

**STUDI DISTRIBUSI MIKROPLASTIK AKIBAT PENGARUH PERGERAKAN
ARUS DI PERMUKAAN PERAIRAN SENDANG BIRU, MALANG PADA MUSIM
PERALIHAN II TAHUN 2018**

**LAPORAN SKRIPSI
PROGRAM STUDI ILMU KELAUTAN
JURUSAN PEMANFAATAN SUMBERDAYA PERIKANAN DAN KELAUTAN**

Oleh :

**FAKHRI AKBAR SIGIT
NIM. 145080601111039**



**FAKULTAS PERIKANAN DAN ILMU KELAUTAN
UNIVERSITAS BRAWIJAYA
MALANG
2019**

**STUDI DISTRIBUSI MIKROPLASTIK AKIBAT PENGARUH PERGERAKAN
ARUS DI PERMUKAAN PERAIRAN SENDANG BIRU, MALANG PADA MUSIM
PERALIHAN II TAHUN 2018**

**LAPORAN SKRIPSI
PROGRAM STUDI ILMU KELAUTAN
JURUSAN PEMANFAATAN SUMBERDAYA PERIKANAN DAN KELAUTAN**

Sebagai Salah Satu Syarat untuk Meraih Gelar Sarjana Kelautan
di Fakultas Perikanan dan Ilmu Kelautan
Universitas Brawijaya

Oleh:

**FAKHRI AKBAR SIGIT
NIM. 145080601111039**



**FAKULTAS PERIKANAN DAN ILMU KELAUTAN
UNIVERSITAS BRAWIJAYA
MALANG
2019**

LEMBAR PENGESAHAN

LAPORAN SKRIPSI

STUDI DISTRIBUSI MIKROPLASTIK AKIBAT PENGARUH PERGERAKAN
ARUS DI PERMUKAAN PERAIRAN SENDANG BIRU, MALANG PADA MUSIM
PERALIHAN II TAHUN 2018

Oleh :

FAKHRI AKBAR SIGIT
145080601111039

Telah dipertahankan didepan penguji pada tanggal 28 Februari 2019
dan dinyatakan telah memenuhi syarat

Dosen Pembimbing 1



Nurin Hidayati, ST, M.Sc
NIP. 19781102 200502 2 001
Tanggal : 20 MAR 2019

Menyetujui,
Dosen Pembimbing 2



Citra Satrya Utama Dewi, S.Pi., M.Si
NIP. 201304841272001
Tanggal : 20 MAR 2019

Mengetahui,

Ketua Jurusan Pemanfaatan
Sumberdaya Perikanan dan Kelautan




Dr. Eng. Abu Bakar Sambah, S.Pi., MT
NIP. 19780717 200502 1 004
Tanggal : 20 MAR 2019

IDENTITAS TIM PENGUJI

Judul : STUDI DISTRIBUSI MIKROPLASTIK AKIBAT PENGARUH PERGERAKAN ARUS DI PERMUKAAN PERAIRAN SENDANG BIRU, MALANG PADA MUSIM PERALIHAN II TAHUN 2018.

Nama Mahasiswa : Fakhri Akbar Sigit

NIM : 145080601111039

Program Studi : Ilmu Kelautan

PENGUJI PEMBIMBING:

Pembimbing 1 : Nurin Hidayati, ST, M.Sc

Pembimbing 2 : Citra Satrya Utama Dewi, S.Pi., M.Si

PENGUJI BUKAN PEMBIMBING:

Penguji 1 : Dr. Rudianto, MA

Penguji 2 : M. Arif As'adi. S. Kel., M. Sc

Tanggal Ujian : 28 Februari 2019

PERNYATAAN ORISINALITAS

Saya yang bertanda tangan dibawah ini,

Nama : Fakhri Akbar Sigit

NIM : 145080601111039

Prodi : Ilmu Kelautan

Dengan ini saya menyatakan bahwa dalam pembuatan laporan skripsi ini adalah hasil karya saya sendiri yang dibimbing oleh dosen pembimbing skripsi. Sepanjang pengetahuan saya juga tidak terdapat karya atau pendapat yang pernah ditulis, atau diterbitkan oleh orang lain kecuali yang tertulis dalam naskah ini dan disebutkan dalam daftar pustaka.

Apabila dikemudian hari terbukti atau dapat dibuktikan laporan ini adalah hasil plagiasi, maka saya bersedia menerima sanksi atas perbuatan tersebut sesuai hukum yang berlaku di Indonesia.

Malang, 28 Februari 2019

Fakhri Akbar Sigit

NIM. 145080601111039

UCAPAN TERIMAKASIH

Penulis Menyampaikan ucapan terimakasih sebesar-besarnya kepada beberapa pihak atas dukungan dan do'a restunya dalam penyusunan laporan skripsi ini, yaitu:

1. Puji syukur kehadiran Allah SWT atas segala rahmat yang telah di berikan-Nya kepada kita semua sehingga selama penyusunan laporan skripsi ini di beri kemudahan dan kelancaran
2. Kedua Orangtua, Nurlaila Indah, Bagus Dwi Prasetyo, Annisa Kartika dan M Abyasa Notonegoro yang telah memberikan do'a, dukungan perhatian dan motivasi pada saat pelaksanaan penelitian hingga penulisan laporan skripsi.
3. Nurin Hidayati, ST., M.Sc selaku dosen pembimbing pertama dan Citra Satrya Utama Dewi, S.Pi., M.Si selaku dosen pembimbing kedua yang telah memberikan arahan dan bimbingan dalam pelaksanaan serta penyusunan laporan skripsi.
4. Dr. Rudianto, MA selaku dosen penguji pertama dan M. Arif As'adi. S. Kel., M. Sc selaku dosen penguji kedua yang telah memberikan ilmunya selama ujian skripsi berlangsung.
5. Ra'uf Alfansuri, Yosep Brian Ziliwu, Wulan Cahya Ayuningtyas, Francisko Nainggolan, Bernads Daniel, Teguh Dwi Kristian dan Yody Azhari Ritonga yang bersedia membantu meluangkan waktu dan memberikan ilmu dalam pelaksanaan penelitian di Lapang maupun Laboratorium.
6. Rissa Riswandana yang selalu memberi do'a, semangat, dukungan dan motivasi kepada penulis.
7. Teman-teman Ilmu Kelautan 2014 "KRAKEN" yang selalu mendukung selama penelitian ini berlangsung.

RINGKASAN

FAKHRI AKBAR SIGIT 145080601111039. Studi Distribusi Mikroplastik Akibat Pengaruh Pergerakan Arus di Permukaan Perairan Sendang Biru, Malang Pada Musim Peralihan II Tahun 2018 (di bawah bimbingan **Nurin Hidayati, ST., M.Sc** dan **Citra Satria Utama Dewi, S.Pi., M.Si**).

Permasalahan sampah di Indonesia khususnya plastik merupakan masalah yang belum terselesaikan sampai saat ini. Mengingat bahwa sifat plastik akan terurai di tanah dalam waktu lebih dari 20 tahun bahkan dapat mencapai 100 tahun sehingga dapat menurunkan kesuburan tanah dan di perairan plastik akan sulit terurai. Sampah laut merupakan buangan dari makhluk hidup yang berbentuk benda padat dan masuk ke dalam lingkungan air laut baik secara sengaja maupun secara tidak sengaja. Sampah plastik yang mencemari garis pantai, perairan dangkal serta lautan lepas dapat berbentuk potongan-potongan sampah makroplastik maupun mikroplastik di perairan. Mikroplastik yaitu partikel plastik berukuran 0,3 mm sampai dengan 5 mm. Salah satu perairan yang memiliki potensi tercemar mikroplastik yaitu Perairan Sendang Biru, Malang dikarenakan banyak sekali aktifitas antropogenik di sekitar kawasan tersebut.

Tujuan dari penelitian ini adalah untuk mengetahui pola arus permukaan, mengidentifikasi nilai kelimpahan dan jenis mikroplastik, dan mengetahui hubungan antara distribusi kelimpahan mikroplastik dengan pergerakan arus di Sendang Biru, Kabupaten Malang. Metode penelitian yang digunakan berupa metode statistik inferensial. Data yang dipergunakan berupa data primer berupa hasil observasi langsung di lapang (*In situ*) dan analisis sampel di laboratorium (*ex situ*) dan sekunder berupa studi literatur. Data primer diperoleh dari pengukuran dan pengambilan sampel di lapang berupa sampel air dengan menggunakan *plankton net* dengan volume saring 15 L, kemudian pengukuran arus menggunakan *current meter*. Tahap identifikasi sampel perairan menggunakan metode NOAA yang terbagi menjadi empat tahap utama yaitu penyaringan, pengeringan, pemisahan zat organik dan identifikasi mikroplastik

Hasil penelitian yang telah dilakukan maka didapatkan jenis mikroplastik *fiber*, *fragment* dan *film* dengan nilai kelimpahan mikroplastik yang cukup tinggi sebesar 5755,56 partikel m^{-3} . Klasifikasi ukuran mikroplastik tertinggi berkisar antara 2000-5000 μm untuk semua jenis mikroplastik. Klasifikasi warna mikroplastik jenis *fiber* didominasi warna putih, *fragment* didominasi warna biru dan *film* didominasi warna transparan. Sumber mikroplastik terbesar diindikasikan berasal dari *non point source* seperti aktivitas antropogenik, pelabuhan, serta limbah plastik di kawasan Sendang Biru maupun yang terbawa dari perairan lainnya. Sementara pola arus setiap musim peralihan II rata-rata menunjukkan bahwa arus berasal dari arah timur dan selatan. Hasil dari statistik regresi linear didapatkan nilai *p-value* 0,085 yang mengindikasikan bahwa terdapat pengaruh pergerakan arus terhadap distribusi kelimpahan mikroplastik. Hal ini diduga karena pengaruh arus, densitas, dan angin musim sehingga sumber utama sampah mikroplastik berasal dari Samudra Hindia diduga telah memasuki dan mencemari Perairan Sendang Biru akibat terbawa oleh arus permukaan. Kemudian sumber pencemar lainnya yaitu Pantai Sendang Biru, Pelabuhan Sendang Biru, Muara Sungai Kondang Buntung serta Mulut Selat bagian barat.

KATA PENGANTAR

Puji dan syukur kehadiran Allah SWT atas segala nikmat, rahmat dan karunia-Nya, sehingga penulis mampu menyelesaikan laporan skripsi ini yang berjudul **“Studi Distribusi Mikroplastik Akibat Pengaruh Pergerakan Arus di Permukaan Perairan Sendang Biru, Malang Pada Musim Peralihan II Tahun 2018”**. Dalam laporan skripsi ini, tersusun pokok-pokok bahasan yang terdiri dari Bab I yaitu latar belakang, rumusan masalah, tujuan penelitian dan manfaat penelitian. Bab II terdiri dari tinjauan pustaka sebagai acuan penelitian. Bab III tentang metodologi yang digunakan dalam penelitian serta tahapan-tahapan dalam proses pengumpulan data. Bab IV hasil dan pembahasan penelitian. Bab V kesimpulan dan saran untuk penelitian ini dan penelitian selanjutnya.

Dalam mengerjakan laporan skripsi ini, penulis menyadari masih banyak kekurangan. Maka dari itu, penulis sangat mengharapkan kritik serta saran yang memotivasi untuk kebenaran dalam penulisan laporan skripsi ini. Terima kasih diucapkan oleh penulis kepada seluruh pihak yang telah membantu dalam penyusunan laporan skripsi ini dan semoga laporan skripsi ini mampu memberikan informasi yang bermanfaat bagi pembaca.

Malang, 28 Februari 2019

Penulis

DAFTAR ISI

PERNYATAAN ORISINALITAS	i
UCAPAN TERIMAKASIH.....	ii
RINGKASAN	iii
KATA PENGANTAR	iv
DAFTAR ISI.....	v
DAFTAR TABEL.....	vii
DAFTAR GAMBAR.....	viii
DAFTAR LAMPIRAN	ix
BAB I. PENDAHULUAN.....	1
1.1 Latar Belakang	1
1.2 Rumusan Masalah	3
1.3 Tujuan Penelitian.....	3
1.4 Manfaat Penelitian.....	3
BAB II. TINJAUAN PUSTAKA.....	4
2.1 Mikroplastik	4
2.1.1 Pengertian Mikroplastik.....	4
2.1.2 Jenis dan Bentuk Mikroplastik.....	4
2.1.3 Kelimpahan Mikroplastik	6
2.1.4 Warna Mikroplastik	7
2.1.5 Ukuran Mikroplastik	8
2.1.6 Sumber-Sumber Mikroplastik.....	9
2.1.7 Dampak Mikroplastik.....	10
2.1.8 Distribusi Mikroplastik	11
2.1.9 Sampling Mikroplastik Menggunakan <i>Plankton net</i>	12
2.2 Arus.....	13
2.2.1 Pengertian Arus	13
2.2.2 Macam-Macam Arus.....	13
2.2.3 Faktor Pembangkit Arus	14
2.2.4 Pasang Surut (<i>Tide Model Driver</i>).....	15
2.2.5 Musim	16
2.2.6 Data Model OSCAR.....	17
BAB III. METODE PENELITIAN.....	19
3.1 Waktu dan Lokasi Penelitian	19



3.2 Alat dan Bahan Penelitian	20
3.3 Prosedur Pengumpulan Data	21
3.3.1 Pengukuran Data Arus.....	21
3.3.2 Sampling Air Laut Menggunakan <i>Plankton net</i>	26
3.4 Analisis Laboratorium	28
3.4.1 Penyaringan sampel (<i>Wet Sieving</i>)	29
3.4.2 <i>Wet Peroxide Oxidation (WPO)</i>	29
3.4.3 <i>Density Separator</i>	30
3.4.4 Identifikasi Mikroplastik	30
3.5 Pengolahan Data Arus	31
3.6 Pengolahan Data Pasang Surut	31
3.7 Analisis Statistik Kelimpahan Mikroplastik Dengan Arus.....	32
3.8 Alur Penelitian	32
BAB IV. HASIL DAN PEMBAHASAN.....	34
4.1 Kondisi Umum Lokasi Penelitian	34
4.2 Pergerakan Arus dan Pasang Surut	35
4.2.1 Pasang Surut	36
4.2.2 Arus	37
4.3 Kelimpahan Total Mikroplastik di Perairan Sendang Biru	46
4.3.1 Jenis dan Kelimpahan Mikroplastik di Perairan Sendang Biru.....	48
4.3.2 Klasifikasi Warna Mikroplastik di Perairan Sendang Biru	51
4.3.3 Klasifikasi Ukuran Mikroplastik di Perairan Sendang Biru	53
4.3.4 Kelimpahan Mikroplastik pada setiap lokasi stasiun.....	54
4.4 Hubungan Distribusi Kelimpahan Mikroplastik dengan Arus.....	57
BAB V. KESIMPULAN DAN SARAN.....	60
5.1 Kesimpulan	60
5.2 Saran	60
DAFTAR PUSTAKA.....	61
LAMPIRAN	66

DAFTAR TABEL

Tabel 1. Kategori Mikroplastik.....	5
Tabel 2. Alat Penelitian	20
Tabel 3. Bahan Penelitian.....	21
Tabel 4. Titik dan Deskripsi Lokasi Sampling Arus.....	24
Tabel 5. Titik dan Deskripsi Lokasi Sampling Mikroplastik	28
Tabel 6. Jumlah Partikel Mikroplastik.....	46
Tabel 7. Total Kelimpahan Mikroplastik	47
Tabel 8. Klasifikasi Warna Mikroplastik.....	51
Tabel 9. Klasifikasi Ukuran Mikroplastik.....	53
Tabel 10. Kelimpahan Mikroplastik Pada Setiap Lokasi Stasiun	54



DAFTAR GAMBAR

Gambar 1. Kategori Mikroplastik: a) <i>Fragment</i> , b) <i>Film</i> , c) <i>Pellet</i> , d) <i>Fiber</i> , e) <i>Granules</i> , dan f) <i>Foams</i>	6
Gambar 2. Peta Lokasi Penelitian.....	19
Gambar 3. Peta Lokasi Sampling Arus	23
Gambar 4. Peta Lokasi Sampling Mikroplastik	27
Gambar 5. Tahap Identifikasi Mikroplastik	29
Gambar 6. Alur Penelitian.....	33
Gambar 7. Grafik Pasang Surut Bulan Oktober 2018	36
Gambar 8. Grafik Pasang Surut Pengambilan Sampel	37
Gambar 9. Kecepatan Arus Ketika Pasang.....	38
Gambar 10. Pola Pergerakan Arus Pasang	39
Gambar 11. Kecepatan Arus Ketika Surut	40
Gambar 12. Pola Pergerakan Arus Surut.....	41
Gambar 13. Pola Pergerakan Arus Musim Barat	43
Gambar 14. Pola Pergerakan Arus Musim Peralihan I.....	43
Gambar 15. Pola Pergerakan Arus Musim Timur.....	44
Gambar 16. Pola Pergerakan Arus Musim Peralihan II.....	44
Gambar 17. Jenis Mikroplastik a) <i>Fragment</i> , b) <i>Fiber</i> , dan c) <i>Film</i>	49
Gambar 18. Kelimpahan Jenis Mikroplastik Pada Setiap Stasiun	49
Gambar 19. Pola Pergerakan Arus Terhadap Sumber Mikroplastik	56
Gambar 20. Grafik Hubungan Kelimpahan Mikroplastik dengan Arus.....	57

DAFTAR LAMPIRAN

Lampiran 1. Dokumentasi Pengambilan Data Lapang	66
Lampiran 2. Dokumentasi saat di Laboratorium	67
Lampiran 3. Dokumentasi Jenis Mikroplastik Menggunakan Mikroskop	68
Lampiran 4. Hasil Uji Regresi Linear	69



BAB I. PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Plastik merupakan suatu bahan polimer sintetis yang berasal dari hasil ekstrak minyak dan gas yang terbuat melalui proses polimerisasi dimana penggunaan plastik tidak pernah dapat lepas dari kehidupan sehari-hari. Plastik memiliki sifat yang sulit untuk terdegradasi di lingkungan sehingga plastik merupakan salah satu penyumbang limbah terbesar yang menimbulkan kerusakan pada ekosistem (Asia dan Arifin, 2017). Mengingat bahwa sifat plastik akan terurai di tanah dalam waktu lebih dari 20 tahun bahkan dapat mencapai 100 tahun sehingga dapat menurunkan kesuburan tanah dan di perairan plastik akan lebih sulit terurai. Permasalahan sampah plastik di Indonesia merupakan salah satu masalah yang belum terselesaikan sampai saat ini. Sementara itu, dengan bertambahnya jumlah penduduk maka akan bertambah pula jumlah volume sampah plastik yang dihasilkan dari aktifitas manusia (Purwaningrum, 2016).

Selama 75 tahun terakhir, produksi plastik dunia telah meningkat secara dramatis dari 1,5 juta ton menjadi 322 juta ton per tahun secara global sehingga diperkirakan 4 -12 juta ton plastik diperkirakan telah memasuki lingkungan laut (Coppock *et al.*, 2017). Indonesia menghasilkan sampah plastik di perairan mencapai 187,2 juta ton yang merupakan penghasil sampah plastik kedua terbesar setelah Cina (Jambeck *et al.*, 2015). Sampah plastik yang mencemari garis pantai, perairan dangkal serta lautan lepas dapat berbentuk potongan sampah makroplastik maupun mikroplastik di perairan (Cole *et al.*, 2011).

Mikroplastik yaitu partikel plastik berukuran 0,3 mm sampai dengan 5 mm. Mikroplastik merupakan polutan laut yang tersebar luas, terakumulasi dalam sedimen bentik dan garis pantai di seluruh dunia (Duis dan Coors, 2016). Mikroplastik berasal dari pecahan pelapukan puing-puing makroplastik dan meso.

Mikroplastik dapat menjadi bahan yang toksik apabila masuk ke dalam tubuh biota laut (Andrady, 2011). Apabila sampah mikroplastik masuk ke dalam tubuh manusia melalui proses rantai makanan dengan makan ikan yang berasal dari laut, maka kesehatan tubuh manusia terutama pada anak-anak dan ibu hamil akan terganggu dan tidak sehat (Halden, 2010). Mikroplastik mampu tersebar luas melalui arus dan angin sebagai faktor fisika utama transportasi keberadaan mikroplastik di perairan (Chae *et al.*, 2015).

Arus merupakan adanya suatu gerakan massa air yang mengalir ditimbulkan oleh adanya tiupan angin, densitas yang berbeda serta pergerakan gelombang panjang (Daruwedho *et al.*, 2016). Arus mampu bergerak secara horizontal serta vertikal dari satu tempat menuju ke tempat lainnya agar mencapai kesetimbangan dan berlangsung secara terus-menerus (Marpaung dan Prayogo, 2014). Perairan Sendang Biru yang termasuk ke dalam Selat Sempu masih terpengaruh oleh Angin Musim yaitu Musim Barat, Musim Peralihan I, Musim Timur dan Musim Peralihan II. Dimana Kondisi musim ini mampu mempengaruhi pola pergerakan arus permukaan (Luthfi dan Jauhari, 2013). Selain arus, adanya kegiatan sosial ekonomi di sekitar Sendang Biru seperti Tempat Pelelangan Ikan (TPI), pelabuhan dan pariwisata menjadi salah satu faktor keberadaan mikroplastik di perairan (Handartoputra *et al.*, 2015).

Berdasarkan Latar belakang yang sudah dijelaskan maka perlu adanya dilakukan penelitian tentang Studi Distribusi Mikroplastik Akibat Pengaruh Pergerakan Arus di Permukaan Perairan Sendang Biru, Malang Pada Musim Peralihan II Tahun 2018 untuk mengetahui kelimpahan mikroplastik dengan melakukan sampling mikroplastik menggunakan *plankton net*. Kemudian untuk mengetahui pengaruh dari arus terhadap kelimpahan mikroplastik dengan menggunakan alat sampling *current meter* untuk mengetahui kecepatan dan arah arus tersebut.

1.2 Rumusan Masalah

Rumusan masalah pada penelitian ini, antara lain:

1. Bagaimana pola pergerakan arus di Perairan Sendang Biru, Malang?
2. Bagaimana jenis dan kelimpahan mikroplastik di Perairan Sendang Biru, Malang?
3. Bagaimana hubungan antara distribusi kelimpahan mikroplastik dengan pergerakan arus di Perairan Sendang Biru, Malang?

1.3 Tujuan Penelitian

Tujuan dari penelitian ini, yaitu:

1. Mengetahui pola pergerakan arus di Perairan Sendang Biru, Malang.
2. Mengetahui jenis dan kelimpahan mikroplastik di Perairan Sendang Biru, Malang.
3. Mengetahui hubungan antara distribusi kelimpahan mikroplastik dengan pergerakan arus di Perairan Sendang Biru, Malang.

1.4 Manfaat Penelitian

Adapun manfaat dari penelitian ini, antara lain:

1. Bermanfaat untuk sumber referensi penelitian dan pengembangan ilmu mengenai arus dan mikroplastik.
2. Mengetahui metode sampling dan analisis mikroplastik
3. Mahasiswa dan masyarakat dapat menambah wawasan mengenai apa saja jenis dan dampak dari mikroplastik.

BAB II. TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Mikroplastik

2.1.1 Pengertian Mikroplastik

Mikroplastik yaitu partikel plastik berukuran mulai dari 0,3 mm sampai dengan 5 mm (Duis dan Coors, 2016). Mikroplastik merupakan polutan laut yang tersebar luas, terakumulasi dalam sedimen bentik dan garis pantai di seluruh dunia. Puing-puing mikroplastik tersebar di laut dalam dan laut terbuka. Telah didokumentasikan bahwa Mikroplastik dapat ditelan pada hewan di seluruh rantai makanan laut, termasuk zooplankton, ikan, mamalia laut, kura-kura dan burung laut. Asupan mikroplastik ini akan dapat berdampak negatif terhadap asupan makanan, mengurangi jumlah energi yang tersedia untuk pertumbuhan dan keberhasilan reproduksi (Coppock *et al.*, 2017).

Partikel plastik kurang dari 5 mm didefinisikan sebagai mikroplastik. Produk-produk plastik ringan, tangguh, tidak mahal, tahan korosi dan mudah digunakan, dan digunakan secara luas di semua industri dan dalam kehidupan sehari-hari. Namun, produk plastik yang ada dimana-mana ini telah menyebabkan banyak masalah lingkungan, termasuk dampak serius pada ekologi laut. Reruntuhan plastik memasuki lautan dalam banyak cara dan terakumulasi secara terus menerus di lingkungan laut. Persistensi mikroplastik dan sudah tersebar dimana-mana dalam lingkungan air adalah perhatian khusus karena polutan ini merupakan ancaman yang meningkat terhadap organisme laut dan ekosistem (Zhang *et al.*, 2017).

2.1.2 Jenis dan Bentuk Mikroplastik

Kriteria untuk mengetahui atau mendeskripsikan jenis maupun bentuk mikroplastik yang ditemukan pada perairan berdasarkan penelitian yang sudah dilakukan Hidalgo-Ruz *et al.* (2012), yang terdapat pada Tabel 1.

Tabel 1. Kategori Mikroplastik (Hidalgo-Ruz *et al.*, 2012)

Sumber	<i>Fragment</i> produk konsumen (misalnya jaring ikan) dan <i>pellet</i> mentah industri
Tipe	<i>Fragment</i> , <i>pellet</i> , <i>filamen (fiber)</i> , <i>film</i> , butiran dan <i>styrofoam</i> .
Bentuk	- <i>Pellet</i> : bulat telur, silinder, cakram, datar, spheruloid - <i>Fragment</i> : subround, bulat, subangular, sudut - Umum : memanjang, ireguler, terdegradasi, kasar dan tepi yang rusak
<i>Erosion</i>	Perubahan segar, tidak lapuk, baru diganti, dan tingkat krasing, lapuk, fakturlinier, permukaan tidak beraturan, <i>fragment</i> bergerigi, bukit subparalel dan terdegradasi
Warna	Putih, transparan, kristal, krem, merah, oranye, hitam, biru, buram, abu-abu, coklat, hijau, kuning, pink, dan pigmentasi.

Partikel mikroplastik dikategorikan ke dalam 6 kategori yang berdasarkan penelitian dari Viršek *et al.* (2016), yang ditampilkan pada Gambar 1, yaitu:

1. *Fragment*. Berbentuk kaku, tebal, dengan ujung-ujungnya bengkok tajam dan bentuknya tidak beraturan. *Fragment* bisa dalam berbagai warna berbeda.
2. *Film*. Muncul dalam bentuk yang tidak teratur, tipis dan fleksibel dan biasanya transparan.
3. *Pellet*. Berasal dari industri plastik. Bentuknya tidak beraturan, bulat, dan biasanya berukuran lebih besar, berdiameter sekitar 5 mm. *Pellet* biasanya rata di satu sisi dan bisa dari berbagai warna.
4. *Filamen / fiber*. Jenis partikel mikroplastik yang paling melimpah. *Fiber* bisa pendek atau panjang, dengan ketebalan dan warna yang berbeda.
5. *Granules*. Dibandingkan dengan *pellet*, memiliki bentuk bulat yang teratur dan biasanya berukuran lebih kecil, sekitar 1 mm. *Granules* muncul dalam warna alami (putih, krem, coklat).
6. *Foams/busa*. Berasal dari partikel besar *styrofoam*. *Foams* lembut, bentuknya tidak beraturan dan berwarna putih hingga kuning.



Gambar 1. Kategori Mikroplastik: a) *Fragment*, b) *Film*, c) *Pellet*, d) *Fiber*, e) *Granules*, dan f) *Foams* (Viršek et al., 2016)

2.1.3 Kelimpahan Mikroplastik

Kelimpahan mikroplastik dihitung dengan membagi jumlah partikel terhadap volume air yang tersaring (partikel m^{-3}). Ukuran yang kecil dan memiliki kelimpahan yang tinggi menyebabkan mikroplastik dapat ditemukan menyebar luas di wilayah perairan manapun. Lokasi dengan penduduk yang tinggi dapat mempengaruhi kelimpahan mikroplastik menjadi lebih tinggi. Pasang surut mampu mempengaruhi nilai kelimpahan mikroplastik yang berperan dalam penempatan

posisi partikel di perairan. Faktor lain yang mampu mempengaruhi kelimpahan mikroplastik di perairan yaitu kecepatan arus, topografi bawah laut, kedalaman dan variabilitas musiman arus air. Kelimpahan mikroplastik dapat meningkat jika semakin banyak sampah plastik memasuki kawasan perairan (Manalu, 2017).

Kelimpahan Mikroplastik pada perairan menggunakan satuan partikel m^{-3} , sedangkan kelimpahan mikroplastik pada sedimen partikel kg^{-1} . (Nor dan Obbard, 2014). Mayoritas mikroplastik yang terdeteksi di dekat pantai dan lepas pantai berasal dari cat kapal, dan memiliki hubungan yang kuat antara kelimpahan dan distribusi ukuran partikel mikroplastik. Kelimpahan mikroplastik di perairan menjadi lebih tinggi disebabkan proses degradasi mikroplastik di kolom perairan memang membutuhkan waktu yang sangat lama sehingga mikroplastik tersebut terakumulasi di kolom perairan (Ballent *et al.*, 2012).

2.1.4 Warna Mikroplastik

Berdasarkan penelitian yang dilakukan di Kupang dan Rote, warna mikroplastik paling sering ditemukan yaitu didominasi oleh warna hitam. Warna hitam dapat mengindikasikan banyaknya kontaminan yang terserap dalam mikroplastik. Mikroplastik berwarna hitam pula memiliki kemampuan menyerap polutan yang tinggi, juga berpengaruh terhadap tekstur dari mikroplastik. Kebanyakan mikroplastik ditemukan dengan warna pekat yang diduga sebagai identifikasi awal dari bahan polimer *polyethylene* yang memiliki massa jenis rendah banyak terakumulasi di permukaan perairan. *Polyethylene* merupakan bahan utama penyusun sampah kantong dan wadah plastik (GESAMP 2016). Secara umum, warna mikroplastik yang masih pekat berarti mikroplastik tersebut belum mengalami perubahan warna (*discolouring*). Mikroplastik berwarna transparan menjadi identifikasi awal dari jenis polimer *polypropylene* (PP). Warna transparan

mengindikasikan lamanya mikroplastik tersebut telah mengalami fotodegradasi oleh sinar UV (Hiwari *et al.*, 2019).

Warna-warna mikroplastik dikarakteristikan dalam 24 dari 68 studi yang ditinjau, mengungkapkan beragam warna (Tabel 1). Warna yang paling umum ditemukan adalah putih atau terkait (misalnya, Kuning pucat, krim jernih). Warna dapat memfasilitasi pemisahan dalam situasi di mana plastik mikro tersebar di antara sejumlah besar puing-puing lainnya. Partikel dengan warna *eye-catching* memiliki kemungkinan tinggi untuk diisolasi untuk identifikasi selanjutnya sebagai plastik mikro, sedangkan partikel dengan warna kusam mudah diabaikan, sehingga berpotensi menimbulkan bias. Warna telah digunakan untuk identifikasi awal komposisi kimia *pellet* yang paling umum. *Pellet* plastik bening dan transparan telah dianggap berasal dari *polypropylene* (PP), dan *pellet* plastik putih untuk *polyethylene* (PE), tetapi untuk identifikasi konklusif diperlukan analisis lebih lanjut. Warna juga telah digunakan sebagai indeks fotodegradasi dan waktu tinggal di permukaan laut dan tingkat pelapukan (Hidalgo-Ruz *et al.*, 2012).

2.1.5 Ukuran Mikroplastik

Tingkat pencemaran laut akibat sampah plastik di setiap kawasan pasti berbeda-beda, termasuk pencemaran mikroplastik yang berasal dari plastik yang terurai di lautan hingga berukuran mikron (300 – 5000 μm). Ukuran mikroplastik yang sangat kecil dan jumlahnya yang banyak di lautan membuat sifatnya menjadi *ubiquitous* dan *bioavailability* bagi organisme. Plastik berukuran besar terbentuk dari lelehan dan pembentukan preproduksi resin atau serabut serat yang telah dimodifikasi. Plastik berukuran kecil contohnya seperti *microbeads* berupa butiran-butiran halus yang digunakan pada produk scrub, kosmetik, gel rambut. Mikroplastik secara luas digolongkan menurut karakter morfologi yaitu bentuk,

ukuran, dan warna. Ukuran menjadi faktor yang berkaitan dengan efek jangkauan yang terkena pada organisme laut (Widianarko dan Hantoro, 2018).

Berdasarkan penelitian yang telah dilakukan Hiwari *et al.* (2019), Empat kelas ukuran plastik yang teridentifikasi adalah nanoplastik, mikroplastik, mesoplastik dan makroplastik yang berasal dari kegiatan nelayan menggunakan jaring dan sampah plastik akibat aktifitas antropogenik lainnya. Ukuran yang teridentifikasi adalah mikroplastik berukuran rentang ukuran 5 - 231 μm . Hal ini mengindikasikan mikroplastik yang ditemukan telah mengalami proses degradasi yang cukup lama di perairan. Bentuk dan ukurannya yang tipis juga menyebabkan jenis *fiber* sering ditemukan mengapung di permukaan perairan. Mikroplastik dikelompokkan menjadi 10 kelompok yaitu: <20 μm , 20-40 μm , 40-60 μm , 60-80 μm , 80-100 μm , 100-500 μm , 500-1000 μm , 1000-2000 μm , 1000-2000 μm , 2000-5000 μm dan >5000 μm (Nor dan Obbard, 2014).

2.1.6 Sumber-Sumber Mikroplastik

Mikroplastik terbagi menjadi dua sumber, yaitu primer (industri atau produksi) dan sekunder (konsumsi). Mikroplastik primer merupakan butiran plastik murni yang mencapai wilayah laut akibat kelalaian dari industri plastik dalam penanganan limbah yang buruk. Mikroplastik sekunder merupakan mikroplastik yang berasal akibat fragmentasi makroplastik, dapat menyerap dan berkonsentrasi polutan dari air laut sekitarnya. Kelimpahan jenis *pellet* plastik serupa dengan produksi plastik. Berarti bahwa mayoritas *pellet* plastik terdampar terbuat dari *polyethylene*. Mikroplastik densitas rendah yang juga mengapung paling melimpah di permukaan laut, dan berakhir di pantai. Mikroplastik densitas tinggi telah ditemukan dan diidentifikasi dalam sedimen (Karapanagioti, 2015).

Mikroplastik sumber primer merupakan kandungan plastik dalam produk-produk bubuk resin, kecantikan, pelet untuk pakan hewan. Mikroplastik yang masuk ke wilayah perairan melalui aliran sungai dari limbah padat penduduk,

umumnya mencakup *polyethylene*, *polypropylene*, dan *Polystyrene* (Gregory, 1996). Mikroplastik Sumber sekunder merupakan serat atau potongan dari plastik yang lebih besar diduga terjadi sebelum mikroplastik memasuki lingkungan. Sumber sekunder ini dapat berasal dari jaring ikan, bahan baku industri, peralatan rumah tangga atau akibat pelapukan produk plastik, kantong plastik yang terdegradasi dan serat-serat sintetis hasil dari pencucian pakaian sehari-hari (Browne *et al.*, 2011).

2.1.7 Dampak Mikroplastik

Dampak sampah plastik yang lebih kecil, seperti tutup botol, korek api, dan pelet plastik, dapat tertelan oleh organisme perairan dan menyebabkan penyumbatan usus serta potensi keracunan bahan kimia. Organisme di bidang kelautan, menunjukkan bahwa ada banyak sekali hewan yang menelan mikroplastik. Sementara itu, mikroplastik dapat dicerna bahkan oleh organisme terkecil di habitat tersebut dan menimbulkan masalah yang lebih serius yang belum dapat diketahui secara pasti. Mikroplastik yang tertelan oleh invertebrata air tawar bentik bisa berdampak pada *sediment bioturbation*, atau karena biota bentik membentuk komponen besar dampak mikroplastik di organisme bentik dapat juga mempengaruhi tingkat tropik yang lebih tinggi (Victoria, 2017).

Mikroplastik dapat memiliki efek racun, termasuk mengurangi cadangan energi, perubahan perilaku makan, gerakan, pertumbuhan dan keberhasilan pembibitan. Selain itu, mikro kecil dapat melintasi membran sel ke dalam sel dan jaringan dan dapat menyebabkan toksisitas partikel (contoh: Memancing respon imun dengan peradangan dan kerusakan sel terkait). Mikroplastik dapat berdampak pada organisme di banyak tingkat organisasi biologis. Namun, sebagian besar bukti adalah untuk efek sub-organisme (misalnya perubahan dalam ekspresi gen, peradangan) atau efek pada organisme individu (yaitu kematian). Mikroplastik dapat menimbulkan bahaya fisik, tetapi juga bisa menjadi

sumber bahan kimia berbahaya bagi organisme. Bahan kimia yang terkait dengan mikroplastik dapat berkonsentrasi pada jaringan (GESAMP, 2016).

2.1.8 Distribusi Mikroplastik

Mayoritas mikroplastik yang terdeteksi di dekat pantai dan lepas pantai berasal dari cat kapal, dan memiliki hubungan yang kuat antara kelimpahan dan distribusi ukuran partikel mikroplastik. Redistribusi oleh arus pasang surut dapat dianggap sebagai kekuatan pendorong lain untuk distribusi spasial mikroplastik. Mikroplastik di SML (*Surface Microlayer*) lebih sering terkena fisik (angin dan arus), biologis (aktifitas mikroorganisme), dan kimia (foto-oksidasi atau reaksi hidroksi-radikal) kekuatan pelapukan, yang dapat mempercepat fragmentasi mikroplastik (Chae *et al.*, 2015). Dorongan eksternal yang menyebabkan pemencaran berinteraksi dengan sifat-sifat partikel itu sendiri seperti densitas, bentuk, dan ukuran, serta properti lingkungan lainnya seperti densitas air laut, topografi dasar laut, dan tekanan. Densitas partikel seringkali muncul sebagai faktor yang mempengaruhi transportasi dan pemencaran dalam studi kelautan. Densitas yang lebih rendah hingga lebih tinggi dari air, mikroplastik dapat didistribusikan melalui kolom air. Akumulasi sediment juga mempengaruhi distribusi mikroplastik (Ballent *et al.*, 2012).

Apabila kehadiran mikroplastik dihubungkan dengan pengolahan limbah maka Konsentrasinya juga mungkin bervariasi tergantung kedekatan fasilitas pengolahan air limbah dengan wilayah tersebut. Masih belum diketahui secara menyeluruh mengenai proses distribusi mikroplastik di wilayah laut. Namun, intinya adalah adanya dorongan eksternal yang menyebabkan pergerakan mikroplastik. Pendekatan kuantitatif dan pemodelan menunjukkan peran dorongan fisik yang mempengaruhi transportasi dan pemencaran partikel dalam rentang skala spasial. Sebuah pengamatan menunjukkan dorongan berskala besar seperti

angin mendorong arus permukaan dan sirkulasi geostropik mendorong pola pemencaran partikel (Law *et al.*, 2010).

2.1.9 Sampling Mikroplastik Menggunakan *Plankton net*

Standar metode dan alat untuk sampling mikroplastik belum ditentukan, para ahli menggunakan beragam cara untuk melakukan sampling. Pengambilan sampling yang dilakukan oleh peneliti yaitu dengan cara alat sampling ditarik menggunakan kapal atau dibiarkan mengapung dengan waktu yang ditentukan pada perairan untuk mendapatkan partikel mikroplastik. Pada Penelitian ini fokus alat sampling mikroplastik yang akan dibahas adalah *plankton net*.

Sampling dengan *plankton net* mengumpulkan potongan plastik yang mengapung lebih dari 60% dari 6136 permukaan, biasanya berukuran millimeter. Puing-puing plastik yang terkumpul di sepanjang jalur pelayaran yang diulang setiap tahun dari tahun 1986 hingga 2008 di bagian barat Atlantik Utara dan Laut Karibia. Ada banyak cara yang dilakukan peneliti untuk melakukan sampling mikroplastik menggunakan *plankton net* mulai dari ditenggelamkan atau dibiarkan mengapung, ditarik kapal. Belum ada standar baku mutu untuk menyatakan cara sampling mikroplastik di perairan (Law *et al.*, 2010).

Pengambilan sampel mikroplastik di permukaan Perairan Hongkong dengan menggunakan *plankton net* dengan cara ditarik menggunakan kapal yang bergerak dengan kecepatan 3 sampai 5 knot selama 30 menit untuk mengetahui volume air yang dapat tersaring. Sementara itu, penelitian di Pasifik Utara pada tahun 2014 telah melakukan sampling mikroplastik menggunakan *plankton net* dengan cara dibiarkan mengapung untuk mendapatkan hasil kelimpahan dari mikroplastik pada beberapa stasiun di Perairan Pasifik Utara (Tsang *et al.*, 2017).

2.2 Arus

2.2.1 Pengertian Arus

Arus merupakan salah satu faktor yang menyebabkan masuknya sampah ke dalam perairan. Arus di permukaan air laut pada umumnya digerakan oleh angin yang bekerja pada permukaan laut. Angin tersebut cenderung akan mendorong lapisan air di permukaan laut dalam arah gerakan angin, akan tetapi dikarenakan pengaruh rotasi bumi atau pengaruh gaya *coriolis*, pergerakan arus tidak searah dengan arah angin bertiup, tetapi dibelokan kearah kanan dari arah angin di belahan bumi utara dan arah kiri di belahan bumi selatan. Angin yang bertiup dari belahan bumi utara akan menggerakkan arus yang bergerak kearah timur laut. Pola pergerakan arus pada umumnya terbagi menjadi aliran laminar dan turbulen (Hutabarat, 2001).

Arus adalah perpindahan massa air yang disebabkan oleh beberapa faktor, yaitu perbedaan massa jenis air, perbedaan tekanan, gaya-gaya pembangkit lain seperti gelombang panjang dan angin. Pola dan karakteristik arus yang meliputi jenis arus dominan, kecepatan dan arah serta pola pergerakan arus laut menyebabkan kondisi suatu perairan menjadi dinamis. Pergerakan arus membawa material-material serta sifat sifat yang terdapat dalam badan air. Hal ini menyebabkan arus memiliki peranan penting dalam menentukan kondisi suatu perairan (Hadi, 2006).

2.2.2 Macam-Macam Arus

Sirkulasi dari arus laut terbagi atas dua kategori yaitu sirkulasi di permukaan laut (*Surface Circulation*) dan sirkulasi di dalam laut (*Intermediate or Deep Circulation*). Arus pada sirkulasi di permukaan laut didominasi oleh yang di timbulkan oleh angin sedangkan sirkulasi di dalam laut didominasi oleh arus termohalin. Arus termohalin timbul akibat adanya perbedaan densitas karena berubahnya suhu dan salinitas massa air laut. Arus permukaan laut umumnya

digerakan oleh stres angin yang bekerja pada permukaan laut. Angin cenderung mendorong lapisan air di permukaan laut dalam arah gerakan angin. Tetapi karena pengaruh rotasi bumi atau pengaruh gaya *coriolis*, arus tidak bergerak searah dengan arah angin tetapi dibelokkan ke arah kanan dari arah angin di belahan bumi utara dan arah kiri di belahan bumi selatan. Jadi angin dari selatan (di belahan bumi utara) akan membangkitkan arus yang bergerak ke arah timur laut. Arus yang dibangkitkan angin ini kecepatannya berkurang dengan bertambahnya kedalaman dan arahnya (Aziz, 2006).

Pergerakan sirkulasi arus laut dapat dibedakan menjadi dua kategori yaitu arus permukaan laut (*Surface Circulation*) dan arus bawah atau arus vertikal, dan faktor pembangkit arus permukaan disebabkan oleh angin adanya angin bertiup, arah arus permukaan mengikuti arah angin yang ada, sedangkan arah arus bawah atau arus vertikal dibangkitkan oleh adanya *upwelling*. Arus permukaan di Indonesia pada dasarnya ditentukan oleh perkisaran musim. Hal ini disebabkan oleh dua keadaan yaitu angin musim yang bertiup dengan konstan (*high constancy*) dan letak geografi perairan Indonesia (Hutabarat, 2001).

2.2.3 Faktor Pembangkit Arus

Pergerakan arus ini merupakan hasil dari beberapa proses yang terdiri dari adanya peristiwa angin di atas permukaan laut dan terjadinya perbedaan kerapatan air laut yang disebabkan oleh pemanasan matahari (Lanuru, 2011). Arus dapat pula dihasilkan dari aktifitas pasang surut dan pergerakan ombak di pantai. Berdasarkan proses pembangkitnya, maka kita akan menemukan beberapa jenis arus di pantai dan di laut dalam seperti bawah ini:

- Arus yang ditimbulkan oleh angin (*wind drive currents*)
- Arus susur pantai (*longshore currents*)
- Arus pasang surut (*tidal currents*)

- Arus yang di timbulkan oleh perbedaan kerapatan (*density driven current*)

Macam-macam arus tidak hanya dibagi berdasarkan letaknya yakni permukaan atau ke dalam laut. Arus juga diklasifikasikan berdasarkan faktor pembangkitnya (Pond dan Pickard, 1983). Berikut pembagian arus berdasarkan faktor pembangkitnya, yaitu:

- Arus Angin merupakan arus yang dibangkitkan oleh angin.
- Arus Termohalin merupakan arus yang dibangkitkan oleh densitas akibat perbedaan salinitas dan suhu.
- Arus Pasang Surut merupakan arus yang di bangkitkan oleh gaya tarik menarik antara bumi, bulan, matahari.

Pola arus yang terjadi di perairan selat merupakan arus yang didominasi oleh pasang surut dengan pola pergerakan bolak-balik. Wilayah perairan selat merupakan tempat melintasnya dan berkumpulnya massa air laut. Pada lokasi selat ini memungkinkan massa air laut mengumpul dan bergerak lebih cepat karena semakin menyempitnya ruang gerak dari laut menuju selat. Arus pasut mempunyai sifat bergerak dengan arah saling bertolak belakang (*bi-directional*). Fase pasang surut mempengaruhi arah dan kecepatan arus (Putri *et al.*, 2015).

2.2.4 Pasang Surut (*Tide Model Driver*)

Data pasang surut laut sangat diperlukan dalam penentuan garis pantai dan pelaksanaan survei batimetri. Disini akan dibandingkan pengamatan pasang surut di lapangan dengan suatu prediksi yang dihasilkan dari perangkat lunak *Tide Model Driver* (TMD). Hasil yang diperoleh menunjukkan bahwa untuk wilayah perairan kepulauan, tipe pasut dari data pengamatan lapangan berbeda dengan tipe pasang surut yang diperoleh dari prediksi *Tide Model Driver* (TMD). Sedangkan untuk wilayah perairan terbuka, tipe pasang surut dari data pengamatan lapangan sama dengan tipe pasut yang diperoleh dari prediksi *Tide*

Model Driver (TMD). Secara global, *software* ini menggunakan konstanta pasang surut yang telah di *generate* secara *global* dari berbagai sumber (Ramdhan, 2011).

Pasang surut di klasifikasikan dalam 4 tipe, yaitu pasang surut harian tunggal (*Diurnal Tides*), pasang surut harian ganda (*Semidiurnal Tide*), pasang surut campuran condong harian ganda (*Mixed Predominantly Semidiurnal Tides*), pasang surut campuran condong harian tunggal (*Mixed Predominantly Diurnal Tides*). Pasang surut harian tunggal terjadi satu kali pasang dan surut dalam sehari, sedangkan pasang surut harian ganda terjadi 2 kali pasang dan surut dalam sehari. Pasang surut campuran harian umumnya terjadi 2 kali bahkan sekali dalam sehari tergantung dominannya (Aziz, 2006).

Pasut laut adalah suatu fenomena naik dan turunnya permukaan air laut secara periodik yang diakibatkan oleh pengaruh gravitasi benda-benda langit terutama bulan dan matahari. Pengaruh gravitasi benda-benda langit terhadap bumi tidak hanya menyebabkan pasut laut, tetapi juga mengakibatkan perubahan bentuk bumi dan atmosfer. Arus pasut mempunyai sifat bergerak dengan arah *bi-directional* atau saling bertolak belakang. Arah arus ketika air pasang biasanya akan bertolak belakang dengan arah arus saat air surut. Kecepatan arus pasut minimum terjadi saat air rendah atau air tinggi (*slack waters*). Kecepatan arus pasut maksimum terjadi saat diantara air tinggi dan air rendah maka periode kecepatan arus pasut akan mengikuti periode pasut yang membangkitkannya. Arus ini memiliki arah yang bolak balik dimana pada saat surut gerakan arus ini (*ebb current*) menjauhi pantai menuju laut sedangkan pada saat pasang gerakan air menuju ke pantai (*flood current*) (Lanuru, 2011).

2.2.5 Musim

Indonesia pada umumnya arus permukaan di pengaruhi oleh angin muson (Wyrcki, 1961). Angin muson ini bergerak dengan arah-arah tertentu sehingga Perairan Indonesia dibagi menjadi empat musim, yaitu:

1. Musim Barat (Bulan Desember, Januari, Februari).
2. Musim Peralihan Satu (Bulan Maret, April, Mei).
3. Musim Timur (Bulan Juni, Juli, Agustus).
4. Musim Peralihan Dua (Bulan September, Oktober, November).

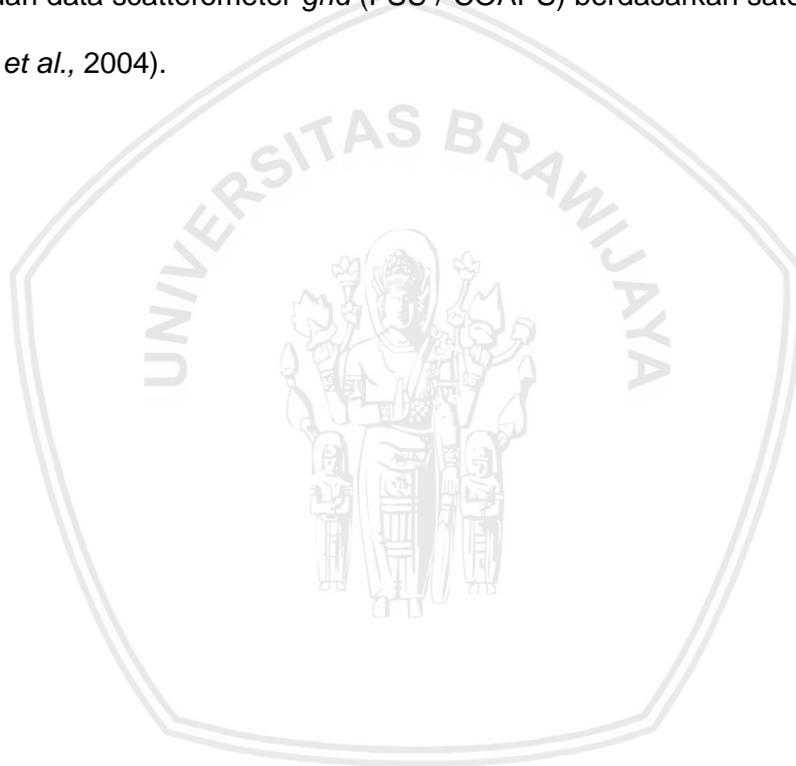
Perairan di Indonesia memiliki karakteristik berbeda pada saat peralihan musim. Perairan Sendang Biru termasuk ke dalam Musim Timur dan Barat serta dua musim Peralihan yakni Musim Peralihan I dan Peralihan II. Musim-musim tersebut sangat dipengaruhi oleh sifat-sifat perairan seperti arus laut yang mengalir dari barat ke timur (Musim Barat). Musim Barat memiliki ciri-ciri kondisi angin kencang, gelombang laut besar, curah hujan tinggi dan kadar garam relatif menurun atau rendah. Sedangkan sebaliknya terjadi arus laut yang mengalir dari timur ke barat (Musim Timur). Musim Timur memiliki ciri-ciri curah hujan rendah, kondisi angin dan gelombang laut relatif tidak besar, dan kadar garam relatif tinggi (Yusuf *et al.*, 2012).

2.2.6 Data Model OSCAR

Ocean Surface Current Analyses Real-time (OSCAR) merupakan sistem akses data yang menyediakan data global permukaan laut bidang kecepatan operasional ke *broadbased* komunitas pengguna melalui data interaktif berbasis web. Data OSCAR otomatis dihitung dari bidang *grid* permukaan topografi dan angin yang berasal dari altimeter satelit dan data angin vektor scatterometer melalui metode yang dikembangkan oleh *Earth & Space Research* (ESR). Data berbasis web sistem akses data interaktif, yang dikembangkan oleh PMEL, dan juga dapat memudahkan pengguna untuk menampilkan dan mengunduh data arus permukaan saat ini (Zhu *et al.*, 2007).

Sistem pengolahan data OSCAR adalah sepenuhnya sistem otomatis komputer yang dikembangkan oleh ESR. Hal ini termasuk mengumpulkan dan memproses serta meng-*up-to date* sumber data, termasuk data tinggi permukaan

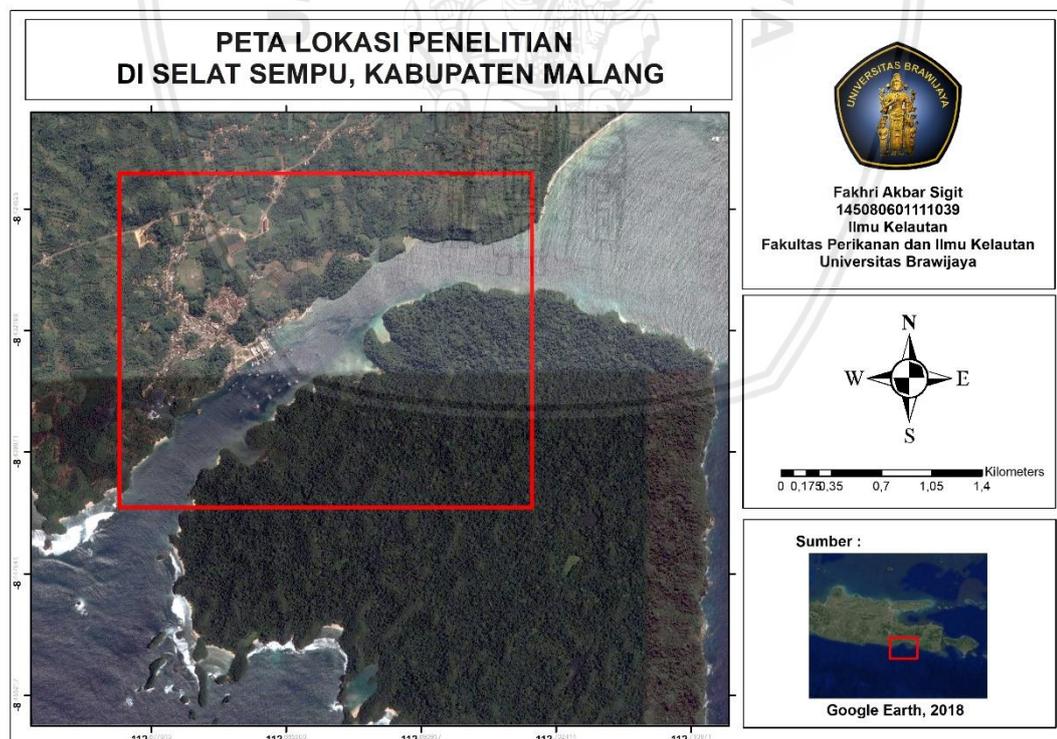
laut (SSH), angin dan suhu permukaan laut (SST), menghitung kecepatan permukaan laut dan menciptakan file kecepatan arus permukaan yang kemudian digunakan oleh server web OSCAR untuk tampilan dan fasilitas-*download*. Arus permukaan OSCAR tersedia pada waktu dasar dengan tepat 72 langkah per tahun (sekitar 5 hari jeda) mulai Oktober 1992. Komponen geostropik berasal dari gabungan produk satelit (AVISO) yang menggabungkan data altimetri dari JASON-1 (siklus lengkap dalam 10 hari), GFO dan ENVISAT. Komponen angin berasal dari data scatterometer *grid* (FSU / COAPS) berdasarkan satelit *Quikscat* (Cheney *et al.*, 2004).



BAB III. METODE PENELITIAN

3.1 Waktu dan Lokasi Penelitian

Penelitian tentang Studi Distribusi Mikroplastik Akibat Pengaruh Pergerakan Arus ini dilakukan di Sendang Biru, Kabupaten Malang, Jawa Timur. Analisis serta identifikasi sampel mikroplastik dilakukan di Laboratorium Sentral Ilmu Hayati, Universitas Brawijaya. Penelitian ini berlangsung pada bulan September – November 2018. Dalam menentukan lokasi sampling, peneliti menggunakan metode *purposive sampling* dengan asumsi titik sampling tersebut sudah mewakili area Selat Sempu. Lokasi sampling mikroplastik lebih besar difokuskan pada situs-situs pengaruh antropogenik, aktifitas wisata yang luas dan pelabuhan (Stolte *et al.*, 2015). Peta Lokasi penelitian pada Gambar 2 sebagai berikut.



Gambar 2. Peta Lokasi Penelitian

3.2 Alat dan Bahan Penelitian

Alat dan bahan yang digunakan dalam penelitian ini merupakan alat yang berhubungan dengan berlangsungnya kegiatan penelitian ini, yaitu pengambilan sampel maupun untuk analisa sampel di Laboratorium. Seluruh alat dan bahan yang dibutuhkan saat penelitian dapat dilihat pada Tabel 2 dan 3 sebagai berikut.

Tabel 2. Alat Penelitian

No	Alat	Fungsi
Alat Lapang		
1	Kamera	Mendokumentasikan kegiatan penelitian
2	<i>Cool box</i>	Untuk menyimpan Sampel
3	<i>Global Positioning System (GPS)</i>	Menentukan titik kordinat lokasi pengamatan
4	<i>Plankton net</i>	Untuk mengambil sampel air
5	Botol <i>polyethylene</i>	Menyimpan sampel air
6	Ember	Membantu mengambil sampel air laut untuk <i>Plankton net</i>
7	<i>Current meter Flowatch FL</i>	Mengukur arus
8	Kompas	Untuk menentukan arah angin
Alat Laboratorium		
9	Saringan <i>stainless</i> ukuran 0.3 mm dan 5 mm	Menyaring sampel
10	<i>Washing Bottle</i>	Wadah aquades
11	<i>Beaker Glass</i>	Wadah sampel
12	Oven	Mengeringkan kadar air dan garam
13	Timbangan Digital	Menimbang sampel
14	Botol <i>Polyethylene</i>	Menyimpan sampel air
15	Mikroskop	Untuk mengamati sampel mikroplastik
16	Pipet Tetes	Mengambil larutan dalam jumlah sedikit
17	Pipet Ukur 10 ml	Mengambil larutan dalam jumlah banyak
18	Gelas Ukur	Mengukur larutan
19	<i>Stir bar</i>	Menghomogenkan sampel
20	<i>Hotplate Stirer</i>	Memanaskan dan menghomogenkan larutan
21	Kaca Arlogi	Penutup beaker glass saat dipanaskan
22	Cawan Petri	Wadah sampel saat identifikasi
23	<i>Object Glass</i>	Wadah sampel saat identifikasi
24	<i>Colony Counter</i>	Mengitung jumlah mikroplastik
25	Jarum Loop	Memilah sampel mikroplastik
26	Statif	Penyangga density separator
27	Corong	Untuk menyaring sampel
Software Pengolahan Data		
28	MS. Word 2013	Pengolahan hasil laporan
29	MS. Excel 2013	Pengolahan data hasil lapang

No	Alat	Fungsi
30	MS. Power Point 2013	Pengolahan tampilan hasil
31	Surfer 10 (32-bit)	Pengolahan data kontur arus horizontal
32	Arcgis 10.3	Pengolahan data peta
33	Google Earth Pro	Pengolahan sumber peta
34	Zotero	Pengolahan data daftar pustaka
35	Minitab 17	Pengolahan data statistik

Tabel 3. Bahan Penelitian

No.	Bahan	Fungsi
1	Sampel Air	Sebagai pengamatan mikroplastik pada perairan
2	H ₂ O ₂	Melarutkan zat organik
3	Fe	Untuk memisahkan sampel dengan logam
4	H ₂ SO ₄	Pembuatan larutan Fe 0.05 M
5	FeSO ₄ ·7H ₂ O	Pembuatan larutan Fe 0.05 M
6	NaCl	Memisahkan densitas sampel
7	Aquades	Mengkalibrasi alat
8	Tissu	Membersihkan alat

3.3 Prosedur Pengumpulan Data

Data yang dapat dikumpulkan merupakan data primer yang diperoleh dengan melakukan observasi langsung di lapangan (*in situ*) dan analisis sampel di laboratorium (*ex situ*). Data primer meliputi sampel air laut yang diambil menggunakan *plankton net* dan *current meter*.

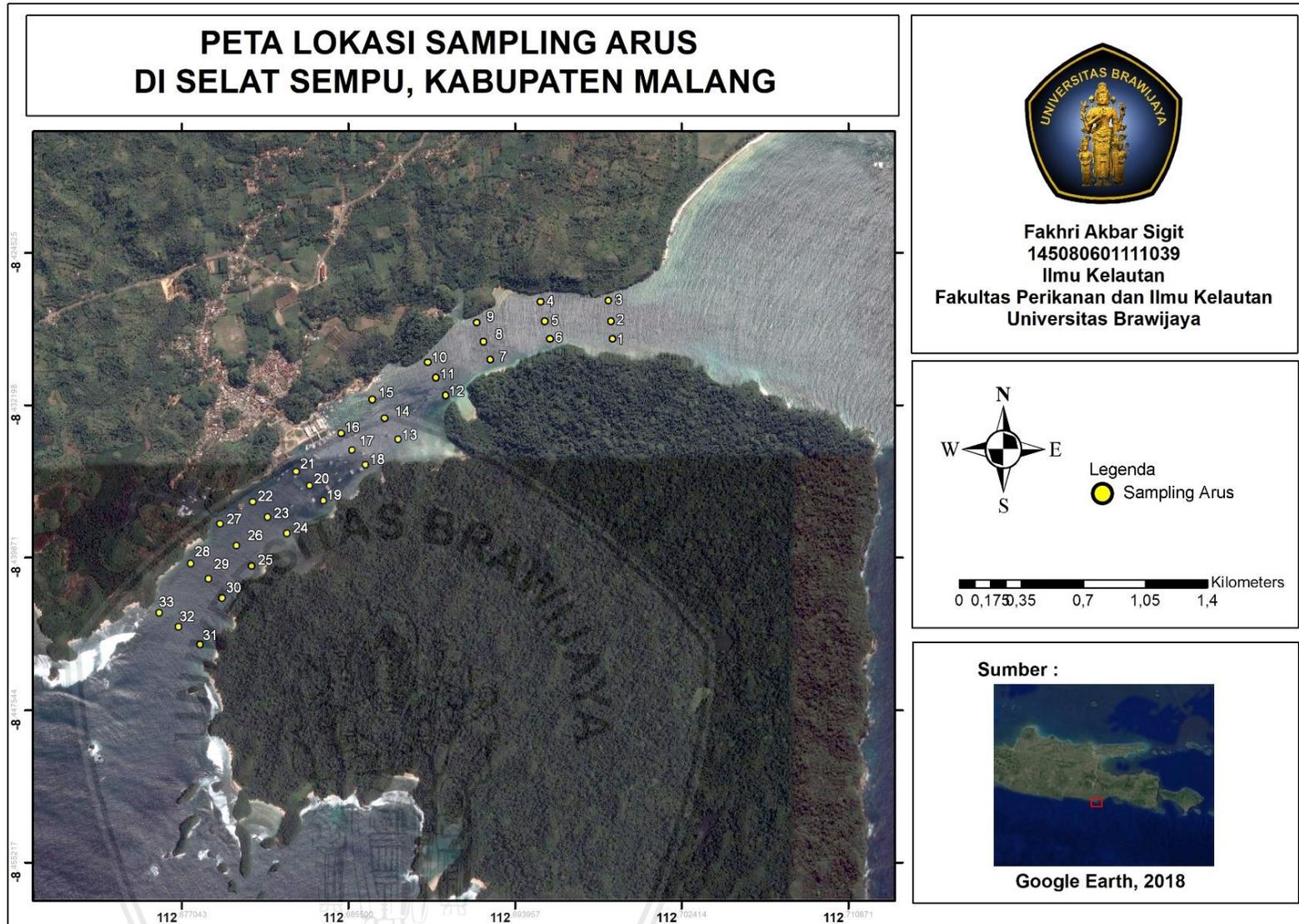
3.3.1 Pengukuran Data Arus

Alat *current meter* biasanya digunakan untuk proses pengukuran kecepatan dan arah arus. Proses pengukuran data arus dibantu dengan kompas agar mengetahui sudut datangnya arah arus dalam derajat (*Degree*). Posisi *current meter* terletak tepat 60 cm dibawah permukaan laut yang kemudian diamati kecepatan yang terdapat pada LCD (Lampiran 1). Data kecepatan dan arah arus kemudian dianalisa menggunakan *software* Surfer untuk mendapatkan hasil pola pergerakan arus (Hidayati *et al.*, 2017).

Data arus didapatkan melalui pengambilan data di lapang (data primer), Pengukuran secara langsung menggunakan alat *current meter* untuk menentukan

kecepatan dan arah arus. Dalam menentukan sudut datangnya arah arus yaitu dengan menggunakan kompas dalam bentuk derajat. Data kecepatan arus dan arah arus dicatat di *log book* dan kemudian dilakukan analisa pada *software* Surfer. Data arus setiap musim dibutuhkan untuk mengetahui pola pergerakan arah arus. Data arus diunduh (data sekunder) dari *Ocean Surface Current Analyses Real-time* (OSCAR) merupakan sistem akses data yang menyediakan data global permukaan laut bidang kecepatan operasional ke *broadbased* komunitas pengguna melalui data interaktif berbasis web (Zhu *et al.*, 2007).

Peneliti menggunakan metode *purposive sampling* dengan asumsi titik sampling tersebut sudah mewakili area perairan Selat Sempu. Wilayah perairan selat merupakan tempat melintasnya dan berkumpulnya massa air laut. Pada lokasi selat ini memungkinkan massa air laut mengumpul dan bergerak lebih cepat karena semakin menyempitnya ruang gerak dari laut menuju selat. Pengambilan sampel dilakukan pada bulan Oktober 2018. Pengambilan data arus permukaan ini terbagi menjadi 33 koordinat stasiun pengamatan di Perairan Sendang Biru, Malang. Penentuan stasiun ini berdasarkan kawasan Perairan Sendang Biru yang merupakan jalur transportasi kapal para nelayan dan perairan selat sempu sehingga titik koordinat berawal dari ujung selat bagian timur sampai ujung selat bagian barat, hal ini bertujuan agar dapat mewakili data yang representatif di perairan tersebut. Instrumentasi yang digunakan untuk mengukur arah arus yaitu kompas dan kecepatan arus yaitu *Current meter Flowatch FL* (Lampiran 1) dengan kedalaman 60 cm. Pada saat pengukuran arus permukaan berlangsung, mesin kapal dalam keadaan mati agar hasil pengukuran arah dan kecepatan arus tidak terpengaruh oleh pergerakan kapal. Pada saat pengambilan data kondisi perairan dalam keadaan cerah dan angin yang berhembus kencang serta banyak kapal yang lalu lalang. Peta lokasi sampling arus dapat dilihat pada Gambar 3.



Gambar 3. Peta Lokasi Sampling Arus

Deskripsi wilayah lokasi sampling arus dijelaskan pada Tabel 4 sebagai berikut ini.

Tabel 4. Titik dan Deskripsi Lokasi Sampling Arus

Lokasi	Koordinat	Deskripsi Wilayah
1	-8.428869° LS 112.698913° BT	Berada dekat pesisir pulau sempu yang dikelilingi mangrove dengan gelombang yang sedang.
2	-8.427973° LS 112.698844° BT	Berada di ujung Selat Sempu dekat pantai tamban dengan gelombang yang sedang.
3	-8.426939° LS 112.698706° BT	Berada dekat pesisir Pantai Tamban dikelilingi mangrove dengan gelombang yang sedang.
4	-8.427008° LS 112.695261° BT	Berada dekat pesisir Pantai Tamban dikelilingi mangrove dengan gelombang yang sedang.
5	-8.427973° LS 112.695468° BT	Berada di tengah perairan Selat Sempu dekat pantai tamban dengan gelombang yang sedang.
6	-8.428869° LS 112.695743° BT	Berada dekat pesisir Pulau Sempu yang dikelilingi mangrove dengan gelombang yang sedang.
7	-8.429902° LS 112.692711° BT	Berada dekat pesisir Pulau Sempu, profil pantai berpasir dengan gelombang yang sedang.
8	-8.429007° LS 112.692367° BT	Berada di tengah perairan Selat Sempu dengan gelombang yang sedang.
9	-8.428042° LS 112.692022° BT	Berada dekat pesisir Pantai Sendang Biru dikelilingi mangrove dengan gelombang yang sedang.
10	-8.430040° LS 112.689542° BT	Berada dekat pesisir Pantai Sendang Biru dikelilingi mangrove dengan gelombang yang sedang.
11	-8.430798° LS 112.689955° BT	Berada di tengah perairan Selat Sempu dengan gelombang yang sedang.
12	-8.431694° LS 112.690437° BT	Berada dekat pesisir Pulau Sempu dengan gelombang yang sedang.
13	-8.433899° LS 112.688026° BT	Berada dekat pesisir Pulau Sempu, profil pantai berpasir dengan gelombang yang sedang.
14	-8.432866° LS 112.687337° BT	Berada di tengah perairan Selat Sempu dengan gelombang yang sedang, terdapat aktifitas kapal.
15	-8.431901° LS 112.686716° BT	Berada dekat pesisir Pantai Sendang Biru, profil pantai berpasir dengan gelombang yang sedang, tempat kapal berlabuh.
16	-8.433624° LS 112.685131° BT	Berada dekat pesisir Pantai Sendang Biru dengan gelombang yang sedang, dipengaruhi oleh Pelabuhan dan Tempat Pelelangan Ikan.
17	-8.434450° LS 112.685683° BT	Berada di tengah perairan Selat Sempu dengan gelombang yang sedang, terdapat aktifitas kapal.

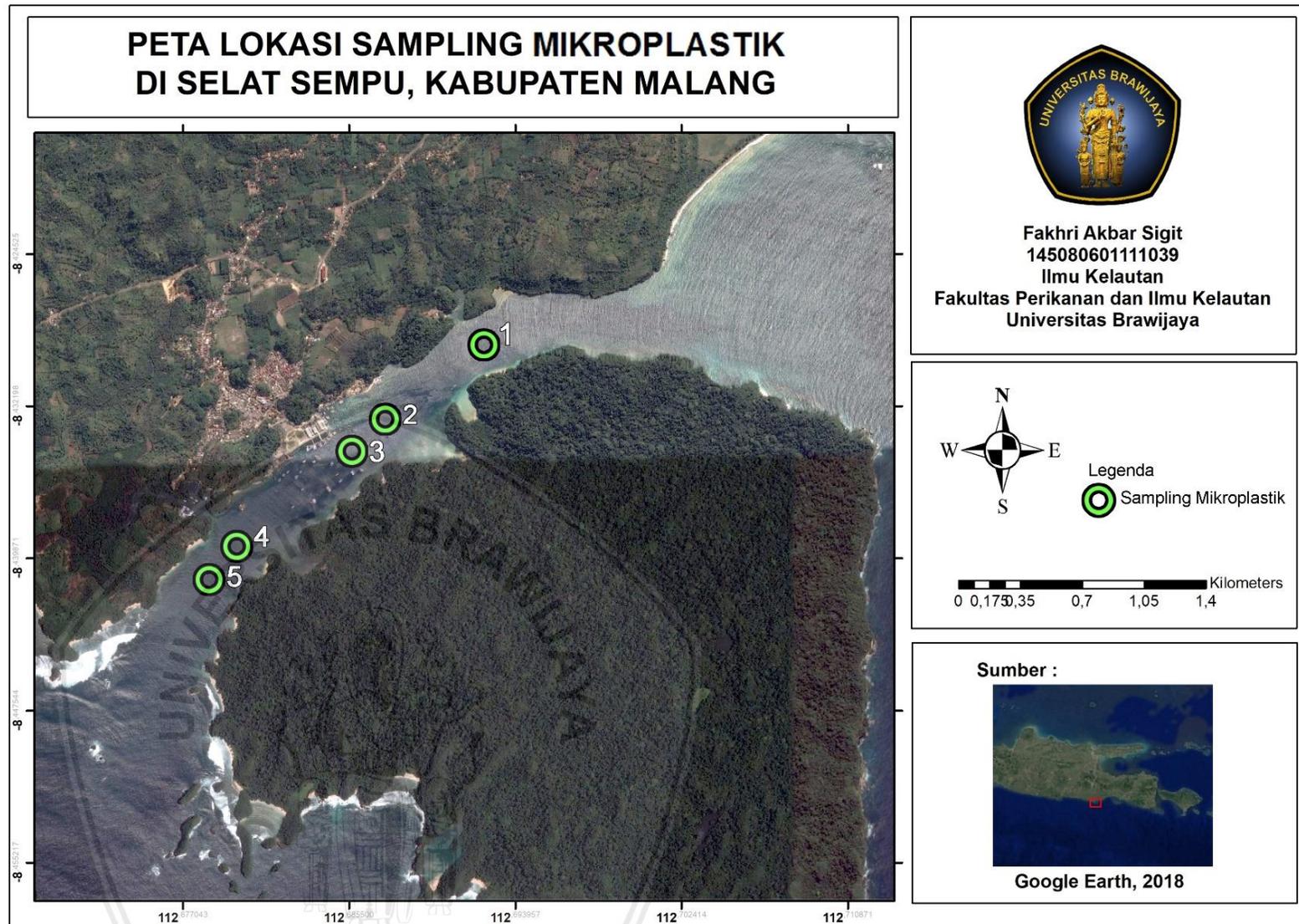


Lokasi	Koordinat	Deskripsi Wilayah
18	8.435208° LS 112.686372° BT	Berada dekat pesisir Pulau Sempu, dengan gelombang yang sedang, dipengaruhi kapal yang berlabuh di Pulau Sempu.
19	-8.437000° LS 112.684236° BT	Berada dekat pesisir Pulau Sempu dengan gelombang yang sedang dipengaruhi kapal yang berlabuh di Pulau Sempu.
20	-8.436242° LS 112.683547° BT	Berada di tengah perairan Selat Sempu dengan gelombang yang sedang, terdapat aktifitas kapal.
21	-8.435553° LS 112.682857° BT	Berada dekat pesisir Pantai Sendang Biru dengan gelombang yang sedang, dipengaruhi oleh Pelabuhan dan Tempat Pelelangan Ikan.
22	-8.437069° LS 112.680652° BT	Berada dekat pesisir Pantai Sendang Biru dengan gelombang yang sedang, dipengaruhi oleh adanya Rumah Apung.
23	-8.437827° LS 112.681410° BT	Berada di tengah perairan Selat Sempu dengan gelombang yang sedang, terdapat aktifitas kapal.
24	-8.438654° LS 112.682375° BT	Berada dekat pesisir Pulau Sempu dikelilingi mangrove dengan gelombang yang sedang.
25	-8.440308° LS 112.680583° BT	Berada dekat pesisir Pulau Sempu, profil pantai berpasir dan dikelilingi mangrove dengan gelombang yang sedang.
26	-8.439274° LS 112.679825° BT	Berada di tengah perairan Selat Sempu dengan gelombang yang sedang, dipengaruhi muara sungai.
27	-8.438171° LS 112.678999° BT	Berada dekat pesisir Pantai Sendang Biru dengan gelombang yang sedang, dipengaruhi oleh adanya muara Sungai Kondang Buntung.
28	-8.440170° LS 112.677496° BT	Berada dekat pesisir Pantai Tiga Warna, profil pantai berpasir dengan gelombang yang sedang, dipengaruhi oleh aktifitas wisata.
29	-8.440928° LS 112.678392° BT	Berada di tengah perairan Selat Sempu dekat Pantai Tiga Warna dengan gelombang yang sedang.
30	-8.441893° LS 112.679081° BT	Berada dekat pesisir Pulau Sempu dikelilingi mangrove dengan gelombang yang sedang.
31	-8.444235° LS 112.677979° BT	Berada dekat pesisir Pulau Sempu dan dikelilingi mangrove dengan gelombang yang sedang.
32	-8.443340° LS 112.676876° BT	Berada di tengah perairan Selat Sempu dengan gelombang yang sedang.
33	-8.442651° LS 112.675911° BT	Berada dekat pesisir Pantai Tiga Warna dengan gelombang yang tinggi.

3.3.2 Sampling Air Laut Menggunakan *Plankton net*

Sampling mikroplastik dengan menggunakan *plankton net* dengan cara sampel air laut dikumpulkan menggunakan botol *polyethylene* sejumlah 500 mililiter (ml) dipasangkan pada bagian mulut bawah *plankton net* yang dapat dibongkar pasang. *Plankton net* menggunakan jaring penyusun ukuran sebesar 0,3 milimeter (mm). Sampel air laut disaring dalam menggunakan ember bervolume 15 Liter (lampiran 1). Kemudian *plankton net* akan menyaring sampel air laut tersebut sebanyak 3 kali pengulangan sampling untuk mendapatkan hasil yang sesuai. Sampel air yang sudah terkumpul di dalam botol *polyethylene* diberi tanda label dan disimpan dalam *cool box* kemudian dibawa ke laboratorium untuk dianalisis lebih lanjut (Bouwman *et al.*, 2018).

Standar metode dan alat untuk sampling mikroplastik belum ditentukan, para ahli menggunakan beragam cara untuk melakukan sampling. Pengambilan sampling yang dilakukan oleh peneliti yaitu dengan cara alat sampling ditarik menggunakan kapal atau dibiarkan mengapung dengan waktu yang ditentukan pada perairan untuk mendapatkan partikel mikroplastik. Namun, Pada Penelitian ini fokus alat sampling mikroplastik yang akan dibahas adalah *plankton net*. Pengumpulan data primer ini dilakukan dengan pengukuran data secara langsung atau *in situ*. Lokasi sampling mikroplastik lebih besar difokuskan pada situs-situs pengaruh aktifitas kegiatan antropogenik, aktifitas wisata yang luas dan pelabuhan (Stolte *et al.*, 2015). Peta sampling mikroplastik dapat dilihat pada Gambar 4.



Gambar 4. Peta Lokasi Sampling Mikroplastik

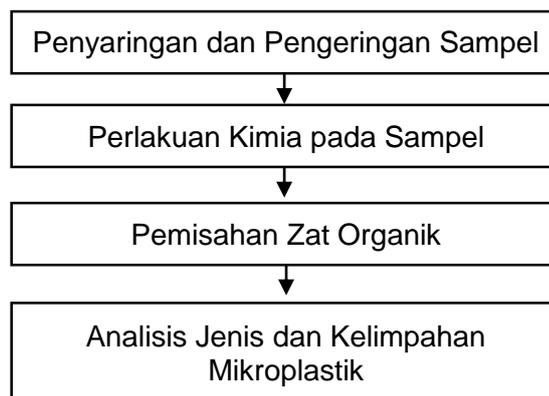
Deskripsi wilayah lokasi sampling mikroplastik dijelaskan pada tabel 5 sebagai berikut

Tabel 5. Titik dan Deskripsi Lokasi Sampling Mikroplastik

Lokasi	Kordinat	Deskripsi Wilayah
1	-8.429007° LS 112.692367° BT	Ujung Selat Sempu bagian timur dekat Pantai Tamban ini untuk mengetahui sampah mikroplastik yang terbawa arah arus yang masuk ke dalam selat atau keluar selat. Aktifitas kapal cukup padat
2	-8.432866° LS 112.687337° BT	Aktifitas manusia pada Pantai Sendang Biru cukup ramai karena tempat wisata dan dekat dengan Pelabuhan kapal.
3	-8.434450° LS 112.685683° BT	Aktifitas manusia pada Tempat Pelelangan Ikan dan Pelabuhan kapal memungkinkan adanya kontaminasi mikroplastik.
4	-8.439274° LS 112.679825° BT	Aktifitas manusia pada Muara Sungai Kondang Buntung tidak begitu berpengaruh secara langsung, karena jauh dari pemukiman warga. Tetapi lokasi ini bisa juga mengalami kontaminasi dari perairan laut lepas Selat Sempu karena mendapatkan limbah dari aliran sungai.
5	-8.440928° LS 112.678392° BT	Ujung Selat Sempu bagian barat dekat Pantai Tiga Warna ini untuk mengetahui sampah mikroplastik yang terbawa arah arus yang masuk ke dalam selat atau keluar selat.

3.4 Analisis Labororium

Sampel air laut yang sudah didapatkan dari perairan Sendang Biru dianalisis di laboratorium untuk mengetahui jenis-jenis dan kelimpahan mikroplastik. Dalam menganalisa terbagi dalam empat tahap utama pada Gambar 5 dan mengidentifikasi mikroplastik tersebut yang mengacu pada metode *National Oceanic and Atmospheric Administration* (NOAA). Analisis serta identifikasi sampel mikroplastik dilakukan pada bulan November 2018 yang berada di Laboratorium Sentral Ilmu Hayati, Universitas Brawijaya. Untuk mengetahui lebih rinci lagi dapat dilihat pada sub bab dan pada Gambar 5.



Gambar 5. Tahap Identifikasi Mikroplastik

3.4.1 Penyaringan sampel (*Wet Sieving*)

Tahap awal, menyaring sampel air laut menggunakan saringan *stainless* dengan *mesh size* 5 mm dan 0,3 mm (Lampiran 2) kemudian meletakkannya secara bertumpuk. Diasumsikan partikel yang masuk ke dalam saringan 5 mm dikategorikan sebagai mikroplastik, sementara partikel yang tertahan di saringan dikategorikan sebagai makroplastik. Setelah proses penyaringan selesai, partikel mikroplastik tersebut dipindahkan ke *beaker glass*. Langkah selanjutnya yaitu untuk mendapatkan berat kering dari partikel tersebut maka partikel mikroplastik dipanaskan dalam oven (Lampiran 2) dengan suhu 90°C selama 24 jam untuk mengilangkan kadar air dan garam dalam partikel (Masura *et al.*, 2015).

3.4.2 *Wet Peroxide Oxidation (WPO)*

Tahap kedua, setelah *Wet Sieving* kemudian sampel diberi perlakuan kimia. *Wet Peroxide Oxidation* mempunyai tujuan untuk menghilangkan bahan organik dan mengisolasi mikroplastik. Perlakuan kimia yang pertama untuk memisahkan sampel mikroplastik dengan kadar besi atau logam yang terakumulasi di sampel air dengan menggunakan larutan 0,05 M Fe II (hasil campuran dari H₂SO₄ dengan FeSO₄·7H₂O) sebanyak 20 ml. Selanjutnya untuk menghancurkan zat organik yang ada pada sampel maka sebagai perlakuan kimia kedua diberikan larutan *Hydrogen Peroxide* 30% (H₂O₂). Sampel mikroplastik yang sudah diberi larutan kimia tersebut kemudian dipanaskan dengan suhu 35° C

selama 30 menit di *Hotplate stirrer* (Lampiran 2). Langkah selanjutnya dengan diberikan NaCl sebanyak 6 gram per 20 ml sampel untuk pengisolasian mikroplastik. Penambahan NaCl juga berfungsi untuk meningkatkan densitas sehingga saat berada di *density separator* mikroplastik yang terisolasi akan melayang (Masura *et al.*, 2015).

3.4.3 *Density Separator*

Tahap ketiga, setelah proses *Wet Peroxide Oxidation* kemudian sampel dipindahkan ke *density separator*. Proses ini bertujuan untuk memisahkan bahan organik yang masih tersisa dengan mikroplastik. Selama semalaman Sampel yang sudah dipindahkan ke *density separator* (Lampiran 2) dibiarkan untuk menunggu hasilnya. Partikel-partikel yang melayang diasumsikan sebagai mikroplastik dan partikel-partikel yang tenggelam diasumsikan sebagai bahan organik. Langkah selanjutnya partikel mikroplastik disaring kembali menggunakan saringan 0,3 mm dan disimpan dalam cawan petri (Masura *et al.*, 2015).

3.4.4 Identifikasi Mikroplastik

Tahap akhir adalah identifikasi mikroplastik. Setelah proses *Density Separator* kemudian menentukan mikroplastik berdasarkan jenisnya yaitu *fiber*, *film*, *fragment*, *foams*, *granules* dan *pellet* dengan menggunakan bantuan mikroskop dengan perbesaran 40X atau identifikasi visual (Lampiran 2). Mikroplastik yang sudah teridentifikasi kemudian dihitunglah nilai kelimpahannya dengan menggunakan rumus berikut:

$$\text{Kelimpahan Mikroplastik} = \text{partikel} \cdot \text{m}^{-3}$$

Kelimpahan mikroplastik yang ditemukan didapat dari jumlah partikel plastik yang telah teridentifikasi pada sampel air dikalikan dengan volume air yang tersaring dengan satuan m^{-3} (Masura *et al.*, 2015).

3.5 Pengolahan Data Arus

Setelah data-data arus yang dibutuhkan sudah terkumpul maka selanjutnya dilakukan pengolahan data. Proses pengolahan data arus dalam penelitian ini melewati tiga tahapan yaitu *input*, *processing* dan *ouput* yang kemudian dilakukan analisa. Data arus yang diperoleh kemudian diolah dengan proses *gridding*. Proses pengolahan data arus biasanya dibantu dengan menggunakan *software* Surfer 10 dan ODV (*Ocean Data View*). Aplikasi ini dapat mengetahui arah dan kecepatan arus dalam bentuk visualisasi, sehingga memudahkan peneliti untuk melihat arah arus. Data arus yang diolah adalah data yang diperoleh dari arus tegak lurus garis pantai dan arus sejajar pantai.

3.6 Pengolahan Data Pasang Surut

Analisa data pasang surut menggunakan metode Admiralty dengan menggunakan amplitudo komponen-komponen pasang surut yaitu K1, O1, M2 dan S2 kemudian dapat ditentukan nilai Formzahl. Dari nilai Formzahl yang diperoleh dapat diketahui tipe pasang surut yang terjadi (Hidayati *et al.*, 2017).

Pengolahan data pasang surut pada penelitian ini melalui prediksi metode TMD (*Tide Model Driver*) yang akan menghasilkan nilai konstanta M2; S2; K1; O1; N2; P1; K2; Q1 yang digunakan dalam menghitung ketinggian pasang surut di perairan. Tipe pasang surut dapat ditentukan berdasarkan bilangan Formzahl (F) yang dinyatakan dalam bentuk:

$$F = \frac{O1+K1}{M2+S2}$$

Dimana:

F : Bilangan Formzahl

K1 : Amplitudo komponen pasang surut tunggal utama karena gaya tarik bulan dan matahari.

O1 : Amplitudo komponen pasang surut tunggal utama karena gaya tarik bulan.

M2 : Amplitudo komponen pasang surut ganda utama karena gaya tarik bulan.

S2 : Amplitudo komponen pasang surut ganda utama karena gaya tarik matahari.

dengan ketentuan:

$F \leq 0.25$: Pasang surut tipe harian ganda

$0.25 < F \leq 1.5$: Pasang surut tipe campuran condong harian ganda

$1.50 < F \leq 3.0$: Pasang surut tipe campuran condong harian tunggal

$F > 3.0$: Pasang surut tipe harian tunggal

3.7 Analisis Statistik Kelimpahan Mikroplastik Dengan Arus

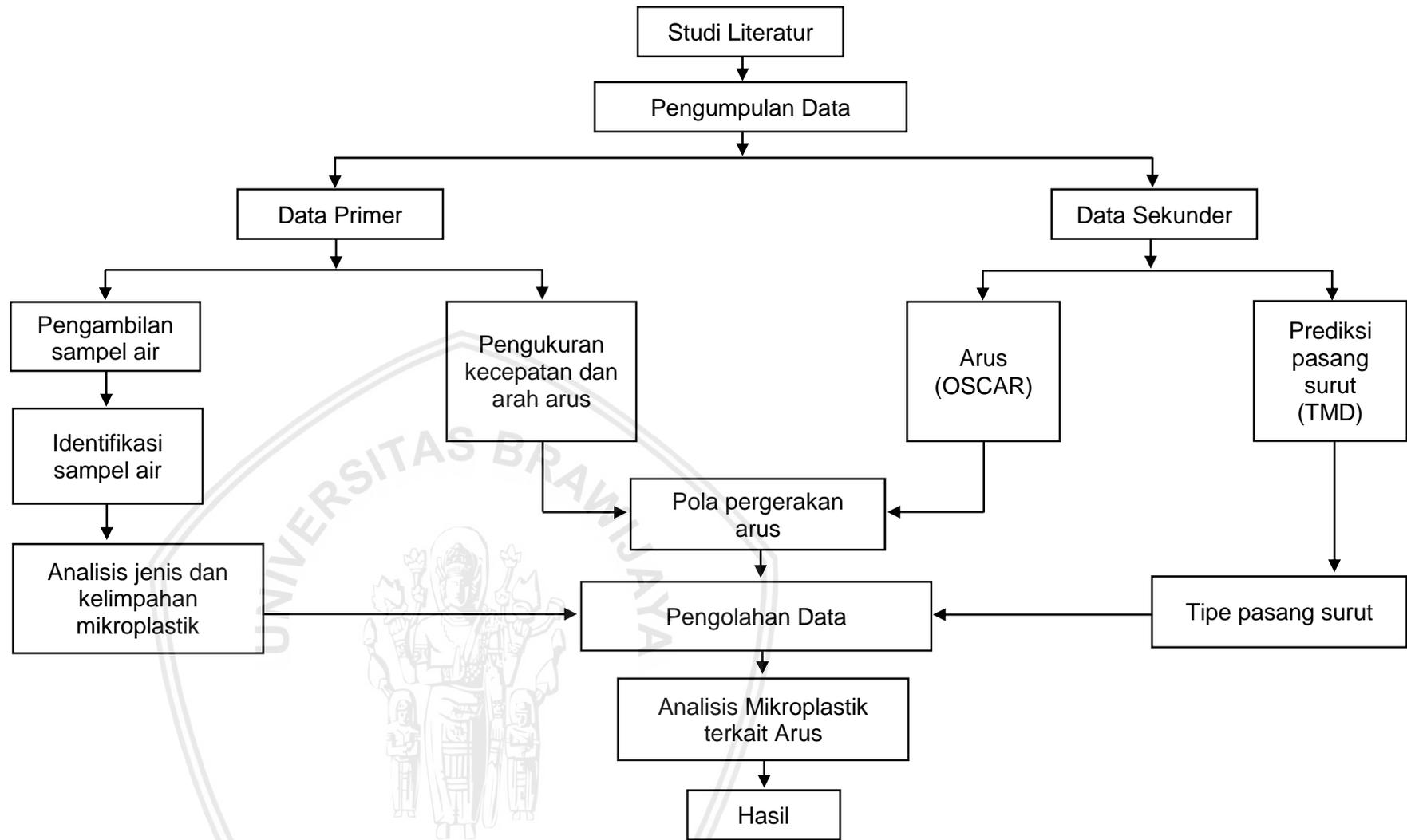
Analisis statistik dilakukan untuk membantu dalam pengolahan, analisis dan penyajian data serta menyimpulkan hasil penelitian. Data yang digunakan dalam analisis statistik ini yaitu data arus dan data kelimpahan mikroplastik. Analisis kelimpahan mikroplastik dengan arus dilakukan uji regresi linear dengan batas selang kepercayaan α (0,05) menggunakan *software* Minitab 17. Uji ini dilakukan untuk mengetahui apakah terdapat hubungan dan pengaruh antara distribusi kelimpahan mikroplastik terhadap arus. Berikut adalah hipotesis yang digunakan dalam analisis ini:

H0 = Tidak terdapat pengaruh antara distribusi kelimpahan mikroplastik dengan arus

H1 = Terdapat pengaruh antara distribusi kelimpahan mikroplastik dengan arus

3.8 Alur Penelitian

Dalam proses penelitian skripsi ini memiliki beberapa tahap yang harus dilaksanakan. Alur penelitian yang dimulai dari studi literatur dan pengumpulan data hingga mendapatkan hasil akhir dari Analisis Mikroplastik dan Arus. Untuk penjelasan lebih detail tentang alur penelitian Studi Distribusi Mikroplastik Akibat Pengaruh Pergerakan Arus di Permukaan Perairan Sendang Biru, Malang Pada Musim Peralihan II Tahun 2018 dapat dilihat pada Gambar 6.



Gambar 6. Alur Penelitian

BAB IV. HASIL DAN PEMBAHASAN

4.1 Kondisi Umum Lokasi Penelitian

Lokasi penelitian berada di Selat Sempu termasuk kawasan Sendang Biru secara administratif merupakan sebuah Desa Tambakrejo, Kecamatan Sumbermanjing Wetan, Kabupaten Malang, Jawa Timur. Berdasarkan letak geografisnya, Sendang Biru tepat berada pada koordinat $112^{\circ} 38' - 112^{\circ} 43'$ BT dan $8^{\circ} 26' - 8^{\circ} 30'$ LS. Daerah ini memiliki batas-batas wilayah diantaranya sebelah utara Kabupaten Pasuruan, sebelah timur Kabupaten Lumajang, sebelah selatan Samudera Hindia dan sebelah barat Kabupaten Blitar.

Daerah pesisir Sendang Biru terdapat salah satu Pelabuhan Perikanan Pantai Pondokdadap Sendang Biru. Kawasan ini terbagi menjadi dua wilayah, yaitu pelabuhan baru hasil reklamasi di sebelah timur dan pelabuhan lama di sebelah barat. Dalam pelabuhan perikanan ini terdapat aktifitas manusia yang cukup padat, mulai dari tempat berlabuh kapal perikanan dimana kapal-kapal yang sedang mengisi bahan bakar, gudang es, tempat pelelangan ikan, pasar ikan, gudang kotak ikan, bengkel perbaikan, tempat perbaikan jaring, kantor pengelola, toilet umum, area parkir, dermaga bongkar, dermaga tambat, dermaga perbekalan dan pemukiman warga sekitar. Selain itu juga terdapat tempat wisata Pantai Sendang Biru dan Pantai Tiga Warna yang ramai dikunjungi para wisatawan untuk rekreasi dan liburan. Aktifitas kapal sangat ramai melintas di sekitar Selat Sempu ini (Marina *et al.*, 2014).

Perairan Sendang Biru termasuk ke dalam Selat Sempu yang terhubung langsung dengan Samudera Hindia, sehingga secara fisika-kimia perairan masih terpengaruhi dari Samudera Hindia. Selat Sempu merupakan perairan yang masih dipengaruhi oleh Angin Musim (Monsoon), yaitu Musim Barat, Musim Peralihan I, Musim Timur dan Musim Peralihan II. Musim Barat terjadi pada bulan Desember

hingga Februari, Musim Peralihan I pada bulan Maret hingga Mei, Musim Timur pada bulan Juni hingga Agustus dan Musim Peralihan II pada bulan September hingga November. Kondisi musim ini mempengaruhi pola arus permukaan di sekitar Selat Sempu, pada musim barat arus utama akan mengalir dari barat menuju timur dan biasanya dibarengi dengan curah hujan tinggi. Kebalikannya pada musim timur, arus akan berasal dari timur menuju ke barat dan biasanya musim kering dimulai. Sedangkan pada musim peralihan kondisi arus tidak menentu umumnya perairan relatif tenang (Luthfi dan Jauhari, 2013).

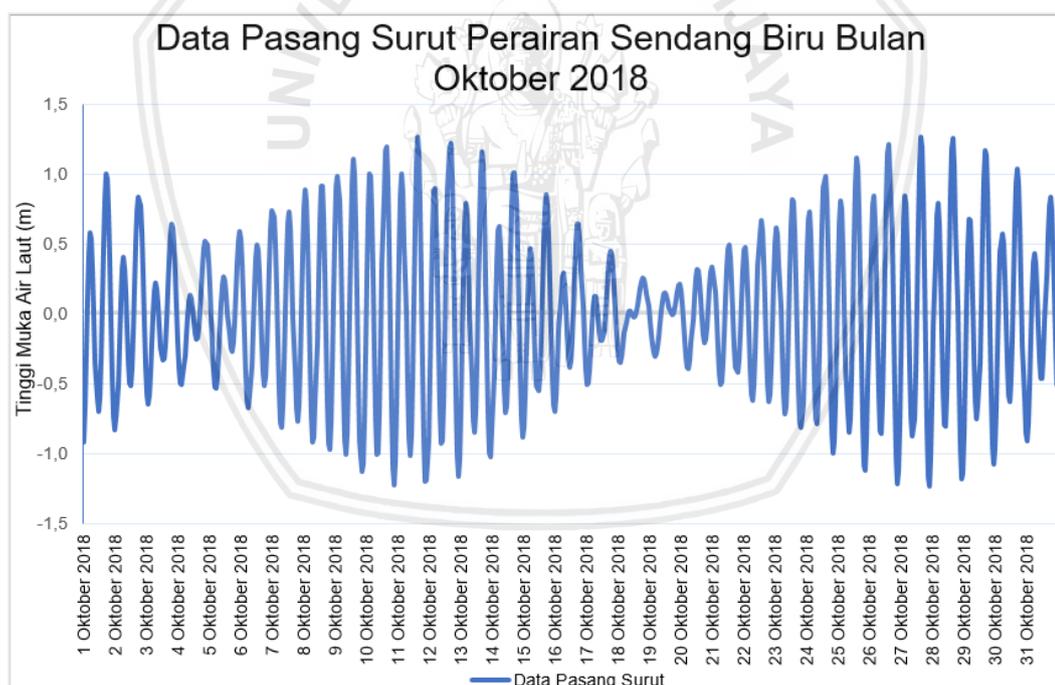
Pengambilan sampel air laut yang dilakukan pada bulan Oktober juga sangat berpengaruh terhadap adanya pergerakan arus. Pada Bulan Oktober terjadi angin Musim Peralihan II yang menyebabkan sampah dari timur akan terbawa oleh arus dan diindikasikan sampah plastik tersebut terakumulasi di Selat Sempu. Mikroplastik mampu tersebar luas melalui arus dan angin sebagai faktor fisika utama transportasi keberadaan mikroplastik di perairan (Chae *et al.*, 2015). Lokasi sampling air laut diambil berada dekat Pelabuhan Perikanan Pantai Pondokdadap Sendang Biru yang ramai oleh aktifitas nelayan, pemukiman desa, muara Sungai Kondang Buntung serta wisata Pantai Tiga Warna yang mungkin saja menjadi salah satu faktor tercemarnya perairan Selat Sempu oleh sampah mikroplastik yang terbawa oleh aliran arus dari berbagai tempat.

4.2 Pergerakan Arus dan Pasang Surut

Data arus diambil pada tanggal 27 Oktober 2018 s/d 28 Oktober 2018 yakni bertepatan dengan Musim Peralihan II. Pengambilan data tersebut dilakukan pada saat pasang dan pada saat surut hal ini disebabkan agar dapat mewakili data arus di perairan tersebut.

4.2.1 Pasang Surut

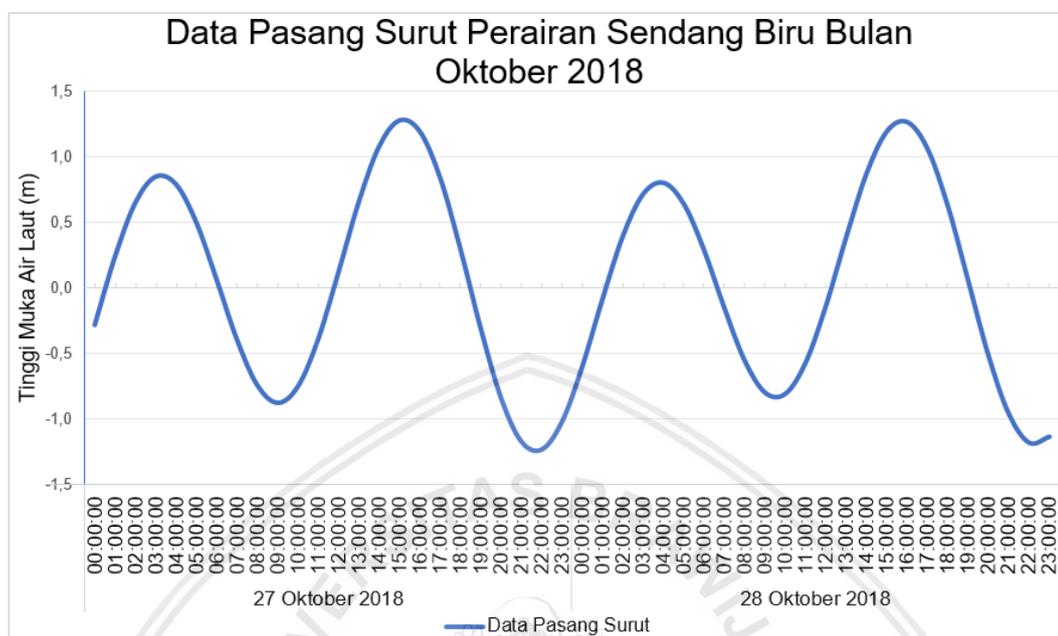
Tipe pasang surut sendiri terdiri dari 4 tipe yaitu tipe pasang surut harian tunggal, pasang surut harian ganda, pasang surut campuran condong ke harian tunggal dan pasang surut campuran condong ke harian ganda (Aziz, 2006). Hasil prediksi pasang surut dengan menggunakan metode TMD (*Tide Model Driver*) dapat dilihat pada Gambar 7 diperoleh konstanta yaitu $K1=0,21$; $O1=0,13$; $M2=0,63$; $S2=0,34$ untuk menentukan tipe pasang surut di Pantai Sendang Biru. Hasil bilangan Formzhal ($F = 0,77$) sehingga dapat disimpulkan bahwa pada bulan Oktober 2018 terjadi tipe pasang surut campuran condong harian ganda (*Mixed Predominantly Semidiurnal Tides*). Tipe ini berarti dalam sehari terjadi dua kali pasang dan dua kali surut.



Gambar 7. Grafik Pasang Surut Bulan Oktober 2018

Rata-rata tinggi muka air laut paling tinggi terjadi pada pukul 15.00 WIB. Surut terendah terjadi pada pukul 22.00 WIB seperti pada Gambar 8 prediksi pasang surut ketika pengambilan sampel. Dalam sehari akan terjadi dua kali

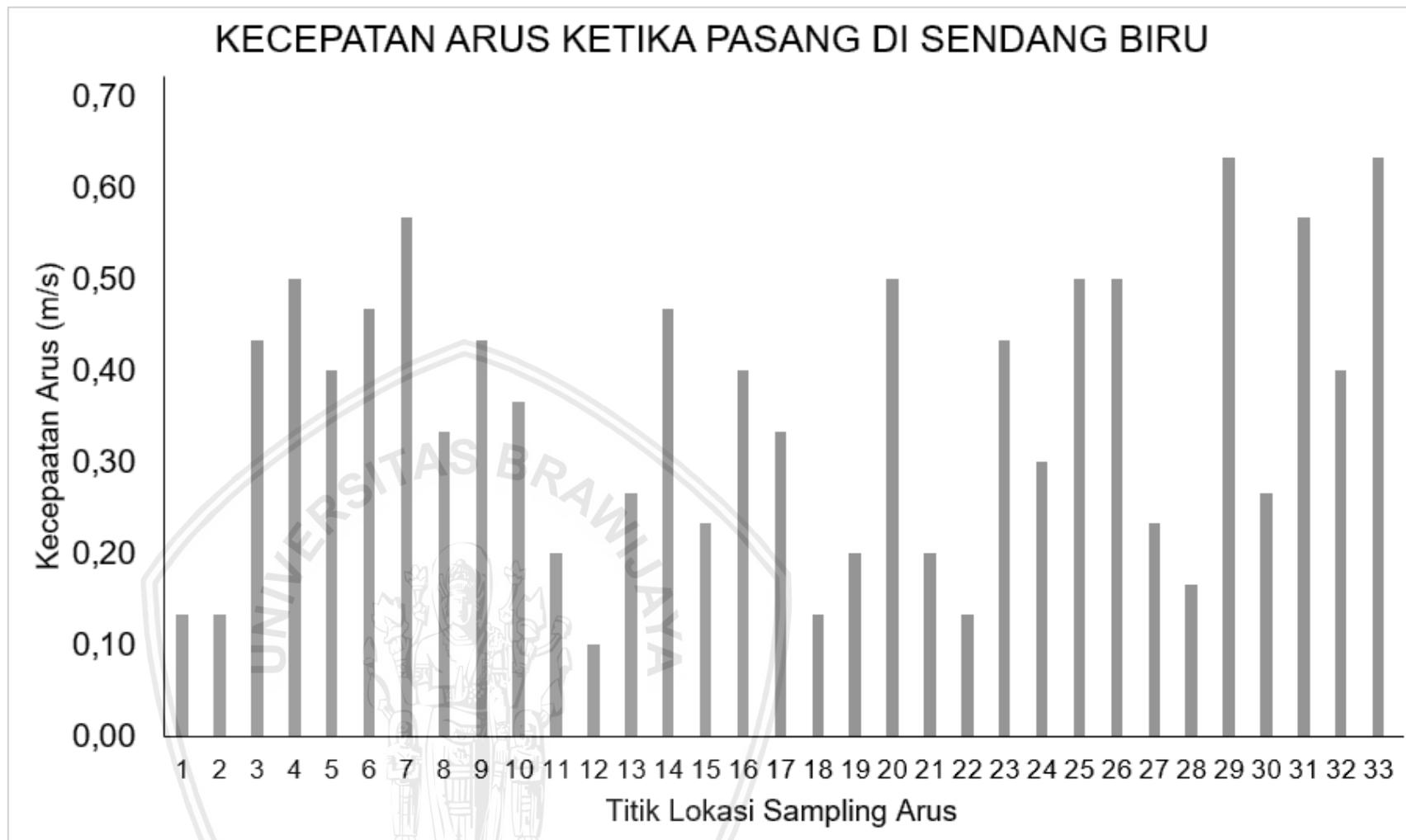
pasang di Pantai Sendang Biru (Handartoputra *et al.*, 2015). Keadaan pasang surut ini mempengaruhi adanya perubahan pada kondisi arus.



Gambar 8. Grafik Pasang Surut Pengambilan Sampel

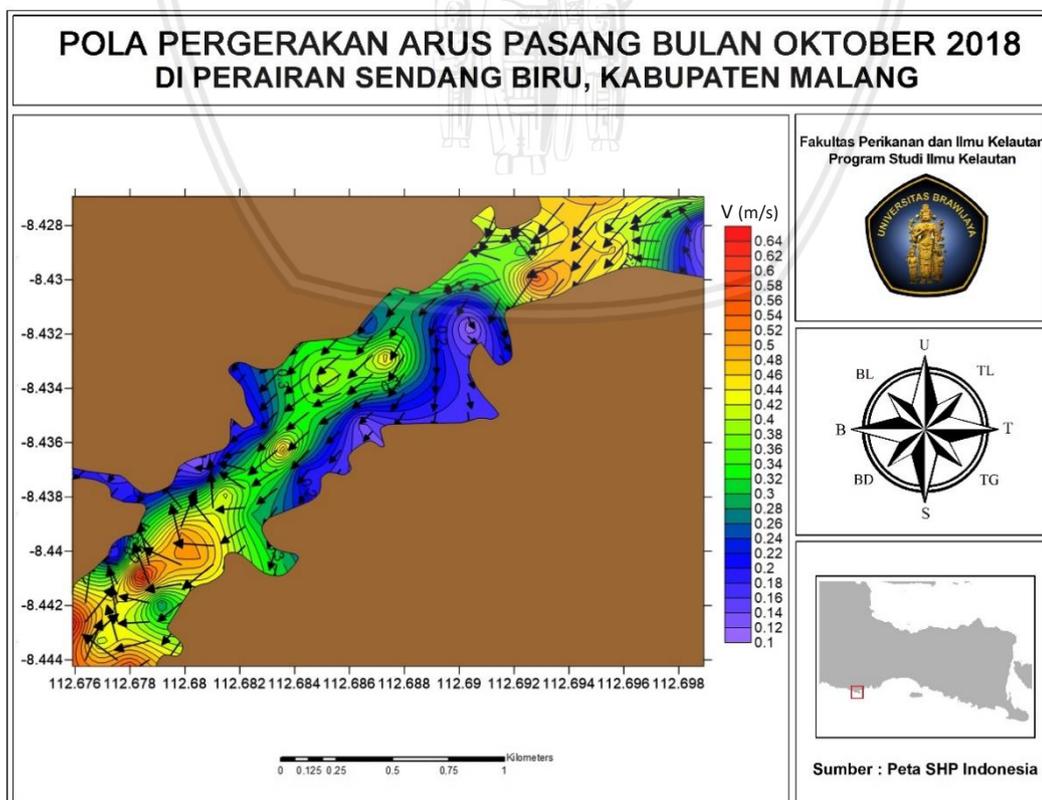
4.2.2 Arus

Pengambilan data arus permukaan ini terbagi menjadi 33 titik koordinat stasiun pengamatan di Perairan Sendang Biru, Malang. Penentuan stasiun ini berdasarkan kawasan Perairan Sendang Biru yang merupakan jalur transportasi kapal para nelayan dan perairan Selat Sempu sehingga titik koordinat berawal dari ujung selat bagian timur sampai ujung selat bagian barat, hal ini bertujuan agar dapat mewakili data yang representatif di perairan tersebut. Instrumentasi yang digunakan untuk mengukur arah arus yaitu kompas dan kecepatan arus yaitu *Current meter Flowatch FL* (Lampiran 1) dengan kedalaman 60 cm. Pada saat pengukuran arus permukaan berlangsung, mesin kapal dalam keadaan mati agar hasil pengukuran arah dan kecepatan arus tidak terpengaruh oleh pergerakan kapal. Pengukuran terbagi menjadi arus pasang dan arus surut. Hasil dari kecepatan arus ketika pasang yang sudah diolah menggunakan *software* Microsoft Excel 2013 dapat dilihat pada Gambar 9.

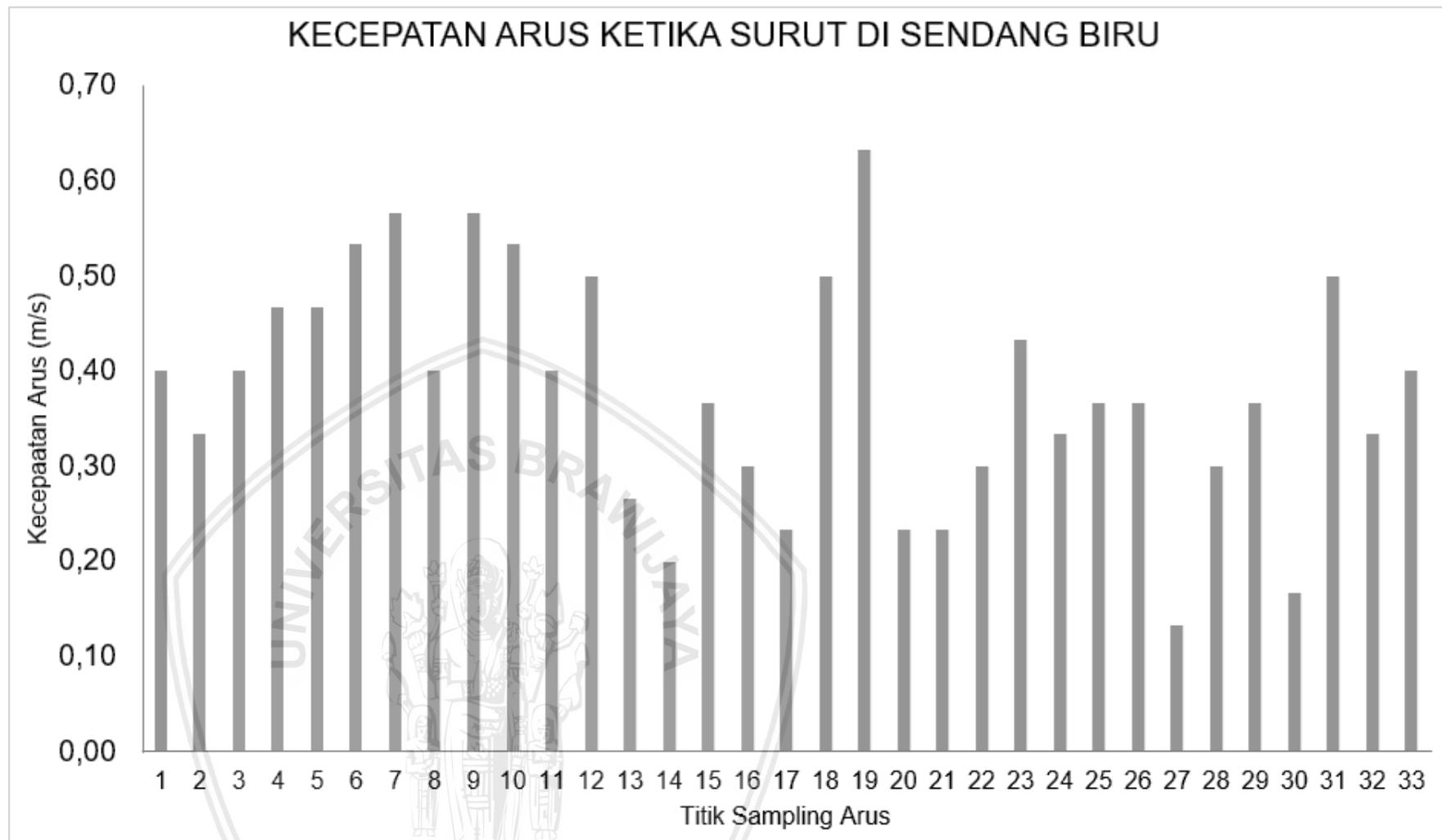


Gambar 9. Kecepatan Arus Ketika Pasang

Hasil dari pengukuran arus pasang (Gambar 9) dari 33 titik koordinat rata-rata kecepatan arus pada Perairan Sendang Biru, Malang umumnya memiliki arus yang sedang hingga cepat berkisar antara 0,1 – 0,6 m/s. Hal ini disebabkan karena lokasi selat yang berada di daerah Selatan Jawa dan kecepatan angin permukaan yang kuat dapat membangkitkan arus permukaan laut. Kecepatan arus terbesar (Gambar 9) berada pada stasiun 4, 7, 20, 25, 26, 29, 31 dan 33 dengan kecepatan arus mencapai 0,5 – 0,6 m/s. Kemudian kecepatan arus terendah berada pada stasiun 1, 2, 12, 18, 22 dan 28 dengan kecepatan arus mencapai 0,1 m/s. Pada stasiun ini kecepatan arus relatif tenang dikarenakan faktor angin yang tidak terlalu besar dan kapal tidak melintasi kawasan ini. Pola pergerakan arus ketika pasang dapat dilihat pada Gambar 10 menunjukkan bahwa arah arus datang dari timur dengan kecepatan arus yang cepat, tetapi saat memasuki kawasan pelabuhan kecepatan arus lambat. Namun, arah arus mulai tidak beraturan ketika mendekati kawasan Rumah Apung dan karena banyaknya kapal.

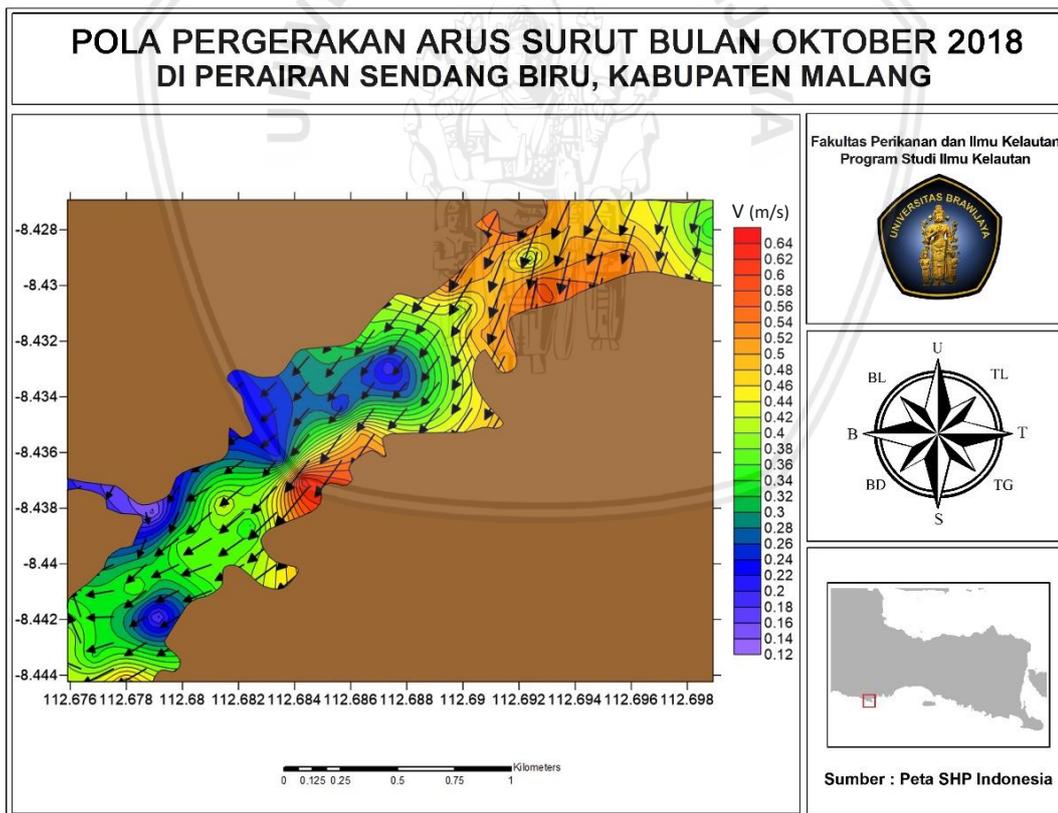


Gambar 10. Pola Pergerakan Arus Pasang



Gambar 11. Kecepatan Arus Ketika Surut

Hasil dari pengukuran arus surut pada Gambar 11 dari 33 titik koordinat didapatkan kecepatan arus pada Perairan Sendang Biru, Kabupaten Malang umumnya memiliki arus yang sedang hingga cepat berkisar antara 0,1 – 0,6 m/s. Kecepatan arus terbesar berdasarkan Gambar 11 berada pada stasiun 6, 7, 8, 9, 10, 12, 18, 19 dan 31 dengan kecepatan arus mencapai 0,5 – 0,6 m/s. Kondisi pengukuran arus saat surut ini terjadi ketika cuaca sedang mendung dengan sedikit hujan sehingga rata-rata angin bertiup dengan cepat yang mengakibatkan kecepatan arus permukaan menjadi tinggi. Kemudian kecepatan arus terendah berada pada stasiun 27 dan 30 dengan kecepatan arus mencapai 0,1 m/s. Kecepatan saat pasang (Gambar 9) dan surut (Gambar 11) cenderung sama yaitu antara 0,1 – 0,6 m/s dan dan arah arus berasal dari timur (Gambar 10 dan 12).

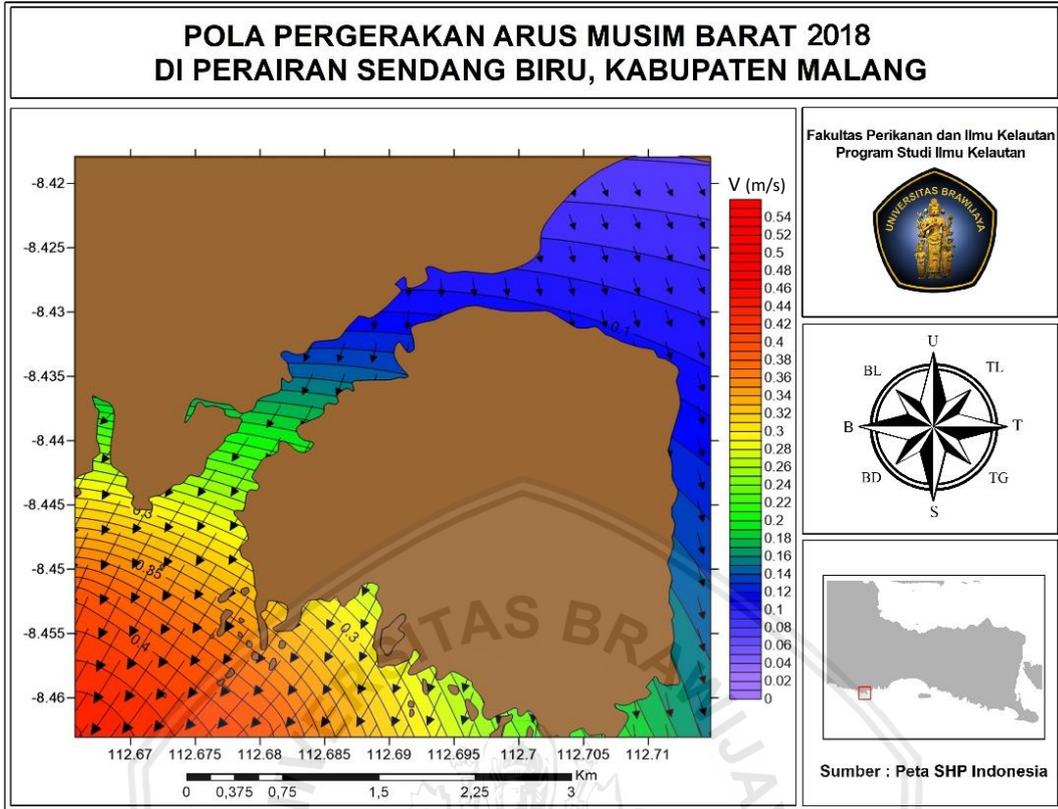


Gambar 12. Pola Pergerakan Arus Surut

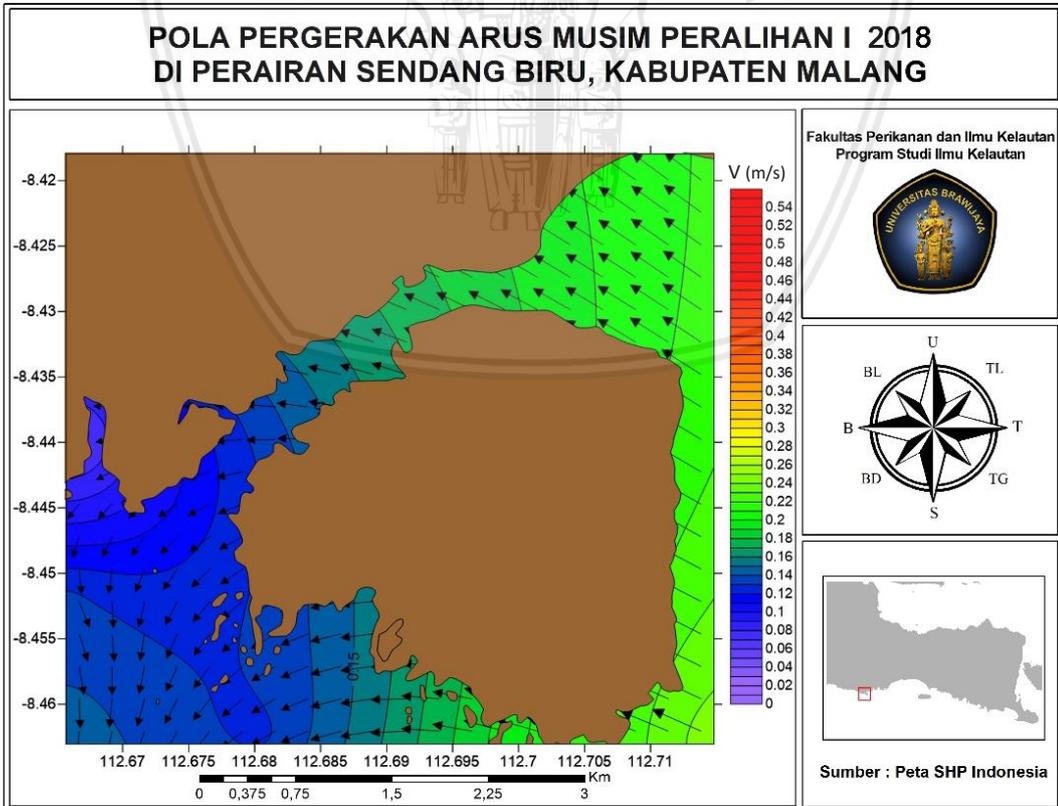
Pola pergerakan arus pada saat pasang maupun surut pada bulan Oktober (Musim Peralihan II) berdasarkan Gambar 10 dan Gambar 12 rata-rata

menunjukkan bahwa arah arus dari timur kemudian memasuki kawasan Selat Sempu yang kemudian dibelokkan menuju arah barat. Pergerakan arus ketika pasang (Gambar 10) Menunjukkan bahwa arah arus datang dari timur dengan kecepatan arus yang cepat, tetapi saat memasuki kawasan pelabuhan kecepatan arus relatif rendah. Namun, arah arus mulai tidak beraturan ketika mendekati kawasan Rumah Apung dan karena banyaknya kapal yang ramai melintas di kawasan pelabuhan pada saat terjadinya pasang. Kemudian memasuki ketika kawasan Pantai Tiga Warna arus kembali datang dari timur.

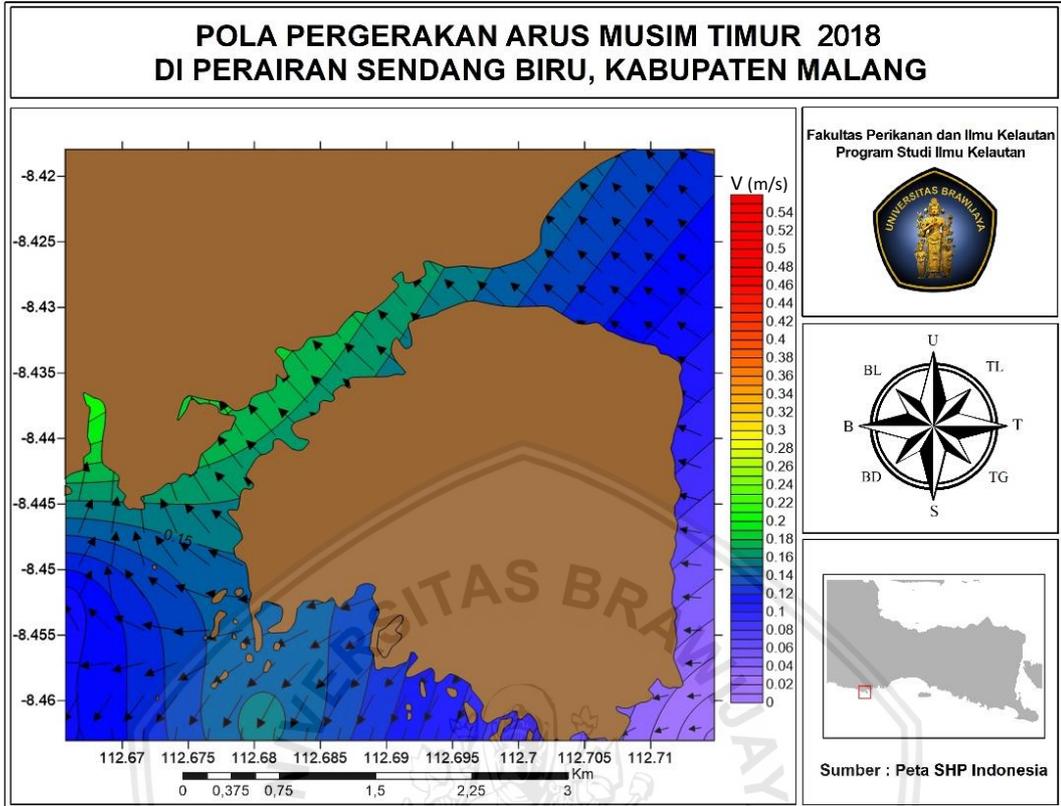
Hal ini berbeda dengan ketika terjadinya surut (Gambar 12) menunjukan arah arus selalu datang timur secara teratur hingga kawasan hingga Pantai Tiga Warna, hal ini disebabkan ketika surut aktifitas kapal nelayan masih sepi sehingga tidak terpengaruh oleh pergerakan kapal. Namun, pada saat pasang maupun surut ketika memasuki kawasan Pantai Clungup yang merupakan mulut paling luar dari Selat Sempu yang datang dari arah timur menyebabkan arah arus bercampur dan mulai tidak beraturan disertai kecepatan arus yang kuat karena bertemu dengan lautan lepas yang datang dari barat. Hasil pemodelan menunjukkan bahwa arus saat pasang dan saat surut terjadi *slack water* atau arus kecepatan terendah dengan arah yang saling bertolak belakang satu sama lain (Poerbandono dan Djunasjah, 2005). Hal ini juga disebabkan karena pengambilan sampling pada saat bulan Oktober yang merupakan masa peralihan antara angin muson timur ke angin muson barat, sehingga pergerakan arus tidak teratur karena angin yang bergerak pun tidak menentu arahnya (Daruwedho *et al.*, 2016). selain faktor angin, arus juga dipengaruhi oleh tiga faktor lain, yaitu bentuk dasar perairan, letak geografis dan tekanan udara (Hutabarat, 2001). Pola arus setiap musim dapat dilihat pada Gambar 13, 14, 15 dan 16.



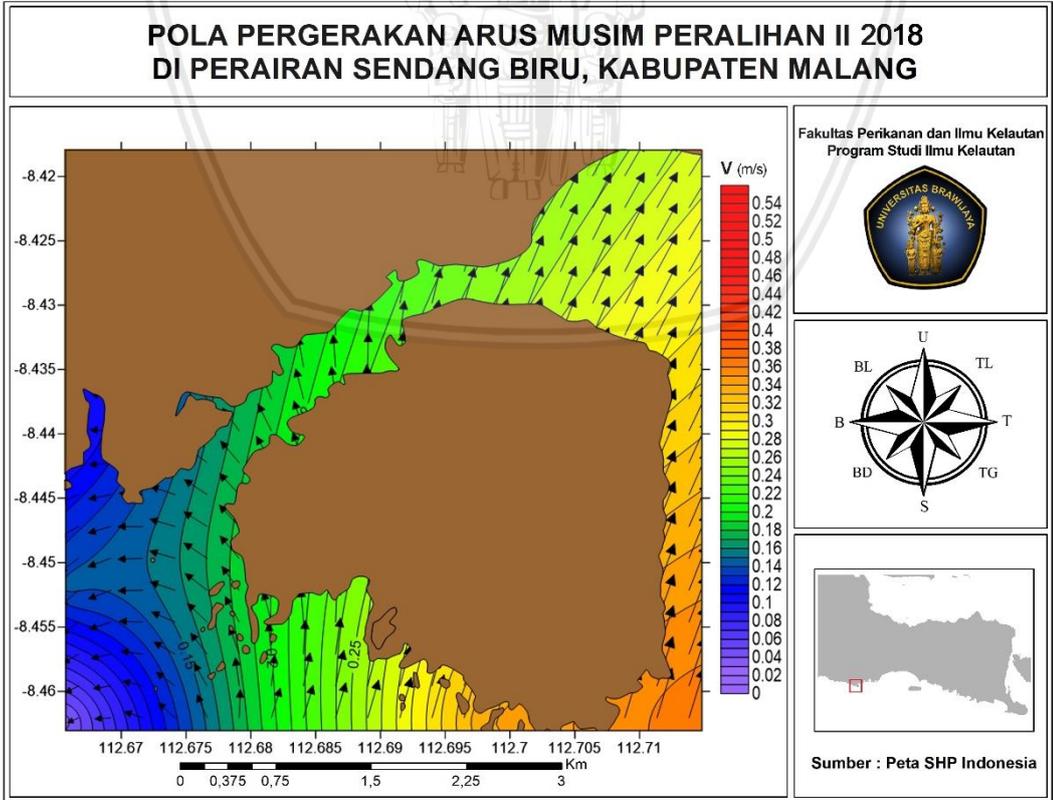
Gambar 13. Pola Pergerakan Arus Musim Barat



Gambar 14. Pola Pergerakan Arus Musim Peralihan I



Gambar 15. Pola Pergerakan Arus Musim Timur



Gambar 16. Pola Pergerakan Arus Musim Peralihan II

Pola pergerakan arus setiap musim seperti yang disajikan pada Gambar 13, 14, 15 dan 16 didapatkan berdasarkan hasil pengolahan data sekunder yang diperoleh dari OSCAR (*Ocean Surface Current Analyses Real-time*) dari data setiap musim. Musim Barat (Gambar 13) pada periode bulan Desember 2017 – Februari 2018 arah arus datang dari utara menuju selatan, hal ini disebabkan karena pada periode ini dipengaruhi oleh angin muson barat yang bertiup dari Benua Asia menuju Benua Australia. Musim Peralihan I (Gambar 14) pada periode bulan Maret – Mei 2018 arah arus tidak beraturan, sehingga terdapat arah arus yang datang dari selatan maupun utara. Bulan Maret, April dan Mei merupakan masa peralihan antara angin muson barat ke angin muson bismur, sehingga pergerakan arus tidak teratur karena angin yang bergerak pun tidak terarah (Daruwedho *et al.*, 2016). Musim Timur (Gambar 15) pada periode bulan Juni – Agustus 2018 arah arus datang dari tenggara dan timur menuju ke arah barat. Angin muson timur berpengaruh dalam menggerakkan arah arus dimana angin bergerak dari Benua Australia menuju Benua Asia. Kemudian Musim Peralihan II (Gambar 16) pada periode bulan September - November 2018 arah arus tidak beraturan, sehingga terdapat arah arus yang datang dari selatan, barat maupun timur yang berpotensi menimbulkan siklon tropis. Bulan September, Oktober dan November yang merupakan masa peralihan antara angin muson timur ke angin muson barat, sehingga pergerakan arus tidak teratur karena angin yang bergerak pun tidak menentu arahnya, sehingga pergerakan arus tidak teratur karena angin yang bergerak pun tidak terarah (Daruwedho *et al.*, 2016). Pola pergerakan arah arus ini hampir menyerupai dengan hasil pengukuran arus secara langsung (Gambar 10) Musim Peralihan II dimana masih terpengaruhi arah angin yang bertiup dari timur. Secara umum, kecepatan arus semakin menuju daratan maka kecepatannya semakin melemah hal ini dikarenakan tingkat kelandaian topografi yang lebih dangkal.

Berdasarkan pola pergerakan arus dari pengukuran langsung dengan data per musim di tahun 2018 menunjukkan bahwa rata-rata arah arus berasal dari timur dan selatan, sedangkan hanya musim barat yang berasal dari utara. Sehingga, dapat diduga sampah mikroplastik yang terakumulasi di Perairan Sendang Biru bukan hanya dari aktifitas pelabuhan, pariwisata, muara sungai yang terdapat di daerah tersebut, akan tetapi dapat diindikasikan juga berasal dari sampah-sampah yang sudah terdegradasi dapat terbawa arus yang kuat dari daerah lainnya sehingga mikroplastik dapat melewati Perairan Sendang Biru. Transportasi dari mikroplastik sangat dipengaruhi oleh pola arus dan angin (Lusher *et al.*, 2015).

4.3 Kelimpahan Total Mikroplastik di Perairan Sendang Biru

Hasil penelitian yang dilakukan di Perairan Sendang Biru menunjukkan terdapat adanya kontaminasi mikroplastik. Mikroplastik yang ditemukan menggunakan alat sampling *plankton net* diperoleh 259 total partikel (Tabel 6).

Tabel 6. Jumlah Partikel Mikroplastik

SAMPSEL PERAIRAN		JENIS MIKROPLASTIK		
Stasiun	Pengulangan	Fragment	Fiber	Film
Stasiun 1	1	6	25	-
	2	3	20	2
	3	-	16	1
Stasiun 2	1	6	14	2
	2	2	14	2
	3	3	11	5
Stasiun 3	1	5	9	7
	2	6	9	-
	3	3	15	-
Stasiun 4	1	1	6	3
	2	3	19	1
	3	1	3	-
Stasiun 5	1	2	4	4
	2	1	5	2
	3	1	10	7

dengan volume total air laut yang tersaring pada 5 area sampling dengan 3 kali pengulangan dengan 15 liter atau 0,015 m³ air laut setiap stasiun dengan total nilai kelimpahan sebesar 5755,56 partikel m⁻³ (Tabel 7) dimana dari nilai kelimpahan mikroplastik merupakan asumsi mikroplastik yang terdapat pada 1 m³ atau 1000 liter air. Kelimpahan mikroplastik di perairan menjadi lebih tinggi disebabkan proses degradasi mikroplastik di kolom perairan memang membutuhkan waktu yang lama sehingga diduga mikroplastik tersebut terakumulasi di kolom perairan.

Tabel 7. Total Kelimpahan Mikroplastik

Stasiun	Jenis Mikroplastik			Kelimpahan (partikel m ⁻³)			Total
	Fragment	Fiber	Film	Fragment	Fiber	Film	
1	3	20	1	200,00	1355,56	66,67	1622,22
2	4	13	3	244,44	866,67	200,00	1311,11
3	5	11	2	311,11	733,33	155,56	1200,00
4	2	9	1	111,11	622,22	88,89	822,22
5	1	6	4	88,89	422,22	288,89	800,00
Total	14	60	12	955,56	4000,00	800,00	5755,56

Perairan Sendang Biru memiliki nilai kelimpahan mikroplastik sebesar 5755,56 partikel m⁻³ yang menunjukkan bahwa perairan ini sudah terkontaminasi oleh adanya mikroplastik. Pengambilan sampling mikroplastik lebih besar difokuskan pada situs-situs pengaruh antropogenik, aktifitas wisata yang luas dan pelabuhan (Stolte *et al.*, 2015). Nilai kelimpahan ini disebabkan oleh beberapa faktor yang mempengaruhi kelimpahan mikroplastik adalah karakteristik lokasi dan metode pengambilan sampel air laut. Perairan Sendang Biru merupakan perairan selat yang menghubungkan Desa Sendang Biru dengan Pulau Sempu dan sangat dipengaruhi oleh arus musiman yang mampu membawa partikel-partikel mikroplastik dari berbagai tempat. Mikroplastik mampu tersebar luas melalui arus dan angin sebagai faktor fisika utama transportasi keberadaan mikroplastik di perairan (Chae *et al.*, 2015). Kegiatan manusia di sekitar kawasan sampling mikroplastik di perairan juga mengindikasikan adanya hubungan antara mikroplastik yang ditemukan dengan kawasan tersebut (Victoria, 2017).

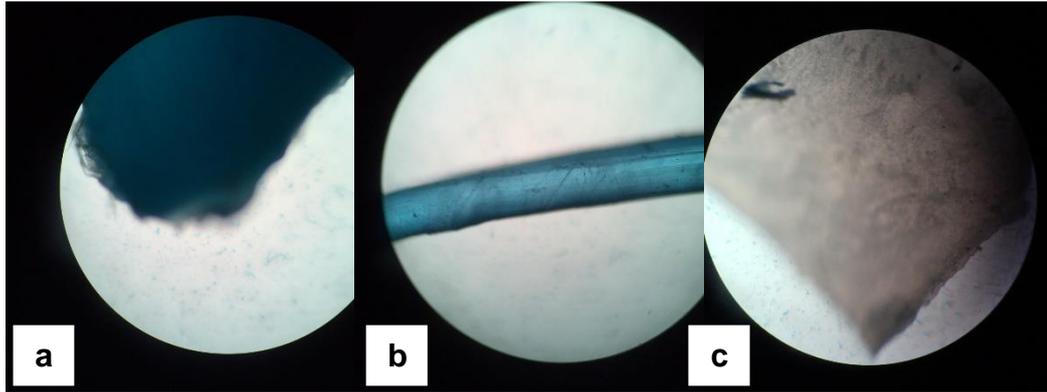
Jenis dari mikroplastik yang paling sering dijumpai pada penelitian ini yaitu *fiber*, *fragment*, dan *film*. Potongan-potongan plastik ini dapat berasal dari jaring ikan, bahan baku industri, peralatan rumah tangga atau akibat pelapukan produk plastik, kantong plastik yang terdegradasi dan serat-serat sintetis hasil dari pencucian pakaian sehari-hari (Browne *et al.*, 2011).

4.3.1 Jenis dan Kelimpahan Mikroplastik di Perairan Sendang Biru

Mikroplastik sumber sekunder menjadi sumber utama mikroplastik dalam lingkungan laut (Hildago-Ruz *et al.*, 2012). Mikroplastik Sumber sekunder meliputi serat atau potongan hasil pemutusan rantai dari plastik yang lebih besar yang mungkin terjadi sebelum mikroplastik memasuki lingkungan. Kepadatan penduduk yang tinggi sering dikaitkan dengan mikroplastik dari sumber sekunder ini. Potongan mikroplastik ini dapat berasal dari jaring ikan, bahan baku industri-industri, alat rumah tangga, kantong plastik, serat sintesis dari pencucian pakaian dan pelapukan produk plastik. Mikroplastik sekunder memiliki waktu tinggal yang relatif cukup lebih lama di wilayah perairan, baik di perairan buatan maupun alami (Browne *et al.*, 2011).

Mikroplastik yang berasal dari sumber sekunder adalah hasil dari fragmentasi dan bahan plastik yang lebih besar mengalami degradasi fisika, kimia dan biologi di lingkungan laut. Mikroplastik yang mencapai lingkungan laut dari daerah perkotaan melalui sistem drainase, serta kegiatan antropogenik di sepanjang pantai seperti pelabuhan, kegiatan rekreasi dan pelabuhan perikanan.

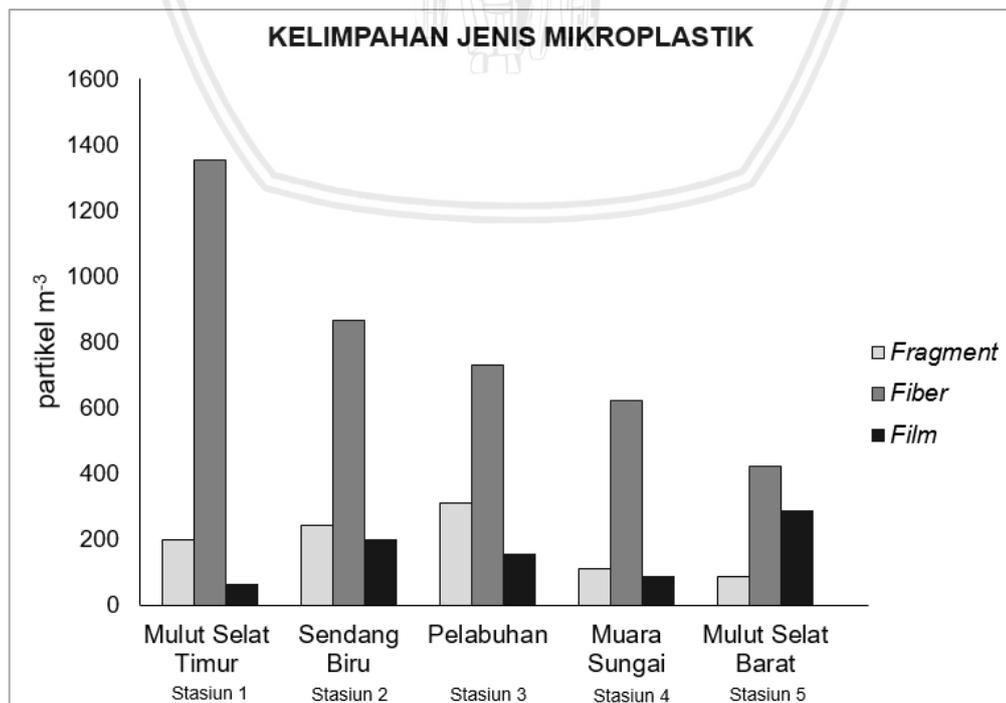
Hasil dari analisis jenis mikroplastik di Perairan Sendang Biru dengan 5 titik stasiun berbeda dengan menggunakan *plankton net* ditemukan tiga jenis mikroplastik yaitu *fragment*, *fiber* dan *film* yang berasal dari sumber mikroplastik sekunder. Berdasarkan hasil identifikasi mikroplastik dengan mikroskop didapatkan bentuk gambar jenis mikroplastik pada Gambar 17 dan Lampiran 3.



Gambar 17. Jenis Mikroplastik a) *Fragment*, b) *Fiber*, dan c) *Film*
 Sumber: Dokumentasi Pribadi

Fragment merupakan patahan-patahan dari bagian plastik besar. *Fiber* merupakan jenis mikroplastik yang tampak seperti serat yang panjang dan tipis. *Film* merupakan bentuk dari sampah plastik yang lapisannya sangat tipis. Klasifikasi mikroplastik ini erat kaitannya dengan bentuk dari mikroplastik pada penelitian lainnya. Apabila mikroplastik yang ditemukan tidak dapat teridentifikasi, maka dapat diidentifikasi sebagai jenis *fragment* (Di dan Wang, 2018).

Penelitian yang telah dilakukan mendapatkan nilai kelimpahan per jenis mikroplastik dapat dilihat pada Gambar 18 sebagai berikut.



Gambar 18. Kelimpahan Jenis Mikroplastik Pada Setiap Stasiun

Jenis mikroplastik (Gambar 18) yang memiliki rata-rata kelimpahan mikroplastik paling tinggi pada penelitian ini adalah *fiber* dengan total nilai kelimpahan sebesar 4000 partikel m^{-3} (Tabel 7) dari keseluruhan stasiun. *Fiber* adalah jenis partikel mikroplastik yang paling melimpah di permukaan perairan (Viršek *et al.*, 2016). Mereka bisa pendek atau panjang, dengan ketebalan dan warna yang berbeda. Hal ini disebabkan dengan adanya sumber pencemar yang relatif sama yaitu berasal dari kegiatan antropogenik di Pelabuhan, Muara Sungai dan Pantai dalam jarak yang tidak begitu jauh. Sumber mikroplastik dengan tipe *fiber* diduga berasal dari kain sintesis bekas cucian pakaian, alat tangkap nelayan (jaring ikan dan tali pancing) dan limbah kapal nelayan yang tersebar di perairan terbuka (Dewi *et al.*, 2015). Setiap mencuci pakaian dapat menghilangkan sekitar 1900 serat *fiber* dari pakaian yang telah dicuci (Browne *et al.*, 2011).

Jenis mikroplastik (Gambar 18) tertinggi kedua yaitu jenis *fragment* dengan total nilai kelimpahan sebesar 955,56 partikel m^{-3} (Tabel 7). Jenis mikroplastik *fragment* diduga berasal dari botol plastik yang sudah lama terdegradasi oleh radiasi sinar UV dan mengapung di kolom perairan. Jenis *fragment* memiliki tekstur yang padat dan keras. Sumber mikroplastik jenis *fragment* adalah dari botol-botol plastik, kantong plastik dan patahan plastik yang keras (Horton *et al.*, 2016).

Jenis mikroplastik (Gambar 18) terendah yaitu *film* dengan total nilai kelimpahan sebesar 800 partikel m^{-3} (Tabel 7). Pada permukaan perairan lebih banyak ditemukan sampah plastik yang mengapung karena bahan yang ringan. Jenis mikroplastik *film* bersumber dari plastik kemasan makanan (Claessens *et al.*, 2011). Jenis *film* memiliki densitas yang lebih rendah dibandingkan dengan jenis lainnya sehingga cenderung akan mengapung di kolom perairan dan lebih mudah untuk ditransportasikan (Hastuti *et al.*, 2014).

Hasil penelitian yang telah dilaksanakan di Perairan Sendang Biru mengindikasikan adanya keterkaitan antara kelimpahan mikroplastik yang

ditemukan dengan pergerakan arus dan padatnya aktifitas manusia di sekitar lokasi pengambilan sampel air laut. Sebagian besar sampah plastik yang dihasilkan oleh manusia akan dibuang ke lingkungan dan pada akhirnya sampah plastik tersebut akan masuk ke wilayah perairan terutama laut (Victoria, 2017).

Mikroplastik sumber sekunder dalam penelitian ini lebih sering ditemukan dibandingkan dengan Mikroplastik sumber primer seperti *pellet* dan *granules* yang berasal dari industri dan produksi plastik butiran plastik murni yang mencapai wilayah laut akibat kelalaian dari industri plastik dalam penanganan limbah yang buruk dan sumber primer ini berada jauh dari lokasi penelitian di Sendang Biru (Karapanagioti, 2015). Sumber primer mencakup kandungan plastik dalam produk-produk pembersih dan kecantikan, pelet untuk pakan hewan, bubuk resin.

4.3.2 Klasifikasi Warna Mikroplastik di Perairan Sendang Biru

Penelitian terdahulu yang telah dilakukan, warna dari mikroplastik umumnya dibedakan menjadi putih, hitam, transparan dan berwarna. Namun, pada penelitian ini dibagi menjadi 7 warna yaitu: putih, hitam, biru, merah, krem, coklat dan transparan yang telah disesuaikan dengan warna warna yang ditemukan selama identifikasi sampel. Adanya Warna mikroplastik pada permukaan perairan ini akan berpengaruh dengan kemungkinan mikroplastik akan dikonsumsi oleh organisme khususnya yang hidup di permukaan perairan (Manalu, 2017). Hasil klasifikasi warna mikroplastik terdapat pada Tabel 8.

Tabel 8. Klasifikasi Warna Mikroplastik

No	Warna	Total Partikel		
		<i>Fiber</i>	<i>Fragment</i>	<i>Film</i>
1	Putih	70	15	11
2	Hitam	58	6	7
3	Biru	33	16	-
4	Merah	13	-	-
5	Krem	4	2	1
6	Coklat	1	-	-
7	Transparan	1	4	17

Berdasarkan hasil klasifikasi warna mikroplastik (Tabel 8) maka didapatkan warna jenis *fiber* yang tertinggi yaitu warna putih dengan jumlah 70 partikel yang ditemukan, kemudian warna hitam sejumlah 58 partikel, warna biru sejumlah 33 partikel, warna merah sejumlah 13 partikel, warna krem sejumlah 4 partikel, warna coklat sejumlah 1 partikel dan warna transparan sejumlah 1 partikel. Jenis *fiber* warna putih, hitam, biru, merah, krem, coklat dan transparan diduga berasal dari jaring tangkap nelayan yang telah mengalami degradasi dan benang pakaian hasil dari air sisa pencucian.

Jenis *fragment* yang tertinggi yaitu warna biru dengan jumlah 16 partikel yang ditemukan, kemudian warna putih sejumlah 15 partikel, warna hitam sejumlah 6 partikel, warna transparan sejumlah 4 partikel dan warna krem sejumlah 2 partikel, sementara untuk warna merah dan coklat tidak ditemukan. Jenis *fragment* dengan warna biru, putih, hitam transparan dan krem diduga berasal dari pecahan puing-puing makroplastik seperti botol minuman dan peralatan rumah tangga.

Selanjutnya, warna jenis *film* yang tertinggi yaitu warna transparan dengan jumlah 17 partikel yang ditemukan, kemudian warna putih sejumlah 11 partikel, warna hitam sejumlah 7 partikel, warna krem sejumlah 1 partikel dan untuk warna biru, merah, coklat tidak ditemukan dalam jenis *film*. Warna Jenis *film* berasal dari plastic kemasan tipis yang telah terdegradasi.

Secara umum, warna pada mikroplastik yang ditemukan masih pekat berarti mikroplastik belum mengalami perubahan warna (*discolouring*) yang signifikan. Warna transparan dan putih juga mengindikasikan lamanya mikroplastik tersebut mengalami fotodegradasi oleh sinar UV (Hiwari *et al.*, 2019). Warna hitam dapat mengindikasikan banyaknya kontaminan yang terserap dalam mikroplastik dan partikel organik lainnya. Mikroplastik berwarna hitam pula memiliki kemampuan menyerap polutan yang tinggi, juga berpengaruh terhadap tekstur

dari mikroplastik (GESAMP, 2016). Beragam warna ini berpengaruh terhadap kelimpahan mikroplastik.

4.3.3 Klasifikasi Ukuran Mikroplastik di Perairan Sendang Biru

Mikroplastik dikelompokkan menjadi 10 kelompok yaitu: <20 μm , 20-40 μm , 40-60 μm , 60-80 μm , 80-100 μm , 100-500 μm , 500-1000 μm , 1000-2000 μm , 2000-5000 μm dan >5000 μm (Nor dan Obbard, 2014). Hasil klasifikasi ukuran jenis mikroplastik dapat dilihat pada Tabel 9 berikut.

Tabel 9. Klasifikasi Ukuran Mikroplastik (Nor dan Obbard, 2014)

No	Ukuran (μm)	Total Partikel		
		<i>Fiber</i>	<i>Fragment</i>	<i>Film</i>
1	<20 μm	-	-	-
2	20-40 μm	-	-	-
3	40-60 μm	-	-	-
4	60-80 μm	-	-	-
5	80-100 μm	-	-	-
6	100-500 μm	5	3	-
7	500-1000 μm	13	1	2
8	1000-2000 μm	73	9	5
9	2000-5000 μm	89	30	29
10	>5000 μm	-	-	-

Berdasarkan hasil klasifikasi ukuran mikroplastik (Tabel 9) maka didapatkan hasil bahwa klasifikasi ukuran mikroplastik pada penelitian ini yang paling melimpah di permukaan perairan yaitu pada kelompok 9 dengan ukuran 2000-5000 μm untuk semua jenis mikroplastik yang ditemukan dengan jumlah *fiber* 89 partikel, *fragment* 30 partikel dan *film* 29 partikel. Kelompok 8 dengan ukuran 1000-2000 μm dengan jumlah *fiber* 73 partikel, *fragment* 9 partikel dan *film* 5 partikel. Kelompok 7 dengan ukuran 500-1000 μm dengan jumlah *fiber* 13 partikel, *fragment* 1 partikel dan *film* 2 partikel. Kelompok 6 dengan ukuran 100-500 μm dengan jumlah *fiber* 5 partikel dan *fragment* 3 partikel. Dalam penelitian ini hanya terdapat 4 kelompok mikroplastik dari 10 kelompok. Kelompok 1, 2, 3, 4 dan 5 tidak ditemukan diduga karena alat sampling *plankton net* hanya dengan *mesh*

size sekitar 200-300 μm sehingga ukuran partikel yang lebih kecil tidak dapat terbawa oleh *plankton net* dan tidak teridentifikasi.

Degradasi mikroplastik dapat kembali terjadi menjadi ukuran yang lebih kecil dan meningkatkan kelimpahan mikroplastik di permukaan perairan (manalu, 2017). Mikroplastik dengan densitas rendah mengapung paling melimpah di permukaan laut dan akan terbawa arus permukaan. Transport mikroplastik dipengaruhi oleh densitas dari masing-masing partikel mikroplastik di permukaan perairan (Claessens *et al.*, 2013).

4.3.4 Kelimpahan Mikroplastik pada setiap lokasi stasiun

Nilai kelimpahan mikroplastik pada setiap stasiun disajikan pada Tabel 10 sebagai berikut.

Tabel 10. Kelimpahan Mikroplastik Pada Setiap Lokasi Stasiun

No	Stasiun	Kelimpahan Mikroplastik (partikel m^{-3})
1	Mulut Selat Timur	1622,22
2	Pantai Sendang Biru	1311,11
3	Pelabuhan Sendang Biru	1200,00
4	Muara Sungai	822,22
5	Mulut Selat Barat	800,00

Sumber mikroplastik terbesar diindikasikan berasal dari *non point source* seperti aktivitas antropogenik, pelabuhan di kawasan Sendang Biru dan terbawa dari perairan lainnya. Rata-rata total kelimpahan mikroplastik (Tabel 10) perairan paling tinggi ditemukan pada stasiun 1 yaitu Mulut Selat bagian timur dengan nilai 1622,22 partikel m^{-3} . Hal ini diduga distribusi mikroplastik karena adanya pola pergerakan arus (Gambar 19) yang berasal dari timur dimana mengandung banyak partikel sampah mikroplastik dari Samudera Hindia serta dari perairan lainnya kemudian memasuki kawasan Mulut Selat dari ujung timur hingga menyebar dan terakumulasi ke dalam Perairan Sendang Biru. Transportasi dari mikroplastik sangat dipengaruhi oleh pola arus (Lusher *et al.*, 2015). Sementara

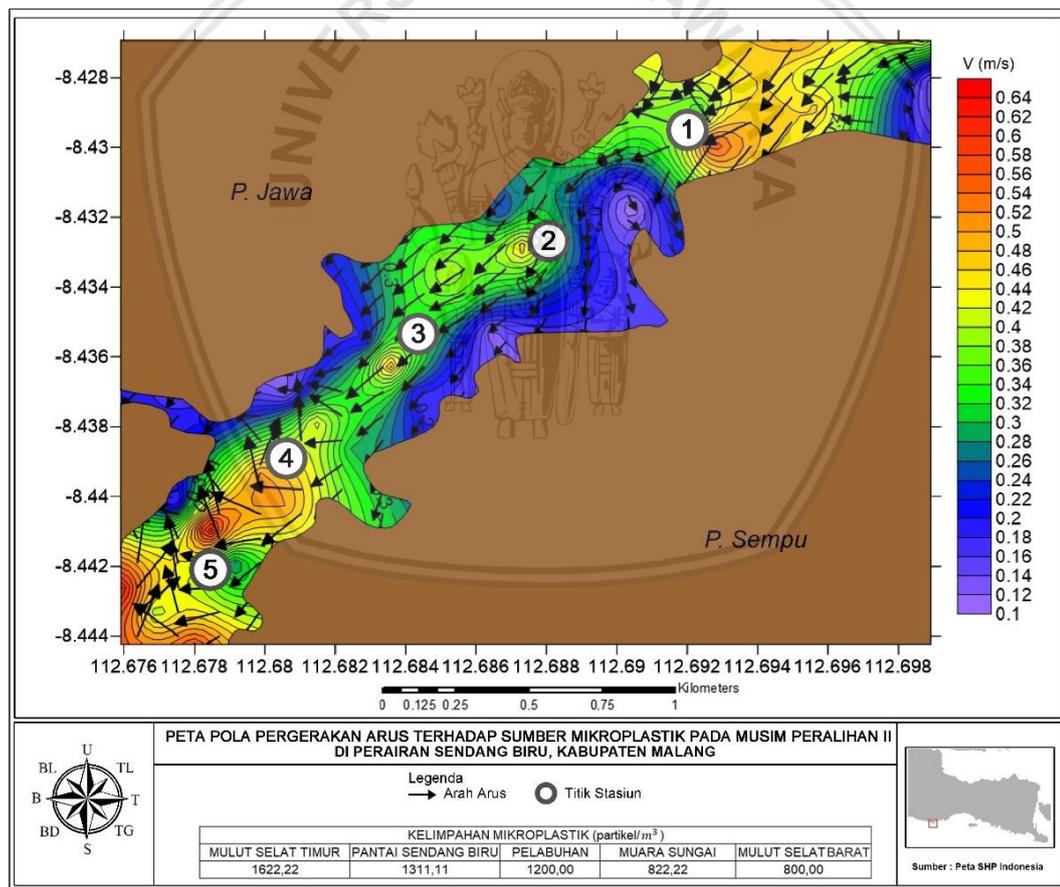
itu, kelimpahan jenis mikroplastik pada Pantai Sendang Biru sebesar 1311,11 partikel m^{-3} . Hal ini diduga berdasarkan limpahan sampah dari stasiun 1 dan kondisi pariwisata pantai yang ramai akan aktifitas manusia di sekitar kawasan sehingga menimbulkan banyaknya sampah yang dibuang sembarangan hingga memasuki perairan. Adanya aktifitas manusia di sekitar kawasan menjadi faktor distribusi sampah ke perairan (Assuyuti *et al.*, 2018). Kawasan Pelabuhan menempati posisi ketiga terbesar dengan nilai kelimpahan sebesar 1200 partikel m^{-3} . Hal ini diduga masih karena limpahan sampah yang terbawa arus dari stasiun 1 dan dari aktifitas di pelabuhan ini limbah plastik dapat dihasilkan, misalnya plastik yang bersumber dari kantong plastik nelayan untuk membungkus ikan mereka, makanan serta es batu (Dewi *et al.*, 2015).

Stasiun keempat yaitu Muara Sungai sebesar 822,22 partikel m^{-3} . Hal ini diduga karena kawasan ini merupakan pertemuan antara sungai dengan laut sehingga banyak sampah yang terbawa oleh aliran sungai dan menurut warga sekitar sungai ini akan mengalir deras dari pemukiman ketika hujan tiba. Namun, ketika cuaca cerah sungai ini cenderung tidak mengalir deras. Sampah yang berasal dari daratan terbawa melalui sungai kemudian menyebar dipesisir dan lautan lepas pantai mengikuti arus permukaan (Cozar *et al.*, 2014).

Stasiun kelima merupakan Mulut Selat bagian barat dengan nilai kelimpahan paling terkecil yaitu 800 partikel m^{-3} . Stasiun 5 merupakan Mulut Selat bagian barat sama seperti Stasiun 2 yaitu merupakan kawasan wisata, akan tetapi diduga karena kawasan Pantai Tiga Warna merupakan kawasan Konservasi sehingga para wisatawan yang berkunjung ke tempat tersebut sudah sadar untuk tidak membuang sampah sembarangan dan mencemari perairan sehingga mikroplastik yang ditemukan tidak begitu banyak dan berbeda dengan stasiun lainnya. Pantai Tiga Warna termasuk ke dalam CMC (*Clungup Mangrove Conservation*) rutin mengadakan membersihkan sampah-sampah dan dimana

semua barang bawaan pengunjung diperiksa oleh petugas terutama makanan dan minuman yang menimbulkan sampah. Jika masih terdapat sampah yang tertinggal maka pengunjung akan dikenakan denda (Husamah dan Hudha, 2018).

Kelimpahan jenis mikroplastik (Tabel 10) ini memiliki rentang yang tidak jauh berbeda. Hal ini bisa disebabkan oleh sumber pencemar yang berada dekat lokasi pengambilan dan arus yang membawa partikel mikroplastik. Distribusi sampah mikroplastik di laut dipengaruhi pasang surut dan arus di samudra luas, sebelum terakumulasi di daerah pesisir yang terkait dengan pergerakan air yang terbatas (Nor dan Obbard, 2014). Sumber keberadaan mikroplastik terkait pergerakan arus dapat dilihat pada Gambar 19 sebagai berikut.



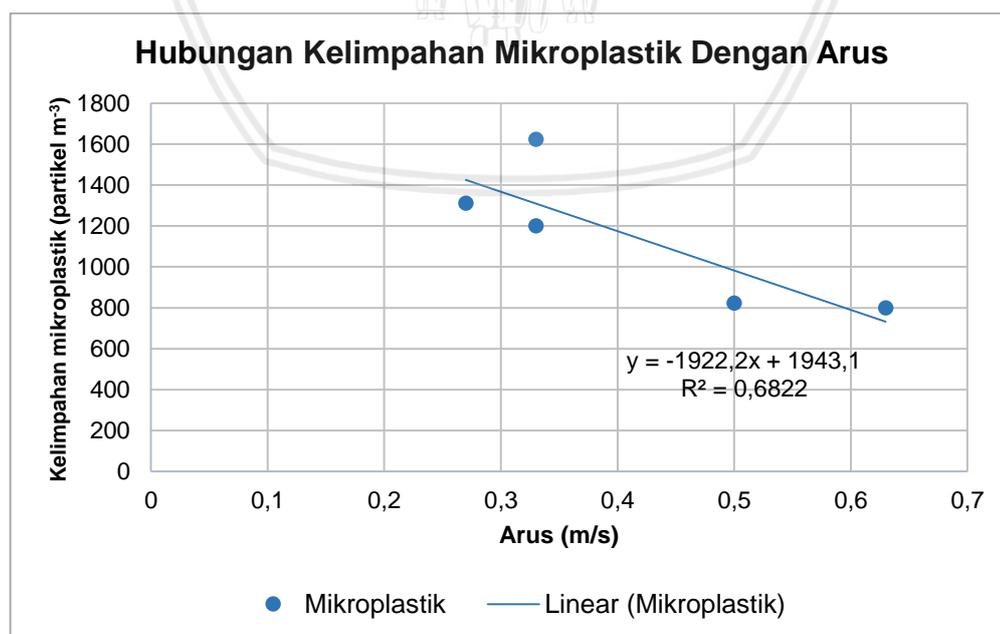
Gambar 19. Pola Pergerakan Arus Terhadap Sumber Mikroplastik

Berdasarkan peta pola pergerakan arus (Gambar 19) menunjukkan bahwa arus pada Musim Peralihan II juga membantu distribusi mikroplastik. Pada stasiun

1 yang berada di ujung selat bagian timur memiliki nilai kelimpahan paling tinggi dibanding lainnya, kemudian nilai tersebut menurun pada stasiun 2 dan 3, selanjutnya hingga nilai kelimpahan terendah didapatkan pada stasiun 4 dan 5 yang berada di ujung selat bagian barat, hal ini bisa saja disebabkan oleh pergerakan arus dan adanya Rumah Apung diantara stasiun 3 dan 4 sehingga menghambat aliran arus. Pola pergerakan arus (Gambar 19) menunjukkan bahwa arus datang dari arah timur menuju barat dengan kecepatan antara 0,1 – 0,6 m/s yang diduga arus ini membawa partikel-partikel mikroplastik yang bersumber dari perairan lepas Samudra Hindia, sehingga masuk dan terakumulasi dalam Perairan Sendang Biru ini. Distribusi ini secara tidak langsung juga dipengaruhi oleh densitas dari mikroplastik.

4.4 Hubungan Distribusi Kelimpahan Mikroplastik dengan Arus

Hasil statistik uji regresi linear pada Gambar 20 dan Lampiran 4, didapatkan bahwa terdapat pengaruh pergerakan arus terhadap distribusi kelimpahan mikroplastik setiap stasiun dengan nilai *p-value* 0,085 dan *Regression Equation* $y = 1943 - 1922x$.



Gambar 20. Grafik Hubungan Kelimpahan Mikroplastik dengan Arus

Hal ini menunjukkan bahwa jika permukaan perairan memiliki arus yang tenang maka akan lebih besar nilai kelimpahan mikroplastiknya karena lebih lama terakumulasi di satu titik perairan tersebut, sedangkan jika permukaan perairan memiliki arus yang cepat maka kelimpahan mikroplastik pada satu titik koordinat akan menurun dikarenakan partikel mikroplastik akan lebih mudah terbawa oleh arus yang cepat menuju ke perairan lainnya. Kondisi arus selat yang cukup tinggi akan lebih memudahkan transportasi mikroplastik yang ada di kolom perairan berpindah ke tempat lain. Dinamika laut berupa kecepatan arus dapat mengendalikan aliran partikel mikroplastik menyebar di perairan (Horton *et al.*, 2016). Transport mikroplastik dipengaruhi oleh densitas dari masing-masing partikel mikroplastik (Claessens *et al.*, 2013). Puing-puing dari sampah plastik masuk ke laut melalui berbagai macam cara. Sampah plastik akan berada di permukaan laut dan selanjutnya plastik terbawa oleh arus laut dan plastik akan terakumulasi oleh lingkungan laut (Zhang *et al.*, 2017). Distribusi ini secara tidak langsung juga dipengaruhi oleh densitas dari mikroplastik, dimana semakin ringan densitas dari jenis mikroplastik akan semakin mudah didistribusikan ke berbagai perairan terbuka lainnya. Pada lokasi selat ini memungkinkan massa air laut mengumpul dan bergerak lebih cepat karena semakin menyempitnya ruang gerak dari laut menuju selat. Arus pasut mempunyai sifat bergerak dengan arah saling bertolak belakang (*bi-directional*). Fase pasang surut mempengaruhi arah dan kecepatan arus (Putri *et al.*, 2015). Arus mampu membawa mikroplastik jauh dari titik awal ditemukannya mikroplastik tersebut (Thiel *et al.*, 2013). Kondisi arus yang cepat mampu membawa partikel mikroplastik dengan densitas rendah seperti *fiber* menuju ke perairan lainnya. Arus pantai dan transportasi angin dapat berkontribusi pada distribusi mikroplastik yang lebih tinggi di mulut sungai dan berdekatan dengan pantai (Joetidawati, 2018). Redistribusi oleh arus pasang surut dapat dianggap sebagai kekuatan pendorong lain untuk distribusi spasial mikroplastik.

Mikroplastik di SML (*Surface Microlayer*) lebih sering terkena fisik (angin dan arus), biologis (aktifitas mikroorganisme), dan kimia (foto-oksidasi atau reaksi hidroksi-radikal) kekuatan pelapukan, yang dapat mempercepat terjadinya fragmentasi mikroplastik di perairan (Chae *et al.*, 2015). Arus menjadi faktor penting yang mempengaruhi distribusi mikroplastik di permukaan Perairan Sendang Biru karena mampu membawa puing-puing plastik dengan berbagai ukuran dari perairan satu menuju ke perairan lainnya (Xiong *et al.*, 2018).



BAB V. KESIMPULAN DAN SARAN

5.1 Kesimpulan

Kesimpulan dari penelitian ini adalah sebagai berikut:

- Pola pergerakan arus pada Musim Peralihan II dimana arus berasal dari timur dan selatan yang berpotensi menimbulkan siklon tropis. Pola pergerakan arus musiman ini mampu mempengaruhi keberadaan mikroplastik.
- Jenis mikroplastik yang ditemukan yaitu *fiber*, *fragment* dan *film* dengan nilai kelimpahan mikroplastik yang cukup tinggi 5755,56 partikel m⁻³. Klasifikasi ukuran mikroplastik tertinggi berkisar antara 2000-5000 µm untuk semua jenis mikroplastik. Klasifikasi warna mikroplastik jenis *fiber* didominasi warna putih, *fragment* didominasi warna biru dan *film* didominasi warna transparan. Sumber mikroplastik terbesar diduga berasal dari *non point source* seperti aktivitas antropogenik, pelabuhan, dan limbah sampah plastik di kawasan Sendang Biru maupun yang terbawa dari perairan lainnya.
- Hubungan antara distribusi kelimpahan mikroplastik dengan arus menunjukkan nilai *p-value* 0,085. Hal ini menunjukkan bahwa jika permukaan perairan memiliki arus yang tenang maka akan lebih besar nilai kelimpahan mikroplastik yang terakumulasi lebih lama di perairan tersebut, sedangkan jika permukaan perairan memiliki arus yang cepat maka kelimpahan mikroplastik pada satu titik koordinat akan menurun dikarenakan partikel mikroplastik akan lebih mudah terbawa oleh arus yang cepat menuju ke perairan lainnya.

5.2 Saran

Penelitian tentang mikroplastik di kawasan Pantai Sendang Biru sebaiknya dilakukan dengan mempertimbangkan pada setiap Musim Darat (Musim Kemarau Dan Musim Hujan) dan Musim Laut (Musim Barat, Musim Timur, Musim Peralihan 1 dan 2) agar mengetahui kelimpahan pada musim yang berbeda.

DAFTAR PUSTAKA

- Andrady, A.L., 2011. *Microplastics in the Marine Environment*. Marine pollution bulletin. 62:1596-1605.
- Asia dan Arifin, M.Z., 2017. *Dampak Sampah Plastik Bagi Ekosistem Laut*. Buletin Matric Vol. 14 No. 1.
- Assuyuti, Y.M., Zikrillah, R.B., Tanzil, M.A., 2018. *Distribusi dan Jenis Sampah Laut serta Hubungannya terhadap Ekosistem Terumbu Karang Pulau Pramuka, Panggang, Air, dan Kotok Besar di Kepulauan Seribu Jakarta*. Majalah Ilmiah Biologi Biosfera: A Scientific Journal, Vol 35, No 2: 91-102.
- Aziz, M. 2006. *Gerak Air Laut*. Oseana 31, 9–21.
- Ballent, A., Purser, A., de Jesus Mendes, P., Pando, S., Thomsen, L., 2012. *Physical Transport Properties of Marine Microplastic Pollution*. Biogeosci. Discuss. 9, 18755-18798.
- Bouwman, H., Minnaar, K., Bezuidenhout, C., and Verster, C., 2018. *Microplastics in Freshwater Water Environments*. North West University.
- Browne, M.A., Crump, P., Niven, S.J., Teuten, E., Tonkin, A., Galloway, T., Thompson, R., 2011. *Accumulation of Microplastic on Shorelines Worldwide: Sources and Sinks*. Environ. Sci. Technol. 45 (21), 9175-9179.
- Chae, D.H., Kim, I.S., Kim, S.K., Song, Y.K., and Shim, W.J., 2015. *Abundance and Distribution Characteristics of Microplastics in Surface Seawaters of the Incheon/Kyeonggi Coastal Region*. Environmental Contamination and Toxicology.
- Claessens, M., Meester, S.D., Landuyt, L.V., Clerk, K.D., Janssen, C.R., 2011. *Occurrence And Distribution Of Microplastics In Marine Sediments Along The Belgian Coast*. Mar. Pollut. Bull. 62, 2199-2044.
- Claessens, M., Van Cauwenberghe, L., Vandegehuchte, M.B., Janssen, C.R., 2013. *New Techniques for the Detection of Microplastics in Sediments and Fields Collected Organisms*. Mar. Pollut. Bull. 70, 227-233.
- Cole, M., P. Lindeque, C. Halsband & Galloway, T.S., 2011. *Microplastics as Contaminants in the Marine Environment: A Review*. Mar. Pollut. Bull. 62:2588–2597.
- Coppock, R.L., Cole, M., Penelope K. Lindeque, Ana M. Queiros and Galloway, T.S., 2017. *A Small-Scale, Portable Method For Extracting Microplastics From Marine Sediments*. Environmental Pollution.
- Cózar, A., F. Echevarría, J.I. González-Gordillo, X.Irigoien, B. Úbeda, S. Hernández-León, Á.T. Palma, S. Navarro, J. García-deLomas, A. Ruiz, M.L. Fernández-de-Puelles & Duarte, C.M., 2014. *Plastic Debris in the Open Ocean*. PNAS. 1-6 pp.



- Daruwedho, H., Sasmito, B., dan Janu, A.F., 2016. *Analisis Pola Arus Laut Permukaan Perairan Indonesia Dengan Menggunakan Satelit Altimetri Jason-2 Tahun 2010-2014*. Jurnal Geodesi Undip.
- Dewi, I.S., Budiarsa, A.A., Ritonga, I.R., 2015. *Distribusi Mikroplastik Pada Sedimen di Muara Badak, Kabupaten Kutai Kartanegara*. DEPIK 4.
- Di, M., and Wang, J., 2018. *Microplastics in surface waters and sediments of the Three Gorges Reservoir, China*. Elsevier 616–617, 1620–1627.
- Duis and Coors. 2016. *Microplastics In The Aquatic And Terrestrial Environment: Sources (With a Specific Focus on Personal Care Products), Fate and Effects*. Environ Sci Eur. 28:2.
- GESAMP. 2016. *Sources, Fate And Effects of Microplastics In The Marine Environment: Part Two of a Global Assessment* (Kershaw, P.J., and Rochman, C.M., eds). (IMO/FAO/UNESCO-IOC/UNIDO/WMO/IAEA/UN/UNEP/UNDP Joint Group of Experts on the Scientific Aspects of Marine Environmental Protection). Rep. Stud. GESAMP No. 93, 220 p.
- Gregory, M.R., 1996. *Plastic 'Scrubbers' in Hand Cleansers: a Further (and Minor) Source For Marine Pollution Identified*. Mar. Pollut. Bull. 32, 867-871.
- Hadi, Safwan. 2006. *Arus laut*. ITB. Bandung.
- Halden, R.U., 2010. *Plastics and Health Risks*. Center for Environmental Biotechnology. Arizona State University.
- Handartoputra, A., Purwanti, F., dan Hendrarto, B., 2015. *Penilaian Kerentanan Pantai Di Sendang Biru Kabupaten Malang Terhadap Variabel Oceanografi Berdasarkan Metode CVI (Coastal Vulnerability Index)*. Diponegoro Journal of Maquares. Volume 4, Nomor 1, Halaman 91-97.
- Hastuti, A.R., Yulianda, F., Wardianto, Y., 2014. *Distribusi Spasial Sampah Laut di Ekosistem Mangrove Pantai Indah Kapuk Jakarta*. Departemen Manajemen Sumber Daya Perairan Fakultas Perikanan dan Ilmu Kelautan Institut Pertanian Bogor.
- Hidalgo-Ruz, V., Gutow, L., Thompson, R.C., Thiel, M., 2012. *Microplastics in the Marine Environment: a Review of the Methods Used for Identification and Quantification*. Environ. Sci. Technol. 46 (6), 3060-3075.
- Hidayati, N. 2017. *Dinamika Pantai*. UB Press: Malang.
- Hiwari, H., Purba, N.P., Ihsan, Y.N., Yuliadi, L.P.S dan Mulyani, P.G., 2019. *Kondisi Sampah Mikroplastik di Permukaan Air Laut Sekitar Kupang Dan Rote, Provinsi Nusa Tenggara Timur*. PROS SEMNAS MASY BIODIV INDON. Volume 5, Nomor 2. ISSN: 2407-8050.
- Horton, A. A., Claus, S., Richard, J. W., David, J. S., Elma, L. 2016. *Large Microplastic Particles in Sediments of Tributaries of the River Thames, UK – Abundance, Sources and Methods for Effective Quantification*. Mar. Pollut. Bull. 114: 218 –226.

- Husamah dan Hudha, A.M., 2018. *Evaluasi Implementasi Prinsip Ekowisata Berbasis Masyarakat Dalam Pengelolaan Clungup Mangrove Conservation Sumbermanjing Wetan, Malang*. Jurnal Pengelolaan Sumberdaya Alam dan Lingkungan Vol. 8 No. 1: 86-95.
- Hutabarat, S. 2001. *Pengaruh Kondisi Oseanografi Terhadap Perubahan Iklim, Produktivitas dan Distribusi Biota Laut*. Pidato Pengukuhan Jabatan Guru Besar Madya Dalam Ilmu Oseanografi pada Fakultas Perikanan dan Ilmu Kelautan Universitas Diponegoro. Semarang.
- Jambeck, R.J., Geyer, R., Wilcox, C., Siegler, R.T., Perryman, M., Andrady, A., Narayan, R., Law, L.K., 2015. *Plastic Wasteinputs from Land into the Ocean*. Science. Vol. 347, Issue 6223, pp. 768-771
- Joesidawati, M.I. 2018. *Pencemaran Mikroplastik di Sepanjang Pantai Kabupaten Tuban*. Prosiding Seminar Nasional Hasil Penelitian dan Pengabdian kepada Masyarakat III. Universitas PGRI Ronggolawe Tuban. Vol 3. ISSN: 2580-3921.
- Karapanagioti, H. K., 2015. *Hazardous Chemicals and Microplastics in Coastal and Marine Environments*. Micro 2015: Book of abstracts.
- Lanuru, M., 2011. *Pengantar Oseanografi*. Universitas Hasanuddin: Makassar.
- Law, K.L., Mor_et-Ferguson, S., Maximenko, N.A., Proskurowski, G., Peacock, E.E., Hafner, J., Reddy, C.M., 2010. *Plastic Accumulation in the North Atlantic Subtropical Gyre*. Science 329, 1185-1188.
- Lusher, A., 2015. *Microplastics in the Marine Environment: Distribution, Interactions and Effects*. Mar. Freshw. Res. Cent. 245–307.
- Luthfi, O.M., dan Jauhari, A., 2013. *Assesmen Kondisi Fisika-Kimia Oseanografi Perairan Pulau Sempu Malang Selatan sebagai Parameter Penentuan Lokasi Pembuatan Taman Karang*. Marine Science University of Brawijaya Malang.
- Manalu, A.A., 2017. *Kelimpahan Mikroplastik di Teluk Jakarta*. Tesis. Program Studi Ilmu Pengelolaan Sumberdaya Alam dan Lingkungan. Institut Pertanian Bogor.
- Marina, A., Pamungkas, S.T., dan Asikin, D., 2014. *Pola Spasial Fasilitas Pelabuhan Perikanan Pantai Pondokdadap Sendang Biru Malang*. Jurusan Arsitektur, Fakultas Teknik, Universitas Brawijaya.
- Marpaung, S., dan Prayogo, T., 2014. *Analisis Arus Geostropik Permukaan Laut Berdasarkan Data Satelit Altimetri*. Jakarta. LAPAN.
- 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 Inwaters and Sediments*. Natl. Ocean. Atmospheric Adm. NOAA Technical Memorandum NOS-OR&R-48.



- Nor, N.H.M., dan Obbard, J.P., 2014. *Microplastics in Singapore's Coastal Mangrove Ecosystems*. Mar. Pollut. Bull. 79, 278-283.
- Poerbandono dan Djunasjah. 2005. *Survei Hidrografi*. Refika Aditama, Bandung. 166 hlm.
- Pond and Pickard, 1983. *Introductory Dynamical Oceanography*. Pergamon Press, Oxford.
- Purwaningrum, Pramiati. 2016. *Upaya Mengurangi Timbulan Sampah Plastik di Lingkungan*. Jurnal Teknik Lingkungan. Vol 8 No.2, 141-147. ISSN: 1829-6572.
- Putri, T. P., Rifai, A., dan Ismanto, A., 2015. *Studi Karakteristik Pola Arus di Perairan Selat Lampa, Kabupaten Natuna, Provinsi Kepulauan Riau*. Jurnal Oseanografi. Volume 4, Nomor 2, Halaman 499 – 507.
- Ramadhan, Muhammad. 2011. *Komparasi Hasil Pengamatan Pasang Surut di Perairan Pulau Pramuka dan Kabupaten Pati dengan Prediksi Pasang Surut Tide Model Driver*. Jurnal Kelautan dan Perikanan. Pusat Penelitian dan Pengembangan Sumber Daya Pesisir dan Laut-KKP.
- Stolte, A., Forster, S., Gerdts G., Schubert H., 2015. *Microplastic Concentrations in Beach Sediments along the German Baltic Coast*. Marine Pollution Bulletin. Elsevier
- Thiel, M., Hinojosa, I. A., Miranda, L., Pantoja, J. F., Rivadeneira, M. M., Vasquez, N., 2013. *Anthropogenic Marine Debris in the Coastal Environment: A Multi-Year Comparison between Coastal Waters And Local Shores*. Mar. Pollut. Bull. 71: 307-316.
- Tsang, Y., Mak, C., Liebich, .C, Lam, W., Sze, T.-P.E., Chan, K.M., 2017. *Microplastic Pollution in the Marine Waters And Sediments of Hong Kong*. Elsevier.
- Victoria, A.V., 2017. *Kontaminasi Mikroplastik di Perairan Tawar*. Teknik Kimia, Institut Teknologi Bandung.
- Viršek, M. K., Palatinus, A., Koren, Š., Peterlin, M., Horvat, P., Kržan, A., 2016. *Protocol for Microplastics Sampling on the Sea Surface and Sample Analysis*. J. Vis. Exp. 118: 55161.
- Widianarko, B. dan Hantoro, I., 2018. *Mikroplastik dalam Seafood dari Pantai Utara Jawa*. Universitas Katolik Soegijapranata. ISBN 978-602-6865-74-8
- Wyrtki, K., 1961. *Physical Oceanography of the Southeast Asian Water*. The University of California, California.
- Xiong, X., Zhang, K., Chen, X., Shi, H., Luo, Z., Wu, C., (2018). *Sources and Distribution Of Microplastics In China's Largest Inland Lake—Qinghai Lake*. Environ. Pollut. 235: 899–906.

- Yusuf, Muh., Gentur Handoyo, Muslim, Sri Yulina Wulandari, dan Heriyoso Setiyono. 2012. *Karakteristik Pola Arus Dalam Kaitannya dengan Kondisi Kualitas*. Buletin Oseanografi Marina. Vol.1. 63-74.
- Zhang, W., Zhang, S., Wang, J., Wang, Y., Wang, P., Lin, X., Ma, D., 2017. *Microplastic Pollution in the Surface Waters of the Bohai Sea, China*. Environmental Pollution 541-548. Elsevier.
- Zhu, Willa H., F. Bonjean, G. Lagerloef, and N. Soreide. 2007. *Interactive Web Access to Ocean Surface Current Analyses – Realtime Data*. Seattle, Washington: University of Washington.

