinggi, utamanya yang mengandung oksigen dan karbondioksida. Partikel mikroplastik jenis polimer poliester di perairan tersedia dengan beberapa bentuk, seperti: serat, butiran dan *film*.

4. Cat Anti Korosi/Anti Fouling

Situasi kondisi di Danau Towuti terbilang padat akan transportasi di perairan danau dan masing-masing alat transportasi yang berupa kapal didesain sebaik mungkin agar awet dan dapat bertahan lama, salah satunya melalui upaya pengecatan kapal tersebut. Hal ini diduga menjadi penyebab adanya jenis polimer cat anti korosi/anti fouling di perairan Danau Towuti.

Menurut Samina *et al.*, (2011) dan Failasuf (2019) dalam penelitiannya bahwa jenis polimer cat anti korosi/anti fouling merupakan salah satu komposisi dasar dari bahan cat yang sering digunakan masyarakat dalam upaya menjaga benda dari korosi. Hal tersebut dilakukan agar benda yang dilapisi dengan cat yang berbahan dasar dari polimer cat anti korosi/anti fouling bisa dapat bertahan dengan lama (Boucher and Friot, 2017).

VI. KESIMPULAN DAN SARAN

A. Kesimpulan

Berdasarkan hasil dari penelitian ini, secara keseluruhan dapat disimpulkan bahwa perairan dan ikan hasil tangkapan yang dikonsumsi oleh masyarakat di Danau Towuti sebagai danau purba, tercemar mikroplastik dengan konsentrasi yang cukup tinggi dibandingkan dengan beberapa penelitian pada ekosistem danau.

B. Saran

Saran yang dapat diberikan dan dapat dilakukan ke depannya untuk perkembangan penelitian pencemaran mikroplastik dari penelitian ini, yaitu dapat mengetahui pergerakan dinamika air dalam bentuk data ukuran arus dan gelombang untuk mengetahui pergerakan dinamika air yang terjadi di Danau Towuti secara jelas. Kemudian, diharapkan pemerintah dan masyarakat sekitar dapat lebih berupaya untuk menjaga kelestarian Danau Towuti sebagai danau purba.

DAFTAR PUSTAKA

- Alfonso, M.B., Scordo, F., Seitz, C., Mansretta, G.M.M., Ronda, A.C., Arias, A.H., Tomba, J.P., Silva, L.I., Perillo, G.M.E., Piccolo, M.C. 2020. First evidence of microplastics in nine lakes across Patagonia (South America). *Science of the Total Environment* 733 (2020) 139385. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2020.139385>
- Allen, S., Allen, D., Phoenix, V.R., Le Roux, G., Jiménez, P.D., Simonneau, A., Binet, S., Galop, D., 2019. Atmospheric transport and deposition of microplastics in a remote mountain catchment. *Nat. Geosci.* 12, 339–344. <https://doi.org/10.1038/s41561-019-0335-5>
- Azizi, N., Khoshnamvand, N., Nasser, S. 2021. The quantity and quality assessment of microplastics in the freshwater fishes: A systematic review and meta-analysis. *Regional Studies in Marine Science*. <https://doi.org/10.1016/j.rsma.2021.101955>
- Barnes, D.K.A., Galgani, F., Thompson, R.C., Barlaz, M., 2009. Accumulation and fragmentation of plastic debris in global environments. *Philosophical Transactions of the Royal Society B: Biological Sciences* 364, 1985–1998. <https://doi.org/10.1098/rstb.2008.0205>
- Besseling, E., Joris T.K., Quik, Sun, M., Albert, A., Koelmans. 2016. Fate of nano- and microplastic in freshwater systems: A modeling study. *Environmental Pollution xxx* (2016) 1-9. <http://dx.doi.org/10.1016/j.envpol.2016.10.001>
- Boucher, J., Friot, D., 2017. Primary microplastics in the oceans: A global evaluation of sources, Primary microplastics in the oceans: A global evaluation of sources. Gland, Switzerland. <https://doi.org/10.2305/iucn.ch.2017.01.en>
- Cauwenberghe, L.V., Vanreusel, A., Mees, J., Janssen, C.R. 2013. Microplastic pollution in deep-sea sediments. *Environmental Pollution* 182 (2013) 495-499. <http://dx.doi.org/10.1016/j.envpol.2013.08.013>
- Chen, C.Y., Lu, T.H., Yang, Y.F. Liao, C.M. 2020. Toxicokinetic/toxicodynamic-based risk assessment of freshwater fish health posed by microplastics at environmentally relevant concentrations. *Science of the Total Environment*. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2020.144013>
- Choi, J.S., Jung, Y., Hong, N., Hee, S., Park, J., 2018. Toxicological effects of irregularly shaped and spherical microplastics in a marine teleost, the sheepshead minnow (*Cyprinodon variegatus*). *Mar. Pollut. Bull.* 129, 231–240. <https://doi.org/10.1016/j.marpolbul.2018.02.039>
- Choi, J.S., Hong, S.H., Park, J.W. 2019. Evaluation of microplastic toxicity in accordance with different sizes and exposure times in the marine copepod *Trigriopus japonicus*. *Marine Environmental Research*. <https://doi.org/10.1016/j.marenvres.2019.104838>
- Chubarenko, I.P., Esiukova, E.E., Bagaev, A.V., Bagaeva, M.A., Grave, A.N. 2018. Three-dimensional distribution of anthropogenic microparticles in the body of sandy beaches. *Science of the Total Environment*. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2018.02.167>

- Cole, M., Lindeque, P., Halsband, C., Galloway, T.S. 2011. Microplastics as contaminants in the marine environment: A review. *Marine Pollution Bulletin* 62 (2011) 2588–2597. <http://dx.doi.org/10.1016/j.marpolbul.2011.09.025>
- Cole, M., Lindeque, P., Fileman, E., Halsband, C., Goodhead, R., Moger, J., Galloway, T.S., 2013. Microplastic ingestion by zooplankton. *Environ. Sci. Technol.* 47, 6646–6655. <https://doi.org/10.1021/es400663f>
- Costa, D.J.P., Duarte, A.C., Santos, T.A.P.R. 2017. Microplastics – occurrence, fate and behavior in the environment. *Comprehensive Analytical Chemistry*. Vol. 75. <http://dx.doi.org/10.1016/bs.coac.2016.10.004>
- Covernton, G.A., Pearce, C.M., Smith, H.J.G., Chastain, S.G., Ross, P.S., Dower, J.F., Dudas, S.E. 2019. Size and shape matter: A preliminary analysis of microplastic sampling technique in seawater studies with implications for ecological risk assessment. *Science of the Total Environment* 667 (2019) 124-132. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2019.02.346>
- Dantas, N.C.F.M., Duarte, O.S., Ferreira, W.C., Ayala, A.P., Rezende, C.F., Feitosa, C.V. 2020. Plastic intake does not depend on fish eating habits: Identification of microplastics in the stomach contents of fish on an urban beach in Brazil. *Marine Pollution Bulletin* 153 (2020) 110959. <https://doi.org/10.1016/j.marpolbul.2020.110959>
- Diah, H.K., Setyarsih, W., Putri, N.P. 2008. Studi pengaruh arus polimerisasi terhadap konduktivitas listrik polianilin yang disintesis dengan metode galvanostatik. *Jurnal Fisika dan Aplikasinya*. Vol. 4, No. 1.
- Ding, L., Mao, R.F., Guo, X., Yang, X., Zhang, Q., Yang, C. 2019. Microplastics in surface waters and sediments of the Wei River, in the northwest of China. *Science of the Total Environment*. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2019.02.332>
- Eckert, E.M., Cesara, A.D., Kettner, M.T., Andres, M.A., Fontaneto, D., Grossart, H.P., Corno, G. 2018. Microplastics increase impact of treated wastewater on freshwater microbial community. *Environmental Pollution* 234 (2018) 495-502. <https://doi.org/10.1016/j.envpol.2017.11.070>
- Eerkes-Medrano, D., Thompson, R.C., Aldridge, D.C., 2015. Microplastics in freshwater systems: a review of the emerging threats, identification of knowledge gaps and prioritisation of research needs. *Water Res.* 75, 63–82. <http://dx.doi.org/10.1016/j.watres.2015.02.012>.
- Egessa, R., Nankabirwa, A., Ocaya, H., Pabire, W.G. 2020. Microplastic pollution in surface water of Lake Victoria. *Science of The Total Environment* Vol. 741, 140201. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2020.140201>
- Failasuf, M.I. 2019. Pengaruh variasi jenis cat primer terhadap laju korosi. Fakultas Teknik. Universitas Negeri Semarang. Indonesia.
- Ferreira, G.V.B., Barletta, M., Lima, A.R.A., Morley, S.M., Justino, A.K.S., Costa, M.F. 2018. High intake rates of microplastics in a Western Atlantic predatory fish, and insights of a direct fishery effect. *Environmental Pollution* 236 (2018) 706-717. <https://doi.org/10.1016/j.envpol.2018.01.095>
- Fischer, E.K., Paglialonga, L., Czech, E., Tamminga, M., 2016. Microplastic pollution in

- lakes and lake shoreline sediments - A case study on Lake Bolsena and Lake Chiusi (central Italy). *Environ. Pollut.* 213, 648–657. <https://doi.org/10.1016/j.envpol.2016.03.012>
- Fitriani, M., Muslim, Jubaedah, D. 2011. Ekologi ikan betok (*Anabas testudineus*) di perairan Rawa Banjiran Indralaya. *Agria*. Vol. 7. No. 1, 33-39.
- Foekema, E.M., Gruijter, C.D., Mergia, M.T., Franeker, J.A.V., Murk, A.T.J., Koelmans, A.A. 2013. Plastic in North Sea Fish. *Environmental Science & Technology*. 47, 8818–8824. <https://doi.org/10.1021/es400931b>
- Free, C.M., Jensen, O.P., Mason, S.A., Eriksen, M., Williamson, N.J., Boldgiv, B., 2014. High levels of microplastic pollution in a large, remote, mountain lake. *Mar. Pollut. Bull.* 85, 156–163. <https://doi.org/10.1016/j.marpolbul.2014.06.001>
- Frias, J.P.G.L., Nash, R. 2019. Microplastics: Finding a consensus on the definition. *Marine Pollution Bulletin* 138 (2019) 145–147. <https://doi.org/10.1016/j.marpolbul.2018.11.022>
- GESAMP. (2019). Guidelines for the monitoring and assessment of plastic litter and microplastics in the ocean. Kershaw P.J., Turra A., Galgani F. (Eds.), (IMO/FAO/UNESCO-IOC/UNIDO/WMO/IAEA/UN/UNEP/UNDP/ISA Joint Group of Experts on the Scientific Aspects of Marine Environmental Protection. Rep. Stud. GESAMP No. 99, 130p.
- Grbic, J., Helm, P., Athey, S., Rochman, C.M. 2020. Microplastic entering northwestern Lake Ontario are diverse and linked to urban sources. *Water Research*. Vol. 174 115623. <https://doi.org/10.1016/j.watres.2020.115623>
- Haffner, G. D., Hehanussa, P.E., Hartoto, D.I. 2001. The biology and physical processes of large lake of Indonesia. *Backhuys*. Leiden. 183-194.
- Hedianto, D.A., Sentosa, A.A., Satria, H. 2018. Aspek reproduksi ikan louhan hybrid sebagai ikan asing invasive di Danau Matano, Sulawesi Selatan. *Bawal*. 10 (2) Agustus 2018: 85-98. <http://ejournal-balitbang.kkp.go.id/index.php/bawal>
- Hu, D., Zhang, Y., Shen, M. 2020. Investigation on microplastic pollution of Dongting Lake and its affiliated Rivers. *Marine Pollution Bulletin*. <https://doi.org/10.1016/j.marpolbul.2020.111555>
- Jabeen, K., Li, B., Chen, Q., Su, L., Wu, C., Hollert, H., Shi, H., 2018. Effects of virgin microplastics on goldfish (*Carassius auratus*). *Chemosphere*. <https://doi.org/10.1016/j.chemosphere.2018.09.031>
- Jambeck, J.R., Geyer, R., Wilcox, C., Siegler, T.R., Perryman, M., Andrady, A., Narayan, R., Law, K.L., 2015. Plastic waste inputs from land into the ocean. *Science*. Vol. 347, 768–771. <https://doi.org/10.1126/science.1260352>
- Jiang, C., Yin, L., Li, Z., Wen, X., Luo, X., Hu, S., Yang, H., Long, Y., Deng, B., Huang, L., Liu, Y. 2019. Microplastic pollution in the rivers of the Tibet Plateau. *Environmental Pollution* 249 (2019) 91-98. <https://doi.org/10.1016/j.envpol.2019.03.022>
- Jiang, Y., Zhao, Y., Wang, X., Yang, F., Chen, M., Wang, J. 2020. Characterization of microplastics in the surface seawater of the South Yellow Sea as affected by

- season. *Science of the Total Environment* 724 (2020) 138375. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2020.138375>
- Kasamesiri, P., Thaimuangpho, W., 2020. Microplastics ingestion by freshwater fish in the Chi River, Thailand. *Int. J. GEOMATE* 18 (67), 114–119. <http://dx.doi.org/10.21660/2020.67.9110>.
- Koelmans, A.A., Nor, N.H.M., Hermsen, E., Kooi, M., Mintenig, S.M., France, J., 2019. Microplastics in freshwaters and drinking water: critical review and assessment of data quality. *Water Res.* 155, 410–422. <http://dx.doi.org/10.1016/j.watres.2019.02.054>.
- Kusch, P. 2017. Application of pyrolysis-gas chromatography/mass spectrometry (py-gc/ms). *Comprehensive Analytical Chemistry*. Vol. 75. <http://dx.doi.org/10.1016/bs.coac.2016.10.003>
- Leslie, H., Velzen, M., Vethaak, A., 2013. Microplastic survey of the dutch environment. In: *Novel Data Set of Microplastics in North Sea Sediments, Treated Wastewater Effluents and Marine Biota*. The Netherlands.
- Lewis, P.A. 2004. *Organic Colorants. Coloring of Plastics: Fundamentals* 0-471-13906-8.
- Li, F., Huang, J., Zeng, G., Yuan, X., Li, X., Liang, J., Wang, X., Tang, X., Bai, B. 2013. Spatial risk assesment and sources identification of heavy metals in surface sediments from the Dongting Lake, Middle China. *Journal of Geochemical Exploration*. 132 (2013) 75-83. <http://dx.doi.org/10.1016/j.gexplo.2013.05.007>
- Li, J., Liu, H., Chen, J.P., 2018. Article in water research. *Water Res.*, 362–374 <https://doi.org/10.1016/j.watres.2017.12.056>
- Liana, Asriyana, Irawati, N. 2020. Kebiasaan Makanan Ikan Gabus (*Channa striata*) di perairan Rawa Aopa Watumohai, Desa Pewutaa Kecamatan Angata Kabupaten Konawe Selatan. *Jurnal Manajemen Sumberdaya Perairan* 5(3): 148-156
- Loder, M.G.J., Gerdt, G. 2015. Methodology used for the detection and identification of microplastics – A critical appraisal. *Marine Anthropogenic Litter*. *Marine*. http://10.1007/978-3-319-16510-3_8
- Lusher, A.L., McHugh, M., Thompson, R.C., 2013. Occurrence of microplastics in the gastrointestinal tract of pelagic and demersal fish from the English Channel. *Mar. Pollut. Bull.* 67 (1–2), 94–99. <http://dx.doi.org/10.1016/j.marpolbul.2012.11.028>.
- Lusher, A.L., Welden. N.A., Sobral, P., Cole, M. 2016. Sampling, isolating and identifying microplastics ingested by fish and invertebrates. *Royal Society of Chemistry*. <http://www.rsc.org/methods>
- Mamangkey, J.J. 2010. Biopopulasi ikan endemik butini (*Glossogobius matanensis*) di Danau Towuti, Sulawesi Selatan. *Sekolah Pascasarjana*. Institut Pertanian Bogor
- Mao, R., Yuanyuan, H., Zhang, S., Wu, R., Guo, X. 2020. Microplastics in the surface water of Wuliangshuai Lake, northern. *Science of the Total Environment*. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2020.137820>

- Masura, J., Baker, J., Foster, G., Arthur, C., Herring, C. 2015. Laboratory Methods for the analysis of microplastics in the marine environment: Recommendations for quantifying synthetic particles in water and sediments. NOAA Technical Memorandum NOS-OR&R-48
- Matsui, K., Ishimura, T., Mattonai, M., Iwai, I., Watanabe, A., Teramae, N., Ohtani, H., Watanabe, C. 2020. Identification algorithm for polymer mixtures based on Py-GC/MS and its application for microplastic analysis in environmental samples. *Journal of Analytical and Applied Pyrolysis*. <https://doi.org/10.1016/j.jaap.2020.104834>
- Meng, Y., Kelly, F.J., Wright, S.L., 2020. Advances and challenges of microplastic pollution in freshwater ecosystems: a UK perspective. *Environ. Pollut.* 256, 113445. <https://doi.org/10.1016/j.envpol.2019.113445>
- Naidoo, T., Glassom, D. 2019. Decreased growth and survival in small juvenile fish, after chronic exposure to environmentally relevant concentrations of microplastic. *Marine Pollution Bulletin* 145 (2019) 254-259. <https://doi.org/10.1016/j.marpolbull.2019.02.037>
- Plieiter, M.G., Velazquez, D., Edo, C., Carretero, O., Gago, J., Sola, A.B., Hernandez, L.E., Yousef, I., Quesada, A., Leganes, F., Rosal, R., Pinas, F. 2020. Fibers spreading worldwide: Microplastics and other anthropogenic litter in an Arctic freshwater lake. *Science of the Total Environment* 722 (2020) 137904. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2020.137904>
- Possatto, F.E., Barletta, M., Costa, M.F., Sul, J.A.I.D., Dantas, D.V. 2011. Plastic debris ingestion by marine catfish: An unexpected fisheries impact. *Marine Pollution Bulletin* 62 (2011) 1098-1102. <http://dx.doi.org/10.1016/j.marpolbul.2011.01.036>
- Qiao, R., Deng, Y., Zhang, S., Wolosker, M.B., Zhu, Q., Ren, H., Zhang, Y. 2019. Accumulation of different shapes of microplastics initiates intestinal injury and gut microbiota dysbiosis in the gut of zebrafish. *Chemosphere* 236 (2019) 124334. <https://doi.org/10.1016/j.chemosphere.2019.07.065>
- Rochman, C.M., 2015. The complex mixture, fate and toxicity of chemicals associated with plastic debris in the marine environment, in: Bergman, M., Gutow, L., Klages, M. (Eds.), *Marine Anthropogenic Litter*. Springer Open, pp. 117–140. https://doi.org/10.1007/978-3-319-16510-3_5
- Rosana, N., Putri, N.P. 2012. Penambahan *fly ash* pada komposit polianilin/hcl/*fly ash*. *Sains dan Matematika*. Vol. 1, No. 1.
- Samina, M., Karim, A., Venkatachalam, A. 2011. Corrosion study of iron and copper metals and brass alloy in different medium. *E-Journal of Chemistry*. 8(S1), S344-S348
- Santillo, D., Miller, K., Johnston, P., 2017. Microplastics as contaminants in commercially important seafood species. *Integr. Environ. Assess. Manag.* 13, 516–521. <https://doi.org/10.1002/ieam.1909>
- Sun, D., Wang, J., Xie, S., Tang, H., Zhang, G., Xu, G. 2021. Characterization and spatial distribution of microplastics in two wild captured economic freshwater

fish from north and west rivers of Guangdong province. *Ecotoxicology and Environmental Safety*. <https://doi.org/10.1016/j.ecoenv.2020.111555>

- Suryaningsih, S., Harjo, D.H., Demen, T.A., 1998. Analisis konduktivitas bahan polianilin sebagai fungsi konsentrasi elektrolit. Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam. Universitas Padjadjaran. Indonesia.
- Taha, Z.D., Amin, R.M., Anuar, S.T., Nasser, A.A.A., Sohaimi, E.S. 2021. Microplastics in seawater and zooplankton: A case study from Terengganu estuary and offshore waters, Malaysia. *Science of The Total Environment*. Vol. 786 (2021) 147466. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2021.147466>
- Tahir, A., Taba, P., Samawi, M.F., Werorilangi, S. 2019.. Microplastics in water, sediment and salts from traditional salt producing ponds. *Global Journal Environmental Science Management*. 5(4): 431-440, Autumn 2019. <http://doi.org/10.22034/gjesm.2019.04.03>
- Thompson, R.C., Olsen, Y., Mitchell, R.P., Davis, A., Rowland, S.J., John, A.W.G., McGonigle, D., Russell, A.E., 2004. Lost at sea: where is all the plastic? *Science*, 838.
- Thompson, R.C., Moore, C.J., Saal, F.S.V., Swan, S.H., 2009. Plastics, the environment and human health: Current consensus and future trends. *Philos. Trans. R. Soc. B Biol. Sci.* 364, 2153–2166
- Vali, S.A., Baghdadi, M., Ali, M. 2018. Immobilization of polianilin nanoparticles on the polyurethane foam derived from waste materials: A porous reactive fixed-bed medium for removal of mercury from contaminated waters. *Journal of Environmental Chemical Engineering*. <https://doi.org/10.1016/j.jece.2018.09.042>
- Vendel, A.L., Bessa, F., Alves, V.E.N., Amorim, A.L.A., Patricio, J., Palma, A.R.T. 2017. Widespread microplastic ingestion by fish assemblages in tropical estuaries subjected to anthropogenic pressures. *Marine Pollution Bulletin*. <http://dx.doi.org/10.1016/j.marpolbul.2017.01.081>
- Wang, F., Wong, C.S., Chen, D., Lu, X., Wang, F., Zeng, E.Y. 2018. Interaction of toxic chemicals with microplastics: A critical review. *Water Research*. <https://doi.org/10.1016/j.watres.2018.04.003>
- Wang, W., Ge, J., Yu, X. 2019. Bioavailability and toxicity of microplastics to fish species: A review. *Ecotoxicology and Environmental Safety*. <https://doi.org/10.1016/j.ecoenv.2019.109913>
- Wicaksono, E.D., Werorilangi, S., Tahir, A. 2020. The influence of weirs on microplastic fate in the riverine environment (case study: Jeneberang River, Makassar City, Indonesia). *MARSAVE. Earth and Environmental Science* 763 (2021) 012054. <http://doi:10.1088/1755-1315/763/1/012054>
- Wijaya, D., Samuel, Masak, P.R.P. 2009. Kajian kualitas air dan potensi produksi sumber daya ikan di Danau Towuti, Sulawesi Selatan. *Bawal*. Vol. 2 No. 6-Desember 2009: 291-297
- Wu, J., Lai, M., Zhang, Y., Li, J., Zhou, H., Jiang, R., Zhang, C. 2020. Microplastics in the digestive tract of commercial fish from the marine ranching in east China

sea, China. Case Studies in Chemical and Environmental Engineering.
<https://doi.org/10.1016/j.cscee.2020.100066>

- Yin, L., Chen, B., Xia, B., Shi, X., Qu, K. 2018. Title: Polystyrene microplastics alter the behavior, energy reserve and nutritional composition of marine jacobever (*Sebastes schlegelii*). Journal of Hazardous Materials.
<https://doi.org/10.1016/j.jhazmat.2018.07.110>
- Yin, L., Wen, X., Du, C., Jiang, J., Wu, L., Zhang, Y., Hu, Z., Hu, S., Feng, Z., Zhou, Z., Long, Y., Gu, Q. 2019. Comparison of the abundance of microplastics between rural and urban areas: A case study from East Dongting Lake. Chemosphere.
<https://doi.org/10.1016/j.chemosphere.2019.125486>
- Yuan, W., Liu, X., Wang, W., Di, M., Wang, J. 2019. Microplastic abundance, distribution and composition in water, sediments and wild fish from Poyang Lake, China. Ecotoxicology and Environmental Safety.
<https://doi.org/10.1016/j.ecoenv.2018.11.126>
- Zhang, Z., Wu, H., Peng, G., Pei, X., Li, D. 2020. Coastal ocean dynamics reduce the export of microplastics to the open ocean. Science of the Total Environment.
<https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2020.136634>
- Zheng, K., Fan, Y., Zhu, Z., Chen, G., Tang, C., Peng, X., 2019. Occurrence and species-specific distribution of plastic debris in wild freshwater fish from the Pearl River catchment, China. Environ. Toxicol. Chem. 38 (7), 1504–1513.
<http://dx.doi.org/10.1002/etc.4437>.

LAMPIRAN

1. Data yang diukur pada sampel

No.	Sampel / Jumlah Sampel	Parameter	Alat / Metode	Satuan
1.	Mikroplastik pada perairan danau / 9 titik lokasi x 5 kali ulangan = Total 45 sampel air	Konsentrasi	Mikroskop	partikel/liter
		Ukuran	Mikroskop	µm
		Bentuk	Mikroskop	-
		Warna	Mikroskop	-
		Jenis Polimer	FT-IR	-
2.	Ikan / Total dari 5 spesies, 71 ekor	Bobot Tubuh	Timbangan Digital	g
		Panjang Total	Mistar	cm
3.	Mikroplastik pada ikan / Total 5 spesies, 71 ekor	Konsentrasi	Mikroskop	partikel/gram
		Ukuran	Mikroskop	µm
		Bentuk	Mikroskop	-
		Warna	Mikroskop	-
		Jenis Polimer	FT-IR	-

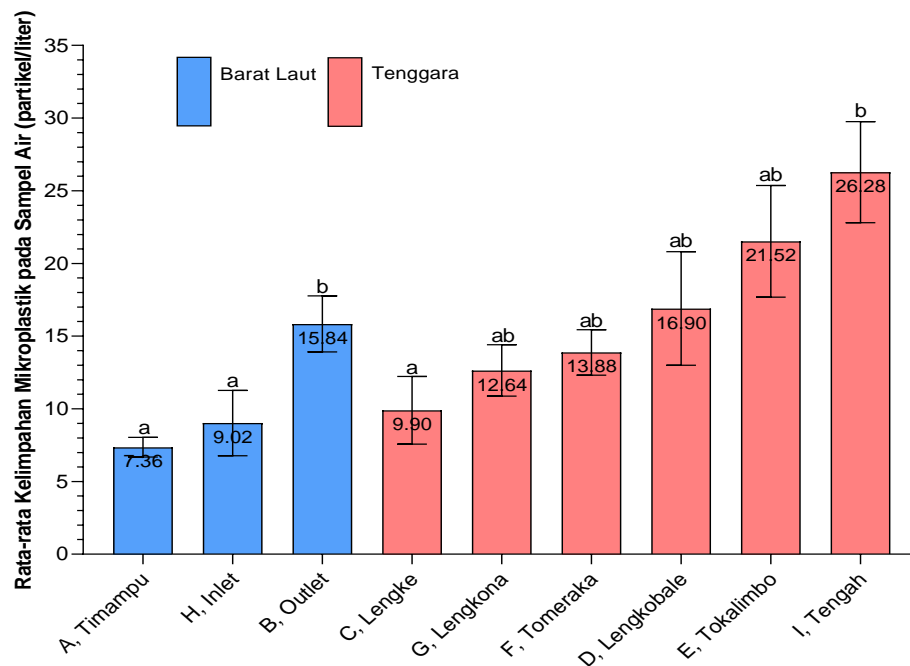
2. Data ukuran ikan yang biasa dikonsumsi oleh masyarakat sehari-hari

Spesies	Rata-rata Panjang Total (cm)	Rata-rata Bobot Tubuh (g)	Persentase Kontaminasi
<i>Glossogobius matanensis</i>	20.27 ± 1.42	82.61 ± 15.90	100%
<i>Cichlasoma trimaculatum</i>	13.34 ± 1.14	49.04 ± 10.65	93%
<i>Anabas testudineus</i>	14.70 ± 1.27	61.20 ± 21.67	91%
<i>Oreochromis niloticus</i>	18.87 ± 0.94	150.07 ± 25.31	100%
<i>Channa striata</i>	25.91 ± 1.84	165.63 ± 43.01	93%

3. Data identifikasi ikan yang biasa dikonsumsi oleh masyarakat sehari-hari

Spesies	Kebiasaan Makan	Makanan	Wilayah
<i>G. matanensis</i>	Karnivor (Mamangkey, 2010)	Ikan-ikan kecil	Demersal
<i>C. trimaculatum</i>	Karnivor (Hedianto, 2018)	Ikan kecil, zooplankton	Pelagis
<i>A. testudineus</i>	Karnivor (Fitriani <i>et al</i> , 2011)	Udang-udang, larva ikan	Demersal
<i>O. niloticus</i>	Herbivor (Mamangkey, 2010)	Fitoplankton	Pelagis
<i>C. striata</i>	Karnivor (Liana <i>et al</i> , 2011)	Ikan, krustasea	Demersal

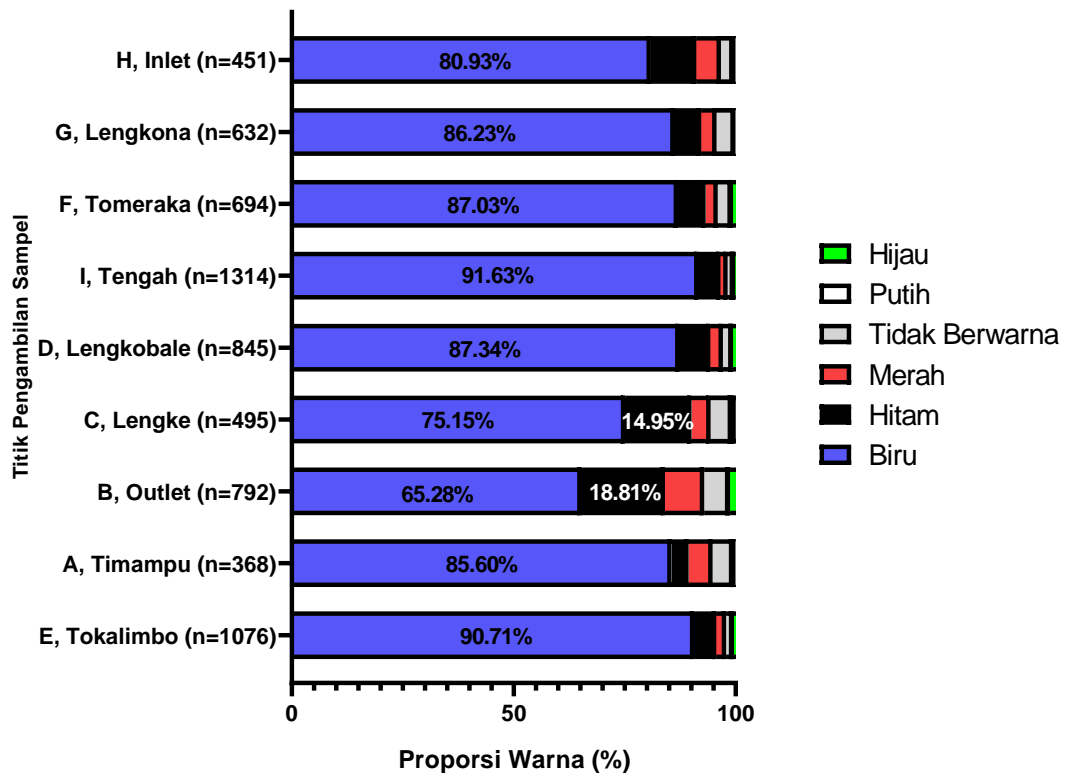
4. Rata-rata Konsentrasi Mikroplastik pada Sampel Air



5. Konsentrasi Warna Mikroplastik pada Sampel Air

Lokasi	Partikel Mikroplastik (partikel/liter)					Tidak Berwarna
	Biru	Hitam	Merah	Putih	Hijau	
A, Timampu	31,5 ± 1,09 ^a	1,4 ± 0,25 ^b	2,0 ± 0,32 ^b	0,1 ± 0,04 ^b	0,1 ± 0,04 ^b	1,7 ± 0,26 ^d
B, Outlet	51,7 ± 3,18 ^a	14,9 ± 1,20 ^b	7,0 ± 0,40 ^{bc}	0,1 ± 0,04 ^c	1,0 ± 0,16 ^{bc}	4,5 ± 0,78 ^d
C, Lengke	37,2 ± 4,50 ^a	7,4 ± 0,83 ^b	2,1 ± 0,24 ^b	0 ^b	0,4 ± 0,08 ^b	2,4 ± 0,29 ^d
D, Lengkobale	73,8 ± 8,20 ^a	5,9 ± 0,62 ^b	2,4 ± 0,26 ^b	0,1 ± 0,04 ^b	0,5 ± 0,14 ^b	1,8 ± 0,21 ^d
E, Tokalimbo	97,6 ± 7,61 ^a	5,3 ± 0,83 ^b	2,4 ± 0,20 ^b	0,2 ± 0,05 ^b	0,4 ± 0,18 ^b	1,7 ± 0,25 ^d
F, Tomeraka	60,4 ± 3,07 ^a	4,3 ± 0,30 ^b	1,9 ± 0,18 ^b	0,2 ± 0,05 ^b	0,4 ± 0,04 ^b	2,2 ± 0,37 ^d
G, Lengkona	54,5 ± 3,24 ^a	3,8 ± 0,49 ^b	2,2 ± 0,17 ^b	0 ^b	0,1 ± 0,04 ^b	2,6 ± 0,24 ^d
H, Inlet	36,5 ± 5,29 ^a	4,6 ± 0,29 ^b	2,5 ± 0,21 ^b	0 ^b	0,20 ± 0,09 ^b	1,3 ± 0,18 ^d
I, Tengah	120,4 ± 8,20 ^a	6,5 ± 0,62 ^b	2,1 ± 0,31 ^b	0,4 ± 0,11 ^b	0,1 ± 0,04 ^b	1,9 ± 0,31 ^d

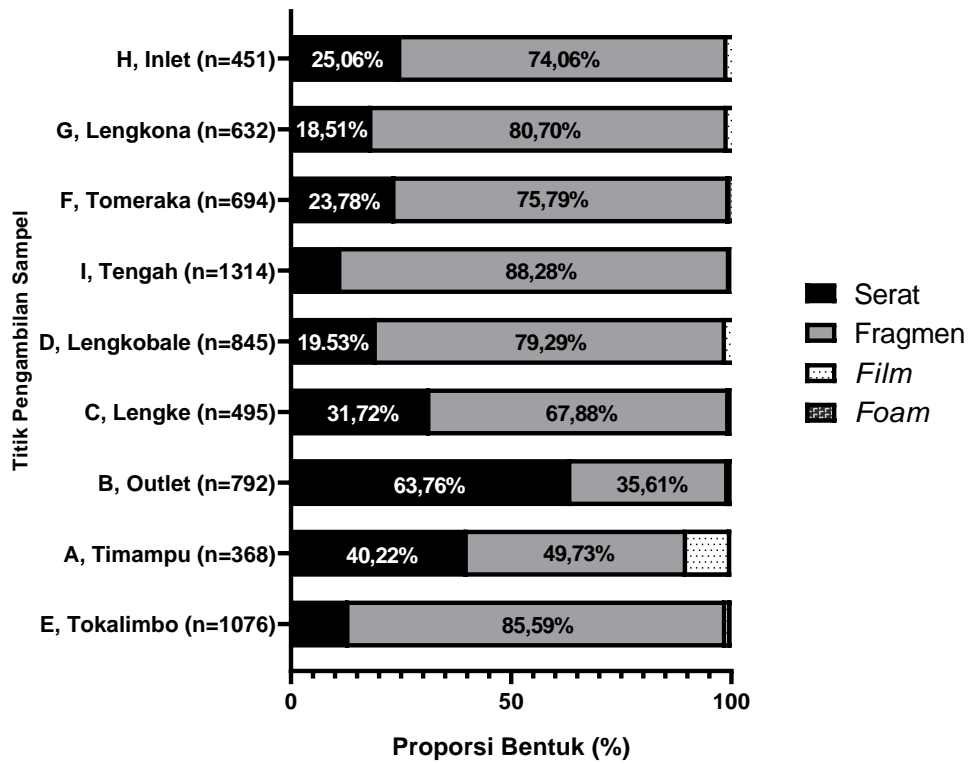
6. Proporsi Warna Mikroplastik pada Sampel Air



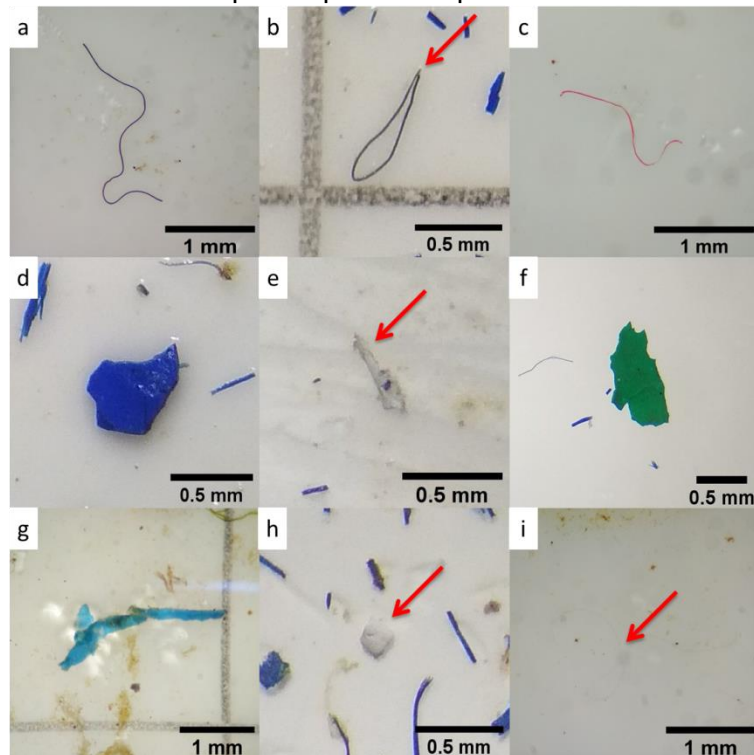
7. Konsentrasi Bentuk Mikroplastik pada Sampel Air

Lokasi	Bentuk Partikel Mikroplastik (partikel/liter)			
	Serat	Fragmen	Film	Foam
A, Timampu	14,8 ± 1,39 ^a	18,3 ± 0,59 ^a	3,7 ± 0,66 ^b	0 ^b
B, Outlet	50,5 ± 4,12 ^a	28,2 ± 1,85 ^b	0,5 ± 0,14 ^c	0 ^c
C, Lengke	15,7 ± 0,94 ^{ab}	33,6 ± 4,36 ^a	0,2 ± 0,09 ^b	0 ^b
D, Lengkobale	16,5 ± 1,35 ^b	67,0 ± 7,81 ^a	1,0 ± 0,16 ^b	0 ^b
E, Tokalimbo	14,3 ± 1,26 ^b	92,1 ± 7,48 ^a	1,2 ± 0,11 ^b	0 ^b
F, Tomeraka	16,5 ± 1,43 ^a	52,6 ± 2,94 ^b	0,2 ± 0,05 ^c	0,1 ± 0,04 ^c
G, Lengkona	11,7 ± 1,05 ^b	51,0 ± 3,04 ^a	0,5 ± 0,00 ^b	0 ^b
H, Inlet	11,3 ± 0,54 ^b	33,4 ± 4,84 ^a	0,4 ± 0,04 ^b	0 ^b
I, Tengah	15,1 ± 1,15 ^b	116,0 ± 8,56 ^a	0,1 ± 0,04 ^b	0,2 ± 0,05 ^b

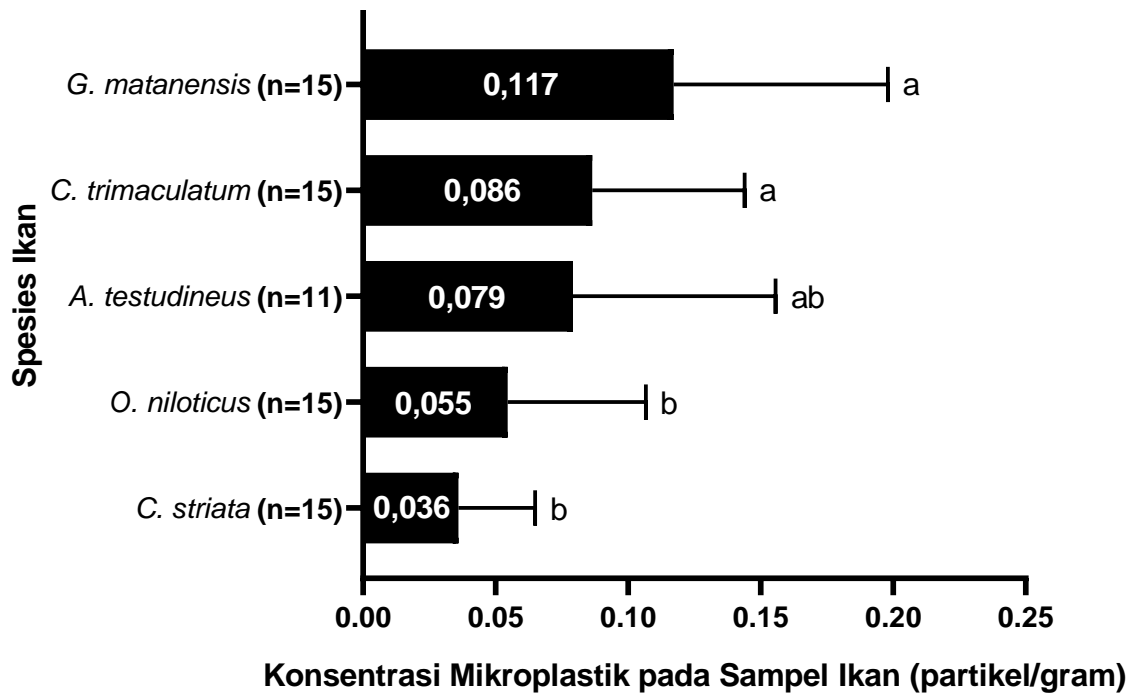
8. Proporsi Bentuk Mikroplastik pada Sampel Air



9. Bentuk dan Warna Mikroplastik pada Sampel Air



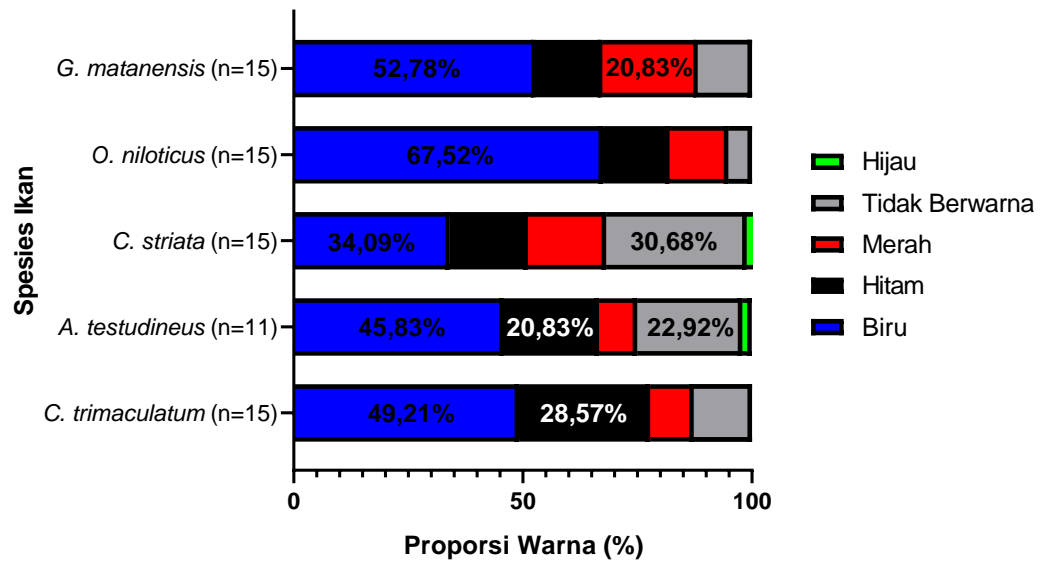
10. Rata-rata Konsentrasi Mikroplastik pada Usus Ikan



11. Konsentrasi Warna Mikroplastik pada Usus Ikan

Spesies	Partikel Mikroplastik (partikel/gram)				
	Biru	Hitam	Merah	Hijau	Tidak Berwarna
<i>G. matanensis</i> (n=15)	0,061 ± 0,045 ^a	0,016 ± 0,016 ^b	0,026 ± 0,032 ^b	0 ^b	0,015 ± 0,026 ^d
<i>C. trimaculatum</i> (n=15)	0,042 ± 0,031 ^a	0,025 ± 0,033 ^a	0,009 ± 0,015 ^b	0 ^c	0,010 ± 0,013 ^d
<i>A. testudineus</i> (n=11)	0,041 ± 0,045 ^a	0,014 ± 0,020 ^a	0,006 ± 0,011 ^b	0,002 ± 0,005 ^b	0,017 ± 0,022 ^d
<i>O. niloticus</i> (n=15)	0,035 ± 0,042 ^a	0,008 ± 0,008 ^b	0,007 ± 0,008 ^b	0 ^b	0,003 ± 0,005 ^d
<i>C. striata</i> (n=15)	0,012 ± 0,010 ^a	0,007 ± 0,009 ^a	0,006 ± 0,010 ^a	0,0004 ± 0,001 ^b	0,011 ± 0,010 ^d

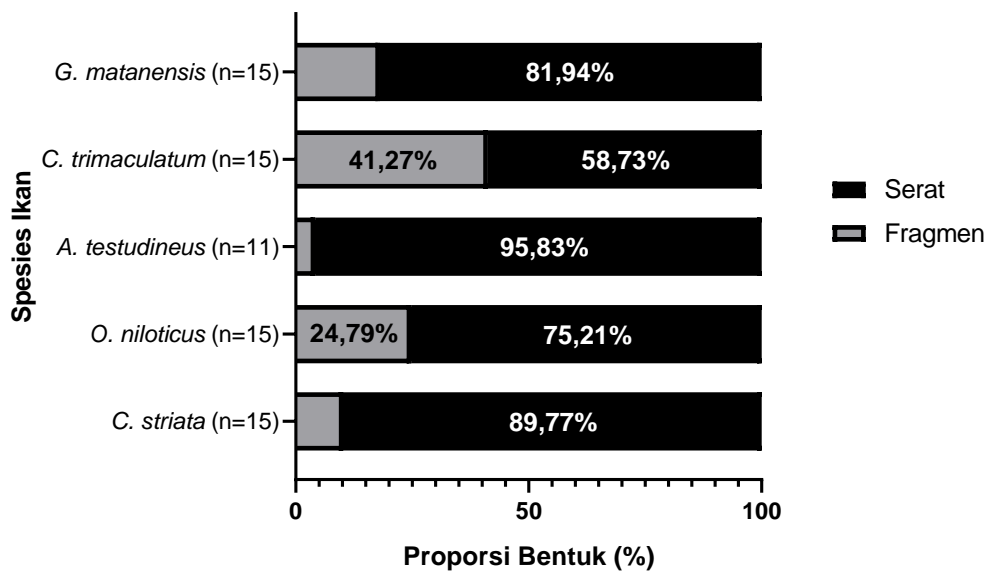
12. Proporsi Warna Mikroplastik pada Usus Ikan



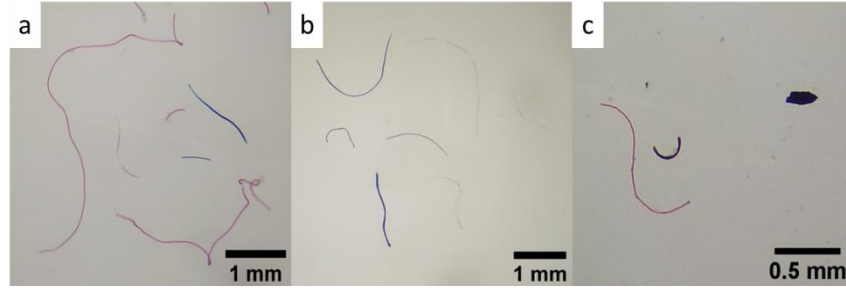
13. Konsentrasi Bentuk Mikroplastik pada Usus Ikan

Spesies	Bentuk Partikel Mikroplastik (partikel/gram)	
	Serat	Fragmen
<i>G. matanensis</i> (n=15)	0,097 ± 0,081 ^a	0,020 ± 0,014 ^b
<i>C. trimaculatum</i> (n=15)	0,053 ± 0,042 ^a	0,034 ± 0,042 ^a
<i>A. testudineus</i> (n=11)	0,077 ± 0,077 ^a	0,003 ± 0,006 ^b
<i>O. niloticus</i> (n=15)	0,038 ± 0,020 ^a	0,014 ± 0,036 ^b
<i>C. striata</i> (n=15)	0,033 ± 0,023 ^a	0,004 ± 0,005 ^b

14. Proporsi Bentuk Mikroplastik pada Usus Ikan

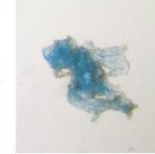
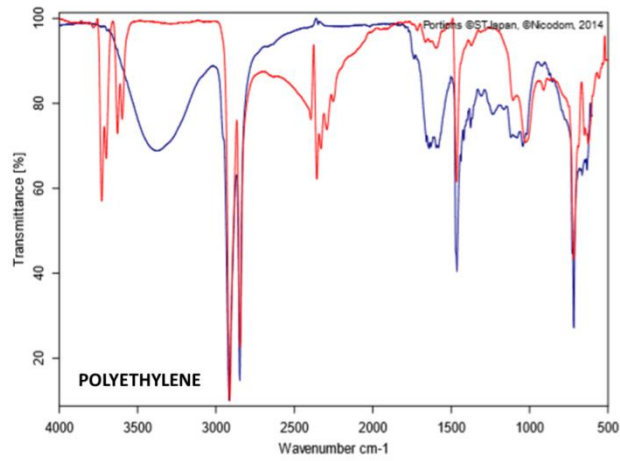


15. Bentuk dan Warna Mikroplastik pada Usus Ikan



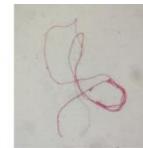
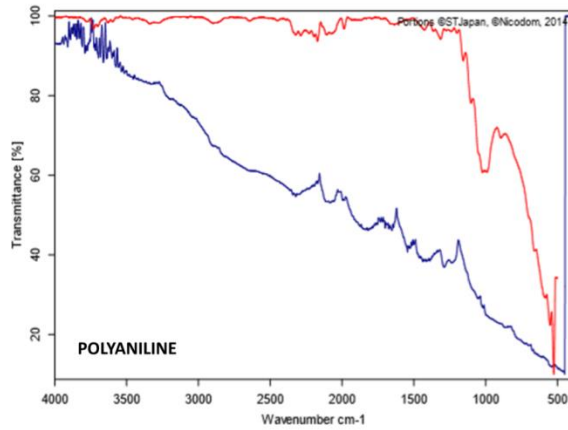
16. Spektrum Polimer Polietilen

Search Library

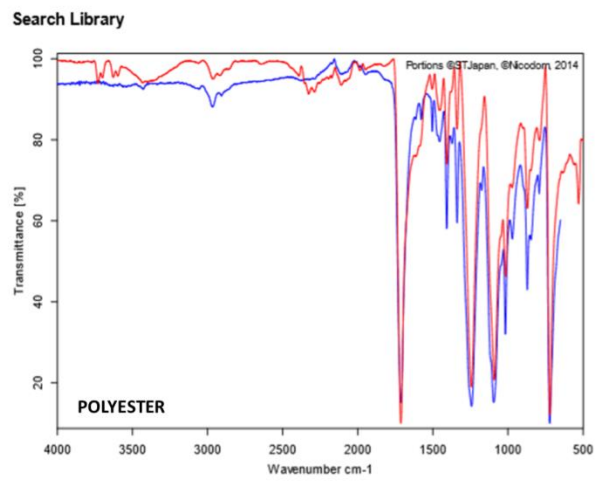


17. Spektrum Polimer Polianilin

Search Library



18. Spektrum Polimer Poliester



19. Spektrum Cat Anti Korosi/Anti Fouling

