

### III. HASIL DAN PEMBAHASAN

#### 4.1 Kondisi Umum Lokasi Penelitian

Perairan Wonorejo merupakan salah satu daerah penghasil kepiting bakau di Surabaya (Meirikayanti *et al.*, 2018). Perairan ini menjadi salah satu bagian dari Pantai Timur Surabaya yang terletak di Kelurahan Wonorejo, Kecamatan Rungkut, Kota Surabaya (Wijaya and Huda, 2018). Perairan ini menerima aliran dari sungai Jagir, Wonokromo, Wonorejo, dan Gunung Anyar (Sari *et al.*, 2017). Wilayah Pantai Timur Surabaya memiliki kemiringan 0 – 3° dan kedalaman 1 – 3 meter dengan rata-rata ketinggian pasang surutnya 1,67 m sehingga memiliki tipe campuran condong harian ganda yakni terjadi dua kali pasang dan dua kali surut dalam sehari. Pengendapan dari sistem sungai sekitar membentuk kawasan di sekitar Pantai Timur Surabaya menjadi suatu delta. Selain itu, peristiwa-peristiwa alam yang terjadi di laut juga mempengaruhi pembentukan kawasan ini sehingga cocok sebagai habitat yang baik bagi pertumbuhan dan perkembangan *mangrove*. Oleh karena itu, pada wilayah ini juga terdapat kawasan ekowisata *mangrove* yang dijadikan sebagai tempat rehabilitasi *mangrove* (Mulyadi *et al.*, 2016).

Perairan Wonorejo memiliki geomorfologi muara yang berasal dari akumulasi sedimen (akrasi) akibat banyaknya sedimen yang terbawa oleh aliran sungai. Hal tersebut dapat dilihat dari adanya hamparan lumpur saat air laut surut. Substrat sedimennya berupa lumpur halus dengan lapisan dalam berwarna kehitaman (Mulyadi *et al.*, 2016). Sayangnya, perairan Wonorejo menjadi salah satu kawasan yang berada di Kota Surabaya dengan tingkat pencemaran tertinggi diantara wilayah Wonorejo lainnya (Rachmawati *et al.*, 2018). Pencemaran terjadi karena keberadaan sungai disalahgunakan sebagai tempat pembuangan sampah yang terdistribusi ke muara sungai hingga menuju ke perairan laut. Selain itu, aktivitas

seperti industri, perkapalan, dan aktivitas antropogenik lainnya juga semakin memperparah tingkat pencemaran (Sari *et al.*, 2017).

Pencemaran yang terjadi di perairan Wonorejo berasal dari adanya aliran sungai Jagir yang bermuara ke Pantai Timur Surabaya melewati sungai Wonorejo. Aliran sungai tersebut membawa limbah yang dihasilkan dari aktivitas manusia seperti memancing ikan. Selain itu, pada kawasan ini juga terdapat dermaga tempat berlabuhnya kapal, area tambak, pemukiman penduduk, dan industri (Harnani dan Titah, 2017). Tidak menutup kemungkinan dari adanya aktivitas manusia tersebut (Gambar 7.) timbul salah satu dampak pencemaran yang membutuhkan perhatian khusus yakni sampah plastik. Plastik dapat berubah menjadi partikel-partikel berukuran mikro yang dapat mengendap di sedimen dan terbawa oleh arus ke lingkungan perairan laut.



Gambar 7. Denah Lokasi Kawasan Wonorejo

Pengambilan data lapang dilakukan pada 8 September 2019 pukul 08.00 – 11.00 WIB dan 13.00 – 15.00 WIB dengan lima (5) stasiun pengambilan sampel mikroplastik dan 17 titik pengambilan data arus. Pada saat pengambilan data lapang dilakukan, cuacanya terik dengan pergerakan arusnya yang tergolong tenang dan air semakin surut saat siang hari menjelang. Banyak ditemukan adanya aktivitas manusia seperti memancing ikan dan melaut di beberapa stasiun

pengambilan sampel. Stasiun pengambilan sampel mikroplastik terdiri dari dermaga, ekowisata *mangrove*, tambak, muara sungai, dan laut terbuka. Kelima stasiun tersebut dijelaskan sebagai berikut.



Gambar 8. Stasiun 1 Dermaga

Stasiun 1 (Gambar 8.) terletak di area dermaga yang ditemukan beberapa perahu tengah bersandar dan beberapa orang yang sedang memancing ikan. Arus di area dermaga cukup tenang dengan ketinggian airnya yang semakin berkurang saat siang hari menjelang. Hal tersebut dikarenakan pengambilan data lapang dilakukan pada bulan September yang termasuk ke dalam musim peralihan II. Sedimen di stasiun 1 bersubstrat lumpur.



Gambar 9. Stasiun 2 Ekowisata *Mangrove*

Stasiun 2 (Gambar 9.) terletak di kawasan ekowisata *mangrove* yang dekat dengan area sungai. Sedimen yang berada di stasiun ini memiliki substrat berlumpur dengan warna kehitaman. Arus di sekitar stasiun ini juga tergolong tenang saat pengambilan data di pagi hari dan menjelang sore hari. Stasiun ini ditumbuhi dengan beragam jenis *mangrove* terutama jenis *Avicennia marina* yang paling banyak ditemukan. Banyak pengunjung yang memadati kawasan ini dikarenakan pengambilan data lapang dilakukan saat hari libur yakni pada Minggu.



Gambar 10. Stasiun 3 Tambak

Stasiun 3 (Gambar 10.) terletak di area tambak kepiting bakau. Pergerakan air di tambak sangat tenang. Sedimen yang berada disana bersubstrat lumpur dengan warna kehitaman dan baunya sedikit menusuk. Selain itu, area tambak juga masih dikelilingi dengan *mangrove-mangrove*.



Gambar 11. Stasiun 4 Muara Sungai

Stasiun 4 (Gambar 11.) terletak di muara sungai yang ditemukan adanya kapal dan perahu angkutan pengunjung tengah bersandar. Selain itu, terdapat beberapa orang yang sedang memancing ikan. Pergerakan arus di stasiun ini masih tergolong tenang tetapi lebih kuat jika dibandingkan dengan stasiun-stasiun sebelumnya. Sedimen yang berada di stasiun ini bersubstat lumpur halus dengan warna kehitaman.



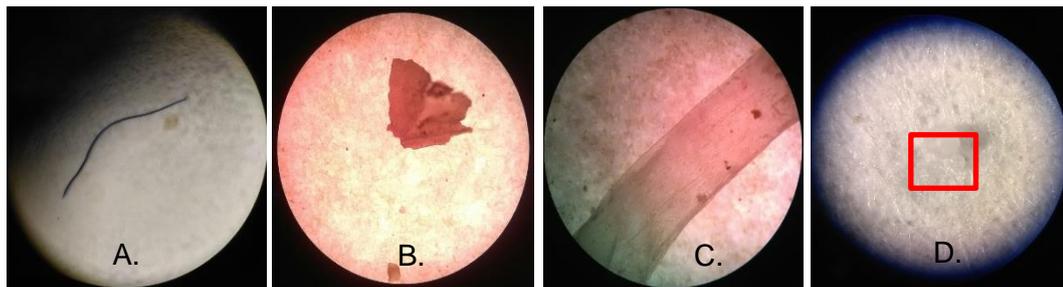
Gambar 12. Stasiun 5 Laut Terbuka

Stasiun 5 (Gambar 12.) terletak di kawasan laut terbuka dengan pergerakan arus yang lebih kuat tapi masih tergolong tenang. Sedimen yang berada di stasiun ini memiliki substrat berpasir. Pada stasiun ini ditemukan adanya gazebo-gazebo yang dijadikan sebagai tempat pengunjung beristirahat dan mengambil foto. Selain itu, ditemukan beberapa perahu yang digunakan untuk aktivitas melaut di stasiun ini. Potensi perikanannya cukup tinggi tetapi masih banyak ditemukan adanya pencemaran yang dapat merusak potensi tersebut.

#### **4.2 Jenis Mikroplastik di Wonorejo**

Mikroplastik dapat bersifat primer yang sengaja dibuat menjadi ukuran mikroskopis ataupun bersifat sekunder yang berasal dari plastik berukuran besar dan telah terdegradasi menjadi partikel-partikel kecil. Mikroplastik tersebut telah terakumulasi di lautan seluruh dunia selama empat dekade terakhir (Wright *et al.*, 2013). Mikroplastik terdegradasi dengan berbagai macam penyebab. Diantaranya

yakni biodegradasi akibat aktivitas mikroba, fotodegradasi akibat paparan sinar UV, termooksidatif akibat kerusakan oksidatif pada suhu sedang, degradasi termal akibat suhu tinggi, dan hidrolisis akibat reaksi air. Selain itu, mikroplastik juga berasal dari adanya pengaruh fisika (Andrady, 2011). Berdasarkan dari hasil penelitian yang dilakukan di perairan Wonorejo, diketahui bahwa jenis mikroplastik yang ditemukan meliputi *fiber*, *fragment*, *filament*, dan *pellet* (Gambar 13.).



Gambar 13. Jenis Mikroplastik (A. *fiber* berwarna biru; B. *fragment* berwarna coklat; C. *filament* berwarna transparan; D. *pellet* berwarna putih)

*Pellet* merupakan jenis mikroplastik primer yang partikel plastiknya dari awal sudah dibuat dengan ukuran tersebut. *Pellet* yang ditemukan pada sampel sedimen dan sampel air di perairan Wonorejo ini diduga berasal dari adanya pabrik-pabrik yang memproduksi plastik salah satunya yakni PT. *Multiplast Indojava*. PT. *Multiplast Indojava* menjadi salah satu perusahaan yang bergerak di bidang industri berupa *plastic houseware*. Perusahaan ini menggunakan bahan yang berasal dari *polypropylene* dengan sistem pengoperasian mesinnya menggunakan tenaga kerja harian (Angelina dan Indriyani, 2013). Limbah yang dihasilkan dari pabrik plastik tersebut diduga terbawa oleh aliran sungai hingga ke Pantai Timur Surabaya melewati sungai Wonorejo. Sementara itu, *fiber*, *fragment*, dan *filament* merupakan jenis mikroplastik sekunder yang berasal dari fragmentasi partikel plastik yang lebih besar. Fragmentasi plastik di laut terjadi melalui fotodegradasi, dampak fisik, dan proses lainnya. Sebagian besar mikroplastik di lingkungan laut berasal dari proses sekunder (Tanaka dan Takada, 2016). *Fiber* berasal dari alat tangkap seperti jaring dan alat pancing serta pakaian yang

digunakan sehari-hari. *Fragment* biasanya berasal dari daerah-daerah yang terdapat banyak botol minum, toples sisa, galon, *map* mika, dan alat rumah tangga lainnya yang terbuang. Sementara itu, *filament* berasal dari proses fragmentasi kantong plastik berdensitas rendah (Hastuti *et al.*, 2014).

Total mikroplastik yang ditemukan dari hasil tiga (3) kali pengulangan pada sedimen sebanyak 286 partikel dan pada perairan sebanyak 365 partikel. Jenis mikroplastik yang ditemukan pada sedimen dapat dilihat melalui Tabel 9.

Tabel 9. Jenis Mikroplastik pada Sedimen

Sampel Sedimen		Jenis Mikroplastik (Partikel)				Total
Stasiun	Pengulangan	Fiber	Fragment	Filament	Pellet	
1	1	0	1	2	3	6
	2	1	2	2	2	7
	3	21	3	0	0	24
2	1	8	8	2	1	19
	2	6	9	1	0	16
	3	3	10	1	0	14
3	1	2	2	0	2	6
	2	2	3	3	2	10
	3	3	8	4	5	20
4	1	6	0	3	2	11
	2	5	8	0	0	13
	3	1	3	1	2	7
5	1	7	30	2	7	46
	2	2	21	9	3	35
	3	1	42	8	1	52
<b>Total</b>		68	150	38	30	286

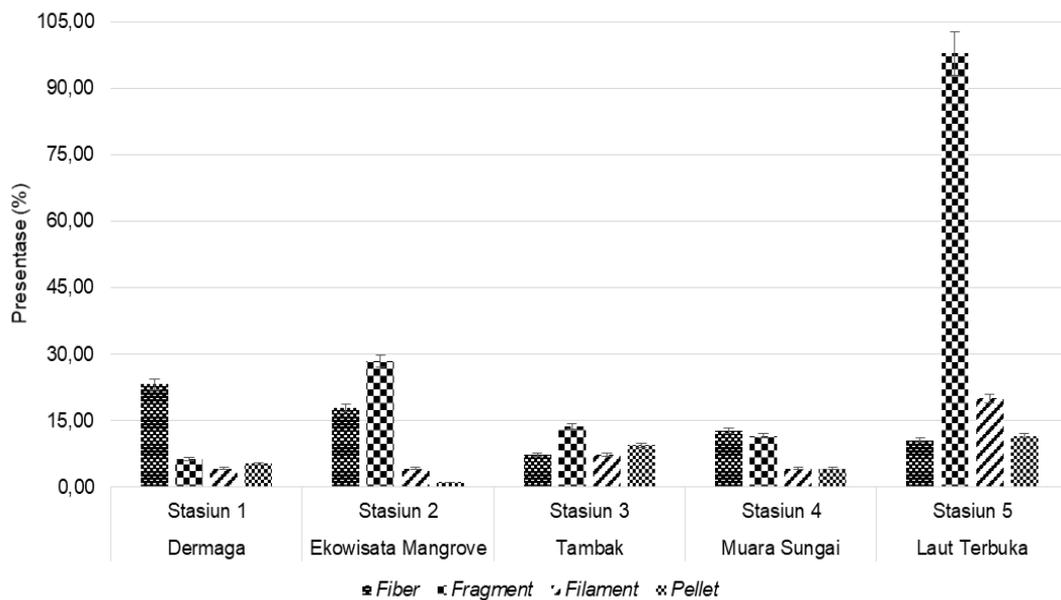
Sementara itu, jenis mikroplastik pada perairan dapat dilihat melalui Tabel 10.

Tabel 10. Jenis Mikroplastik pada Perairan

Sampel Perairan		Jenis Mikroplastik (Partikel)				Total
Stasiun	Pengulangan	Fiber	Fragment	Filament	Pellet	
1	1	3	3	1	0	7
	2	8	1	1	3	13
	3	11	3	1	0	15
2	1	3	1	0	0	4
	2	30	8	1	1	40
	3	49	1	1	0	51
3	1	30	4	2	0	36
	2	11	2	1	1	15
	3	32	1	1	1	35
4	1	5	15	0	1	21

Sampel Perairan		Jenis Mikroplastik (Partikel)				Total
Stasiun	Pengulangan	Fiber	Fragment	Filament	Pellet	
5	2	5	2	0	0	7
	3	10	0	2	1	13
	1	16	13	2	1	32
	2	18	6	3	0	27
	3	30	15	3	1	49
<b>Total</b>		261	75	19	10	365

Sementara itu, presentase jenis mikroplastik pada sedimen yang telah dirata-rata dari hasil tiga (3) pengulangan setiap stasiun dapat dilihat pada Gambar 14.



Gambar 14. Presentase Jenis Mikroplastik pada Sedimen

Berdasarkan diagram batang diatas, dapat dilihat bahwa jenis mikroplastik di sedimen yang paling banyak ditemukan yakni *fragment* pada stasiun 5 (Laut Terbuka) dengan presentase 97,89%. Mikroplastik yang ditemukan umumnya berjenis *fiber*, *fragment*, *filament*, dan *pellet* baik pada sedimen maupun perairan yang lokasinya dekat dengan aktivitas antropogenik (Di dan Wang, 2018). *Fragment* banyak ditemukan karena berasal dari hasil degradasi plastik berukuran besar yang banyak ditemui di daerah padat penduduk dimana daerah padat penduduk menjadi salah satu penyumbang banyaknya limbah domestik yang nantinya akan berakhir di perairan laut (Alomar *et al.*, 2016). Meskipun menurut Browne *et al.* (2011) mikroplastik paling banyak ditemukan pada sedimen

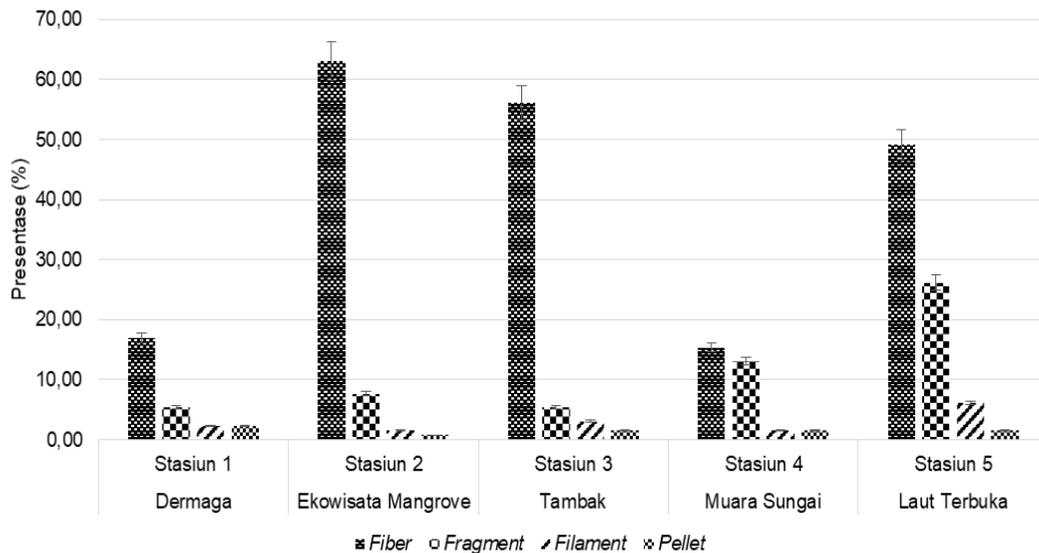
bertekstur lunak karena memiliki kemampuan menjerap yang baik, namun perairan Wonorejo merupakan perairan yang mendapatkan aliran dari sungai Jagir, Wonokromo, Wonorejo, dan Gunung Anyar (Sari *et al.*, 2017). Oleh karena itu, *fragment* banyak ditemukan pada sedimen di perairan laut karena diduga mengendap dalam waktu yang lama dan terakumulasi oleh empat sumber sungai yang ada walaupun sedimen perairan laut memiliki substrat berpasir. Hal tersebut juga dapat dilihat dari kondisi sedimen saat diambil menggunakan *Ekman grab* dimana sedimen di perairan laut banyak ditemukan sampah-sampah plastik yang berpotensi menjadi mikroplastik dalam jangka waktu lama. Selain itu, *fragment* memiliki densitas yang tinggi sehingga akan lebih mudah terendap ke lapisan bawah air (Claessens *et al.*, 2011; Martin, 2017; Zhang *et al.*, 2017). Hal tersebut juga sesuai dengan penelitian yang dilakukan oleh Tsang *et al.* (2017) di perairan Hongkong dimana jenis mikroplastik yang paling banyak ditemukan pada sedimen yakni *fragment*. Sementara itu, *pellet* menjadi jenis mikroplastik yang paling sedikit ditemukan yakni pada stasiun 2 (Ekowisata *Mangrove*) dengan presentase 1,05%. Mikroplastik berjenis *pellet* lebih sedikit ditemukan pada berbagai penelitian yang telah dilakukan. Hal tersebut dikarenakan *pellet* merupakan hasil dari bahan produksi plastik yang termasuk ke dalam mikroplastik primer (Cole *et al.*, 2011).

Jenis mikroplastik terbanyak kedua yang ditemukan di sedimen yakni masih *fragment* dengan presentase 28,42% pada stasiun 2 (Ekowisata *Mangrove*). *Fragment* banyak ditemukan pada stasiun ini diduga karena berasal dari sampah plastik para pengunjung dan para penjual yang datang ke kawasan ekowisata sehingga akan tergenang dan lambat laun mengendap di sedimen. Hal tersebut sesuai dengan penelitian yang dilakukan oleh Yona *et al.* (2019) di Laut Jawa bahwa jenis *fragment* paling banyak ditemukan pada area hutan *mangrove*. Hal ini dikarenakan akar *mangrove* dapat menjebak banyak jenis sampah termasuk plastik. Selain itu, pasang surut yang sering menggenangi *mangrove* juga dapat

membawa lebih banyak sampah plastik dari perairan sekitarnya. Namun, hal tersebut tidak sesuai dengan sampel sedimen yang diambil dari kawasan *mangrove* Singapura dimana jenis mikroplastik yang ditemukan paling banyak yakni *fiber* (Mohamed Nor dan Obbard, 2014). Hal tersebut terjadi diduga karena *fiber* menjadi salah satu jenis yang mendominasi baik pada sedimen maupun perairan karena densitasnya yang rendah dan sumbernya berasal dari banyak aktivitas manusia yang sering dilakukan.

Jenis mikroplastik terbanyak ketiga yang ditemukan di sedimen yakni *fiber* dengan presentase 23,16% pada stasiun 1 (Dermaga). Pada stasiun 1 (Dermaga) banyak ditemukan aktivitas memancing ikan dan beberapa perahu yang tengah bersandar. *Fiber* yang ditemukan diduga berasal dari aktivitas yang ada di sekitar stasiun dan adanya aliran sungai yang membawa sampah-sampah dari hulu. Mikroplastik jenis *fiber* paling banyak ditemukan baik di sedimen maupun perairan karena memiliki densitas yang rendah. *Fiber* banyak ditemukan pada daerah yang banyak dilakukan aktivitas penangkapan ikan dimana serat dari alat yang digunakan pada aktivitas tersebut menghasilkan mikroplastik jenis *fiber* ini. Kelimpahan *fiber* yang tinggi juga diamati di Laut Kuning Utara sebagai hasil penggunaan yang konstan dari alat penangkapan ikan yang terbuat dari plastik, jaring, serta tali sebagai alat penangkapan utama (Zhu *et al.*, 2018).

Sementara itu, jenis mikroplastik pada perairan yang telah dirata-rata dari hasil tiga (3) pengulangan masing-masing stasiun dapat dilihat melalui Gambar 15.



Gambar 15. Presentase Jenis Mikroplastik pada Perairan

Berdasarkan diagram batang diatas, dapat diketahui bahwa jenis mikroplastik di perairan yang paling banyak ditemukan yakni *fiber* pada stasiun 2 (Ekowisata *Mangrove*) dengan presentase 63,08%. Sementara itu, jenis mikroplastik yang paling sedikit ditemukan yakni *pellet* dengan presentase 0,77%. Hal tersebut terjadi diduga karena perairan di stasiun 2 (Ekowisata *Mangrove*) tergenang di *mangrove-mangrove* sehingga tidak terjadi aliran yang signifikan saat pasang maupun surut berlangsung. *Fiber* menjadi jenis yang paling banyak ditemukan karena *fiber* memiliki densitas yang rendah sehingga akan mengapung di perairan dan membutuhkan waktu untuk mengendap di sedimen (Zhang *et al.*, 2017).

Jenis mikroplastik terbanyak kedua yang ditemukan di perairan yakni *fiber* pada stasiun 3 (Tambak) dengan presentase 56,15%. *Fiber* banyak ditemukan di kolam tambak diduga berasal dari jaring-jaring yang terbuat dari plastik. Selain itu, sama halnya dengan yang terjadi di stasiun 2 (Ekowisata *Mangrove*), tambak memiliki arus yang sangat rendah bahkan dapat mencapai 0 m/s. Hal inilah yang diduga menyebabkan *fiber* akan terapung di permukaan air tambak.

Jenis mikroplastik terbanyak ketiga yang ditemukan di perairan yakni *fiber* pada stasiun 5 (Laut Terbuka) dengan presentase 49,23%. Laut menjadi tujuan akhir dari aliran-aliran yang berasal dari berbagai macam sungai sehingga akumulasi limbah sampah terbanyak ada di laut. Oleh karena itu, *fiber* yang ada di stasiun 5 (Laut Terbuka) diduga berasal dari berbagai macam sumber yang akan terakumulasi baik pada sedimen maupun perairan. Pada keseluruhan stasiun, jenis yang paling banyak ditemukan yakni *fiber*. Hal tersebut diduga karena *fiber* berasal dari aktivitas yang banyak dilakukan oleh manusia baik dari serat pakaian yang dipakai hingga aktivitas memancing ikan, melaut, dan tambak sehingga keberadaannya menjadi umum ditemukan di sedimen maupun perairan.

Pada penelitian yang dilakukan di tiga muara sungai di Cina yakni Oujiang, Jiaojiang, dan Minjiang, jenis mikroplastik yang paling banyak ditemukan yakni *fiber* sedangkan paling sedikit ditemukan yakni *pellet* (Zhao *et al.*, 2015). Sementara itu, pada penelitian yang dilakukan di sungai Nakdong, Korea Selatan diketahui bahwa jenis mikroplastik yang banyak ditemukan yakni *fiber* dan yang paling sedikit ditemukan yakni *filament* dan *pellet* (Kang *et al.*, 2015). Berbeda halnya dengan jenis mikroplastik yang ditemukan di Perairan Bohai, Cina dimana jenis yang paling banyak ditemukan pada sedimen yakni *fiber* dan pada perairan yakni *fragment* berdasarkan dari hasil penelitian yang dilakukan oleh Yu *et al.* (2016) dan Zhang *et al.* (2017). Namun berbeda lagi dengan penelitian yang dilakukan oleh Peng *et al.* (2017) dimana jenis mikroplastik pada perairan muara Sungai Changjiang yang paling banyak ditemukan yakni *fiber* sedangkan pada sedimen perairan yang paling banyak ditemukan yakni *pellet*. *Pellet* banyak ditemukan di perairan tersebut karena banyaknya pabrik-pabrik di Hongkong dan diasumsikan bahwa *pellet* terdistribusi hingga ke perairan laut.

#### 4.2.1 Klasifikasi Warna Mikroplastik di Wonorejo

Berdasarkan dari hasil penelitian yang dilakukan di perairan Wonorejo, dapat diketahui warna-warna mikroplastik yang ditemukan pada sedimen maupun perairan. Warna-warna tersebut meliputi warna putih, hitam, biru, merah, krem, coklat, dan transparan. Warna pada mikroplastik juga penting diidentifikasi karena berkaitan dengan organisme yang menjadi konsumen, sumber warna, dan proses terbentuknya warna tersebut. Klasifikasi warna mikroplastik dapat dilihat pada Tabel 11.

Tabel 11. Klasifikasi Warna Mikroplastik

<b>Warna</b>	<b>Fiber</b>	<b>Fragment</b>	<b>Filament</b>	<b>Pellet</b>
Putih	13	0	1	1
Hitam	90	42	12	6
Biru	39	1	1	0
Merah	24	4	0	2
Krem	3	1	0	0
Cokelat	13	25	4	1
Transparan	48	1	1	0
Hijau	31	1	0	0

Berdasarkan dari tabel di atas, dapat diketahui bahwa warna yang paling banyak ditemukan baik pada jenis *fiber*, *fragment*, *filament*, maupun *pellet* yakni warna hitam. Warna hitam mengindikasikan bahwa plastik tersebut telah menyerap berbagai macam polutan dan keberadaannya dapat ditemukan pada sedimen maupun perairan (Duis dan Coors, 2016). Selain itu, warna hitam yang masih terlihat menandakan bahwa mikroplastik membutuhkan proses yang lama pada perubahan warnanya. Mikroplastik yang banyak ditemukan memiliki warna yang pekat sehingga dapat diketahui bahwa mikroplastik tersebut tersusun dari polimer *polyethylene* dengan densitas rendah (Hiwari *et al.*, 2019).

Selanjutnya, warna terbanyak kedua yang ditemukan yakni warna transparan pada jenis *fiber*. Pada hasil penelitian yang dilakukan oleh Duis dan Coors (2016), warna dominan yang ditemukan pada sampel sedimen yakni warna

hitam yang mengindikasikan bahwa plastik tersebut telah menyerap berbagai macam polutan dan warna transparan yang mengindikasikan bahwa mikroplastik tersebut berasal dari proses fotodegradasi sinar UV. Mikroplastik berwarna transparan banyak tersusun dari polimer *polypropylene* yang termasuk dalam salah satu polimer terbanyak ditemukan di perairan. Pada hasil penelitian sampel perairan yang diambil dari tiga muara sungai di Cina yakni Oujiang, Jiaojiang, dan Minjiang oleh Zhao *et al.* (2015) diketahui bahwa mikroplastik yang berwarna-warni lebih banyak ditemukan lalu diikuti dengan warna hitam dan transparan sedangkan warna putih paling sedikit. Kantong plastik dan wadah plastik banyak terbuat dari susunan polimer *polyethylene* (Hiwari *et al.*, 2019). Sementara itu, menurut Peng *et al.* (2017) dan Tsang *et al.* (2017) warna transparan dan putih umumnya menjadi warna-warna yang banyak ditemukan pada penelitian yang dilakukan di sedimen dan perairan.

Warna terbanyak ketiga yang ditemukan pada sedimen maupun perairan yakni warna biru pada jenis *fiber*. Selanjutnya, warna terbanyak lainnya yang ditemukan yakni warna hijau pada jenis *fiber* dan cokelat pada jenis *fragment*. Mikroplastik yang memiliki warna biru banyak berasal dari tali pancing yang rusak (Zhang *et al.*, 2017). Sementara itu, warna hijau dan cokelat yang terdapat pada jenis *fiber* maupun *fragment* diduga berasal dari potongan-potongan plastik besar yang membutuhkan waktu lama dalam proses *discolouring*.

Pada penelitian yang dilakukan oleh Martin (2017), semua mikroplastik yang teridentifikasi merupakan mikroplastik sekunder baik berjenis *fiber* maupun *fragment* serta *fiber* khusus yang diperoleh dari sedimen air. Tidak ada jenis *spheroid*, *pellet*, ataupun *filament* yang teridentifikasi secara visual atau kimia dalam penelitian ini. Warna mikroplastik yang paling sering ditemukan untuk semua interval kedalaman yang diteliti adalah warna biru, diikuti dengan warna transparan, putih, merah, hitam, hijau, dan abu-abu. Mikroplastik yang terdapat di

permukaan air hanya ditemukan jenis *fiber* berwarna biru dan merah yang berasal dari wilayah dekat tempat penangkapan ikan. Sementara itu, mikroplastik berwarna hijau hanya ditemukan di wilayah Teluk Blacksod. Pada penelitian yang dilakukan oleh Zhang *et al.* (2017) di perairan, diperoleh hasil bahwa mikroplastik yang paling banyak ditemukan yakni warna putih daripada mikroplastik berwarna-warni yang selanjutnya diikuti oleh warna transparan, hijau, dan kuning sedangkan warna lain hanya memiliki presentase  $\pm 5\%$ . Beberapa mikroplastik berwarna putih dihasilkan dari warna kuning pucat yang terpapar sinar di lingkungan dalam jangka waktu yang lama.

#### **4.2.2 Kelimpahan Mikroplastik di Wonorejo**

Kelimpahan mikroplastik pada perairan Wonorejo terbagi menjadi dua macam, yakni kelimpahan mikroplastik pada sedimen dan kelimpahan mikroplastik pada perairan. Kelimpahan mikroplastik pada sedimen berasal dari jumlah partikel mikroplastik yang ditemukan dibagi dengan banyaknya sedimen yang telah dikeringkan yakni sebesar 62,5 g yang jika dijadikan satuan kg menjadi 0,0625 kg. Sedimen yang dijadikan sebagai sampel diambil dari rentang kedalaman 0 – 10 cm menggunakan pipa paralon 30 cm. Sementara itu, kelimpahan mikroplastik pada perairan berasal dari jumlah partikel mikroplastik yang ditemukan dibagi dengan banyaknya air yang diambil sebanyak tiga kali pengulangan yakni 15 L (satu kali pengulangan 5 L) yang jika dijadikan satuan  $m^3$  menjadi 0,015  $m^3$ . Air yang dijadikan sebagai sampel diambil dari kedalaman  $\pm 50$  cm menggunakan *plankton net mesh* 0,025 mm. Kelimpahan mikroplastik pada sedimen dan perairan dapat dilihat melalui Tabel 12.

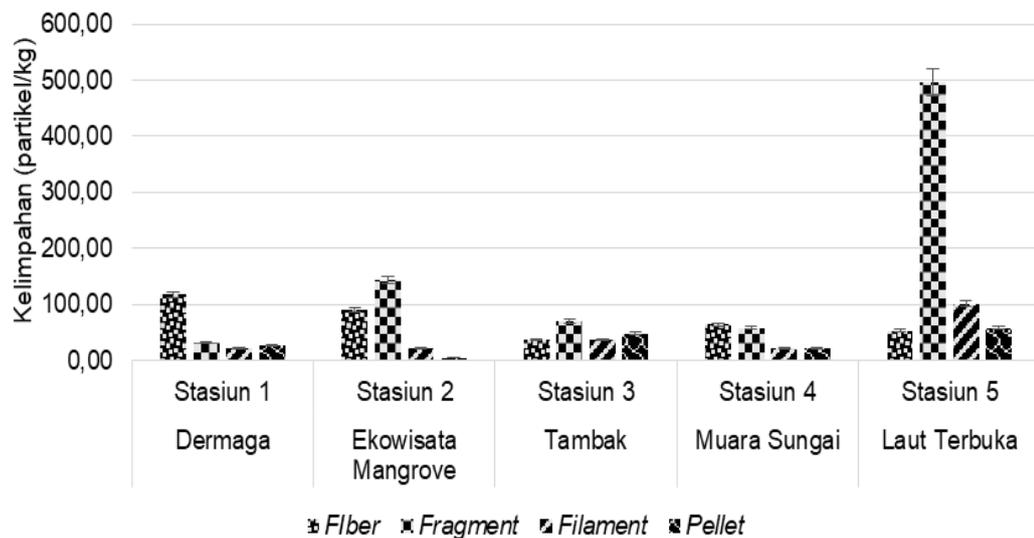
Tabel 12. Kelimpahan Mikroplastik pada Sedimen dan Perairan

Stasiun	Kelimpahan Mikroplastik							
	Sampel Sedimen ( partikel/kg)				Sampel Perairan (partikel/m <sup>3</sup> )			
	<i>Fiber</i>	<i>Fragment</i>	<i>Filament</i>	<i>Pellet</i>	<i>Fiber</i>	<i>Fragment</i>	<i>Filament</i>	<i>Pellet</i>
1	117,33 ± 11,85	32,00 ± 1,00	21,33 ± 1,15	26,67 ± 1,53	488,89 ± 4,04	155,56 ± 1,15	66,67 ± 0,00	66,67 ± 1,73
2	90,67 ± 2,52	144,00 ± 1,00	21,33 ± 0,58	5,33 ± 0,58	1822,22 ± 23,12	222,22 ± 4,04	44,44 ± 0,58	22,22 ± 0,58
3	37,33 ± 0,58	69,33 ± 3,21	37,33 ± 2,08	48,00 ± 1,73	1622,22 ± 11,59	155,56 ± 1,53	88,89 ± 0,58	44,44 ± 0,58
4	64,00 ± 2,65	58,67 ± 4,04	21,33 ± 1,53	21,33 ± 1,15	444,44 ± 2,89	377,78 ± 8,14	44,44 ± 1,15	44,44 ± 0,58
5	53,33 ± 3,21	496,00 ± 10,54	101,33 ± 3,79	58,67 ± 3,06	1422,22 ± 7,57	755,56 ± 4,73	177,78 ± 0,58	44,44 ± 0,58
<b>Total</b>		1525,33				8111,11		

Keterangan : Tanda ± menunjukkan nilai standar deviasi

Kelimpahan mikroplastik di sedimen dapat dilihat melalui diagram batang pada

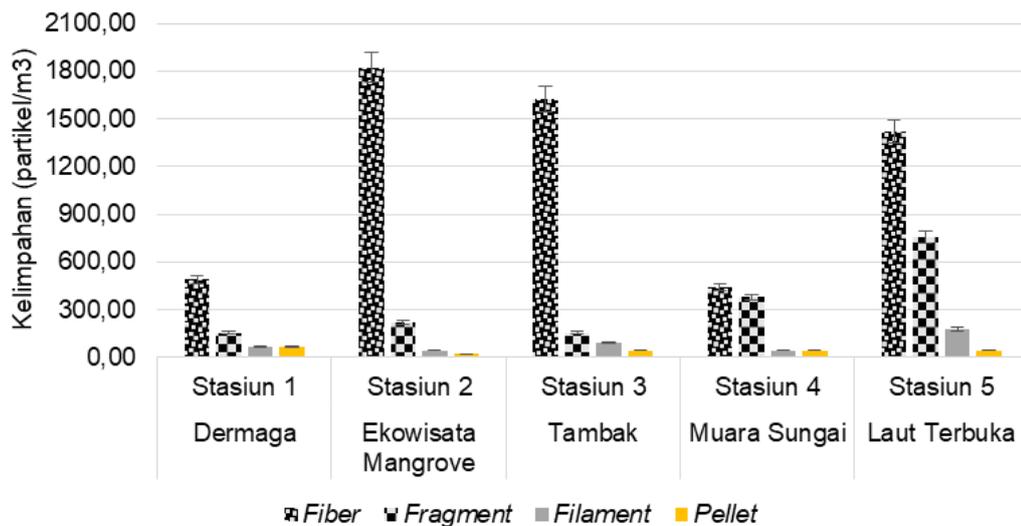
Gambar 16.



Gambar 16. Kelimpahan Mikroplastik pada Sedimen

Berdasarkan diagram batang diatas, dapat diketahui bahwa kelimpahan tertinggi di sedimen terdapat pada jenis *fragment* di stasiun 5 (Laut Terbuka) yakni sebesar 496,00 partikel/kg. Selanjutnya, kelimpahan tertinggi kedua terdapat pada jenis *fragment* di stasiun 2 (Ekowisata *Mangrove*) yakni sebesar 144,00 partikel/kg. Kelimpahan tertinggi ketiga berada di stasiun 1 (Dermaga) yakni sebesar 117,33 partikel/kg dengan jenis *fiber*. Mikroplastik yang terdapat di sedimen memiliki kelimpahan yang cenderung tidak memiliki perbedaan signifikan dengan rentang kedalamannya. Namun, pada kedalaman yang jauh lebih dalam, tidak ditemukan adanya mikroplastik. Jenis mikroplastik lebih banyak ditemukan pada kedalaman antara 0,5 – 10 cm dengan presentase 66% - 97% (Martin, 2017). Kelimpahan mikroplastik pada sedimen tertinggi berasal dari jenis *fragment* yang ditemukan pada area hutan *mangrove*. Hal ini dikarenakan akar *mangrove* dapat menjebak banyak jenis sampah termasuk plastik. Selain itu, pasang surut yang sering menggenangi *mangrove* juga dapat membawa lebih banyak sampah plastik dari perairan sekitarnya. *Filament* menjadi jenis yang ditemukan dalam jumlah yang sangat rendah dibandingkan dengan dua jenis mikroplastik lainnya (Horton *et al.*,

2017; Yona *et al.*, 2019). Namun hal itu tidak sesuai dengan penelitian yang dilakukan oleh Mohamed Nor dan Obbard (2014) dimana sampel sedimen yang diambil dari kawasan *mangrove* Singapura diperoleh kelimpahan mikroplastik sebesar 12,0 – 26,7 partikel/kg dengan jenis *fiber* yang paling banyak. Hal tersebut terjadi diduga karena *fiber* menjadi salah satu jenis yang mendominasi baik pada sedimen maupun perairan karena densitasnya yang rendah dan sumbernya berasal dari banyak aktivitas manusia yang sering dilakukan. Selain itu, adanya tambak ikan di sekitar *mangrove* Singapura juga diduga menjadi penyebab banyaknya mikroplastik jenis *fiber* yang ditemukan di sedimen. Sementara itu, kelimpahan mikroplastik di perairan dapat dilihat melalui diagram batang pada Gambar 17.

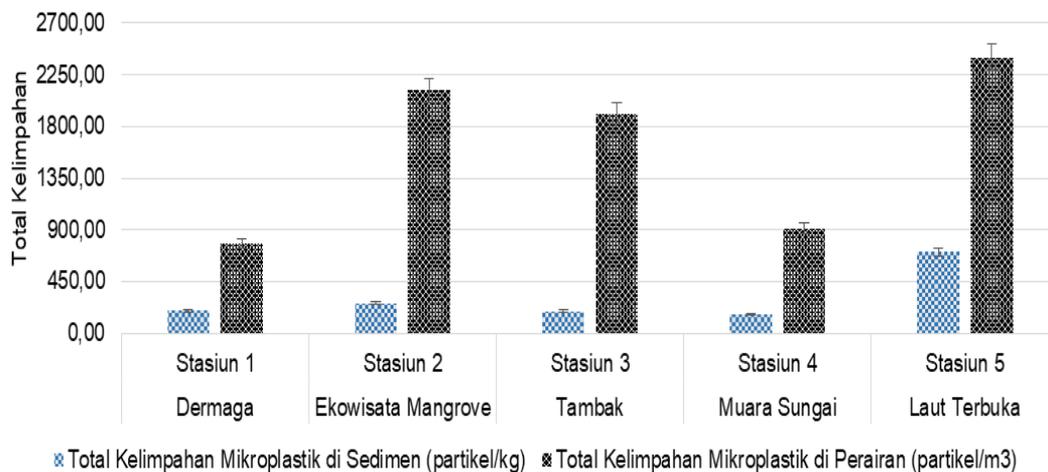


Gambar 17. Kelimpahan Mikroplastik pada Perairan

Berdasarkan dari diagram batang diatas, dapat diketahui bahwa kelimpahan tertinggi di perairan terdapat pada jenis *fiber* di stasiun 2 (Ekowisata *Mangrove*) yakni sebesar 1822,22 partikel/m<sup>3</sup>, diikuti dengan kelimpahan jenis *fiber* di stasiun 3 (Tambak) yakni sebesar 1622,22 partikel/m<sup>3</sup>, dan kelimpahan tertinggi ketiga berada di stasiun 5 (Laut Terbuka) yakni sebesar 1422,22 partikel/m<sup>3</sup> dengan jenis yang mendominasi tertinggi di keseluruhan stasiun yakni *fiber*. Kelimpahan mikroplastik dapat dipengaruhi oleh faktor densitas dari masing-masing partikel

mikroplastik (Claessens *et al.*, 2011). Kelimpahan mikroplastik yang terdapat di perairan lebih banyak berasal dari jenis mikroplastik yang memiliki densitas rendah. Hal ini dikarenakan mikroplastik berdensitas rendah seperti *fiber* dan *filament* akan mengapung di permukaan air dan terbawa oleh arus hingga ke perairan laut (Hamid *et al.*, 2018).

Sementara itu, jika dilihat berdasarkan total keseluruhan jenis mikroplastik per masing-masing stasiun (Lampiran 4. dan Lampiran 5.), hasilnya dapat dilihat pada Gambar 18.



Gambar 18. Total Kelimpahan Mikroplastik

Jika dilihat dari hasil total kelimpahan mikroplastik tersebut, maka pada sedimen maupun perairan yang tertinggi berada di stasiun 5 (Laut Terbuka) yakni masing-masing sebesar 709,33 partikel/kg dan 2400,00 partikel/m<sup>3</sup>. Hal tersebut diduga terjadi karena adanya aliran sungai yang bukan berasal dari daerah Wonorejo saja melainkan dari tiga daerah lainnya yakni Jagir, Wonokromo, dan Gunung Anyar yang terakumulasi di perairan laut wilayah Pantai Timur Surabaya. Oleh karena itu, stasiun 5 memiliki kelimpahan paling tinggi pada seluruh jenis mikroplastik baik yang berada di sedimen maupun perairannya. Selain itu, diduga karena adanya faktor pasang surut yang terjadi dua kali sehari sehingga dapat mempengaruhi distribusi mikroplastik hingga sampai di laut terbuka. Perbandingan kelimpahan

mikroplastik pada sedimen dan perairan di penelitian ini dengan beberapa lokasi di Asia dapat dilihat pada Tabel. 13.

Tabel 13. Kelimpahan Mikroplastik di Beberapa Lokasi

Lokasi	Kelimpahan Mikroplastik		Sumber
	Sedimen (partikel/kg)	Perairan (partikel/m <sup>3</sup> )	
Perairan Wonorejo, Surabaya	1525,33	8111,11	Penelitian ini
Perairan Bohai, Cina	102,9 – 163,3	3300 – 3400	Yu <i>et al.</i> (2016) dan Zhang <i>et al.</i> (2017)
Muara Sungai Oujiang, Cina	-	680,0 ± 284,6	Zhao <i>et al.</i> (2015)
Muara Sungai Jiaojiang, Cina	-	955,6 ± 848,7	Zhao <i>et al.</i> (2015)
Muara Sungai Minjiang, Cina	-	1245,8 ± 531,5	Zhao <i>et al.</i> (2015)
Muara Changjiang, Cina	20 – 340	-	Peng <i>et al.</i> (2017)
Kawasan <i>Mangrove</i> Singapura	12,0 – 26,7	-	Mohamed Nor dan Obbard (2014)
Perairan Hongkong	49 – 279	51 – 2790,9	Tsang <i>et al.</i> (2017)
Sungai Nakdong, Korea Selatan	-	210 – 15560	Kang <i>et al.</i> (2015)

Pada penelitian yang dilakukan di perairan Wonorejo ini, diketahui bahwa total nilai kelimpahan pada sedimen sebesar 1525,33 partikel/kg dan pada perairan sebesar 8111,11 partikel/m<sup>3</sup>. Nilai ini tergolong tinggi dibandingkan dengan penelitian-penelitian yang telah dilakukan sebelumnya pada lokasi yang berbeda. Hal tersebut terjadi diduga karena adanya 4 sumber aliran sungai yakni sungai Jagir, Wonokromo, Wonorejo, dan Gunung Anyar (Sari *et al.*, 2017). Selain itu, perairan Wonorejo merupakan wilayah yang dekat dengan aktivitas manusia yang padat seperti adanya kegiatan pariwisata, memancing, melaut, dan industri

sehingga menjadi salah satu wilayah yang memiliki tingkat pencemaran tertinggi diantara wilayah di Wonorejo, Kota Surabaya lainnya (Rachmawati *et al.*, 2018). Oleh karena itu, dapat diduga limbah sampah terutama plastik banyak dihasilkan dari aktivitas-aktivitas tersebut dan terbawa melalui arus dimana perairan Wonorejo dalam satu hari terjadi dua kali pasang dan dua kali surut yang tentunya berpengaruh terhadap nilai kelimpahan mikroplastik yang didapatkan. Hal tersebut juga dapat dipengaruhi oleh perbedaan alat *sampling* dan metode identifikasi mikroplastik yang digunakan sehingga nilai yang didapatkan berbeda-beda antar lokasi (Kang *et al.*, 2015). Penelitian di Perairan Wonorejo ini menggunakan alat *sampling* berupa *plankton net* dan metode identifikasi mikroplastik yang digunakan berasal dari Hidalgo-Ruz *et al.* (2012) dan Cordova dan Wahyudi (2016). Pada sungai Nakdong, Korea Selatan, nilai kelimpahan mikroplastiknya pada perairan dapat mencapai nilai tertinggi dibandingkan dengan penelitian ini dan penelitian-penelitian lainnya saat musim hujan terjadi (Kang *et al.*, 2015) sehingga dapat dipastikan bahwa nilai kelimpahan di perairan Wonorejo juga dapat lebih tinggi saat penelitian dilakukan di musim hujan karena nilai kelimpahan saat ini didapatkan dari penelitian yang dilakukan saat matahari terik.

Pada perairan Bohai, Cina didapatkan nilai kelimpahan mikroplastik pada sedimen sebesar 102,9 – 163,3 partikel/kg. Kelimpahan tersebut dipengaruhi oleh adanya aktivitas antropogenik seperti pariwisata. Sampel yang diambil di permukaan dengan kedalaman  $\pm 2$  cm memiliki nilai kelimpahan yang lebih tinggi daripada kedalaman  $\pm 20$  cm. Lokasi yang paling banyak ditemukan mikroplastiknya yakni di wilayah muara karena diasumsikan muara menerima masukan mikroplastik dari sungai lebih banyak secara langsung dibandingkan dengan wilayah-wilayah pantai (Yu *et al.*, 2016). Sementara itu, perairan memiliki nilai kelimpahan sebesar 3300 – 3400 partikel/m<sup>3</sup>. Kelimpahan yang terdapat pada perairan Bohai, Cina dapat dipengaruhi oleh faktor gelombang dan angin.

Meskipun berada dalam keadaan laut yang tenang selama periode pengambilan sampel, terdapat kondisi laut yang buruk sebelum pengambilan sampel lapangan menurut catatan hidrologi dan meteorologi. Hal ini dapat menyebabkan partikel plastik terbawa ke wilayah perairan. Selain itu, hal tersebut juga dapat menyebabkan terjadinya pencampuran mikroplastik yang terdapat di permukaan dengan kolom air (Zhang *et al.*, 2017).

Cina menjadi salah satu dari tiga produsen limbah plastik yang paling besar di dunia (Rochman *et al.*, 2015). Oleh karena itu, tidak mengherankan jika mikroplastik banyak ditemukan melimpah di daerah pesisir negara itu, dimulai dari barat daya (Teluk Beibu dan Laut Cina) hingga ke tenggara (Oujiang, Jiaojiang, dan muara Minjiang) dan dari tenggara ke timur laut (Laut Bohai). Di Cina bagian tenggara, kepadatan mikroplastik di muara Minjiang lebih tinggi daripada dua muara lainnya, Oujiang dan Jiaojiang (Zhao *et al.*, 2015).

Berdasarkan penelitian yang dilakukan oleh Peng *et al.* (2017), diperoleh hasil bahwa nilai kelimpahan mikroplastik pada sedimen di muara Changjiang, Cina sebesar 20 – 340 partikel/kg. Kelimpahan mikroplastik tersebut terjadi karena faktor gelombang, pasang surut, dan arus air di sepanjang pantai. Bagian timur laut muara sungai luar Changjiang umumnya mengandung mikroplastik yang lebih banyak. Hal tersebut juga dipengaruhi oleh musim hujan dan musim panas dimana pada musim hujan mikroplastik banyak ditemukan di bagian selatan sedangkan pada musim panas mikroplastik banyak ditemukan di bagian timur laut.

Berdasarkan penelitian yang dilakukan oleh Mohamed Nor dan Obbard (2014) di kawasan *mangrove* Singapura, diperoleh nilai kelimpahan mikroplastik pada sedimen sebesar 12,0 – 26,7 partikel/kg. Kelimpahan yang diperoleh dari penelitian ini disebabkan oleh adanya area tambak ikan. Oleh karena itu, mikroplastik menjadi terakumulasi di hutan *mangrove* yang didukung juga oleh adanya pengaruh hidrodinamika.

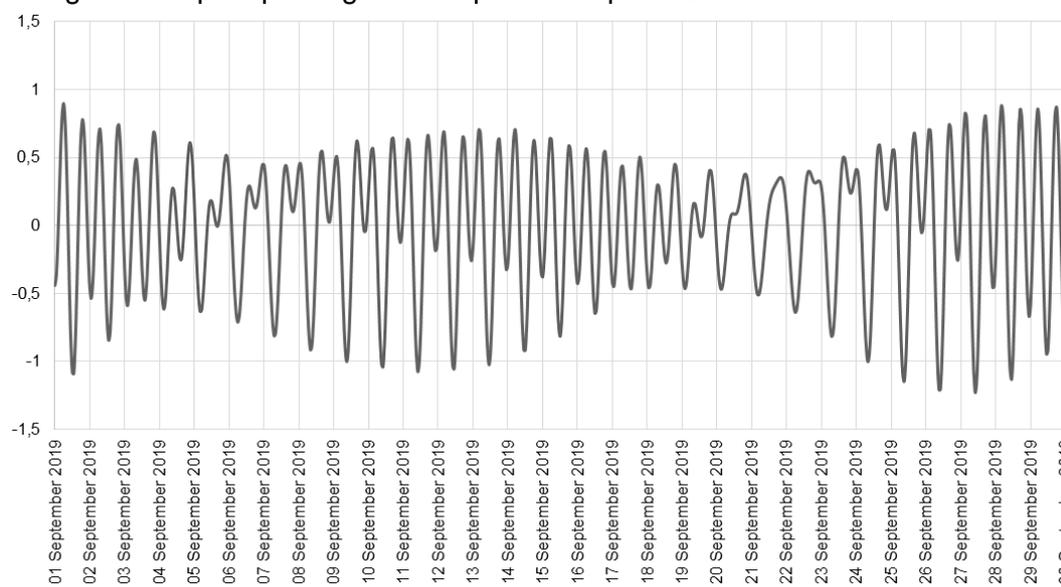
Pada perairan Hongkong berdasarkan hasil dari penelitian Tsang *et al.* (2017), diketahui bahwa nilai kelimpahan mikroplastik pada sedimen sebesar 49 – 279 partikel/kg sedangkan nilai kelimpahan mikroplastik pada perairan sebesar 51 – 2790,9 partikel/m<sup>3</sup>. Kelimpahan mikroplastik tersebut berasal dari adanya limbah plastik di lingkungan perairan laut Hongkong terutama yang berasal dari sumber-sumber berbasis lahan lokal seperti pembuangan limbah, pembuangan ilegal, limpasan air badai, kegiatan industri, serta kerugian akibat tumpahan dan distribusi yang tidak disengaja.

Sementara itu, nilai kelimpahan mikroplastik yang lebih tinggi terjadi saat musim hujan daripada musim kemarau di sungai Nakdong, Korea Selatan. Kelimpahan mikroplastik di sungai Nakdong, Korea Selatan meningkat dari 260 menjadi 1410 partikel/m<sup>3</sup> saat musim kemarau dan 210 menjadi 15560 partikel/m<sup>3</sup> saat musim hujan. Selain itu, kelimpahan yang berbeda juga disebabkan dari penggunaan alat saat pengambilan sampel. Pada penelitian ini, alat yang digunakan yakni *hand net* (Kang *et al.*, 2015). Sama halnya dengan kelimpahan mikroplastik yang didapati lebih besar nilainya di Hongkong selama musim hujan berlangsung (Fok dan Cheung, 2015). Sebaliknya, tidak ada variasi musiman yang berbeda jauh saat dilakukan penelitian di Hongkong oleh Tsang *et al.* (2017). Distribusi mikroplastik juga dipengaruhi oleh musim ketika rotasi antisisiklon menghasilkan distribusi partikel-partikel mikroplastik dari utara hingga ke pantai selatan Teluk Bengal dimana studi lintas ini dilakukan oleh Eriksen *et al.* (2017).

#### **4.3 Data Arus**

Data arus merupakan data parameter fisika yang diambil pada penelitian ini meliputi kecepatan dan arah arus. Pengambilan data arus dilakukan pada 17 titik yang mewakili lima (5) stasiun pengambilan sampel mikroplastik. Titik 1 dan titik 2 mewakili keadaan di sekitar stasiun 1 (Dermaga). Titik 3 – 5 mewakili keadaan di

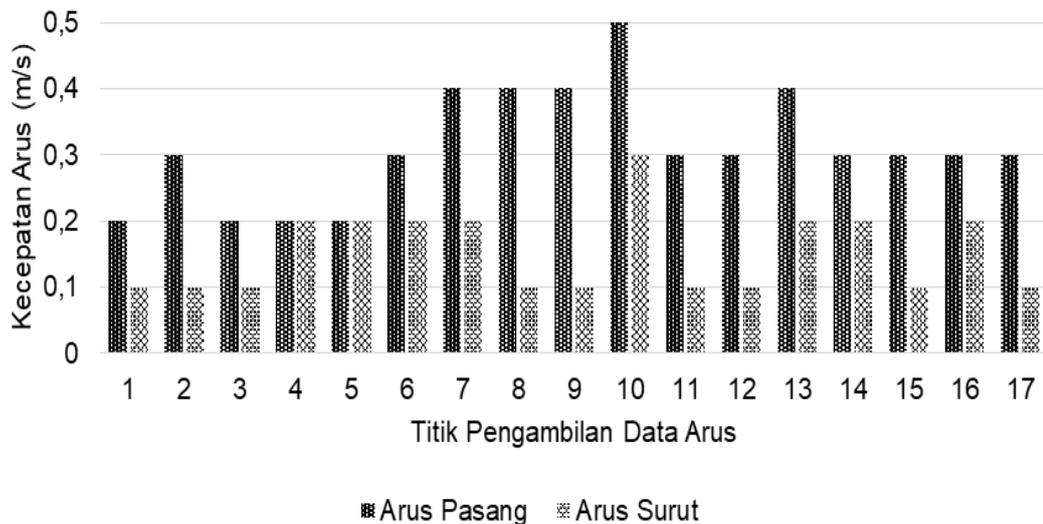
sekitar stasiun 2 (Ekowisata *Mangrove*). Titik 6 – 8 mewakili keadaan di sekitar stasiun 3 (Tambak). Titik 9 – 11 mewakili keadaan di sekitar stasiun 4 (Muara Sungai). Sementara itu, titik 12 – 17 mewakili keadaan di sekitar stasiun 5 (Laut Terbuka). Pengambilan data arus dilakukan menggunakan *current meter* FP211 dengan kedalaman  $\pm 60$  cm yang dimulai dari titik 1 hingga berakhir di titik 17. Penggunaan kompas juga dibutuhkan saat pengambilan data arus agar diketahui arah pergerakan arus dari masing-masing titik. Saat pengambilan data dilakukan, posisi perahu dalam keadaan mati. Hal tersebut dilakukan agar pergerakan arus tidak terpengaruh dengan pergerakan perahu dan didapatkan data yang sesuai. Pengambilan data arus dilakukan sebanyak dua kali yakni pada pagi hari sekitar pukul 08.00 – 11 WIB untuk mengetahui pergerakan arus pasang dan pada siang menjelang sore hari sekitar pukul 13.00 – 15.00 WIB untuk mengetahui pergerakan arus surut. Data pasang surut diperoleh dari hasil prediksi TMD (*Tide Model Driver*) berupa data tinggi muka air pada lokasi penelitian (Suandi *et al.*, 2016). Data yang menghasilkan pola pasang surut dapat dilihat pada Gambar 19.



Gambar 19. Pola Pasang Surut

Perairan Wonorejo memiliki tipe pasang surut campuran condong harian ganda sehingga terjadi dua kali pasang dan dua kali surut. Hal tersebut dapat

diketahui dari perolehan nilai *Formzhal* sebesar 0,65 yang nilainya berada diantara 0,25 – 1,5. Oleh karena itu, dilakukan dua kali pengambilan data arus pada penelitian ini yang nantinya dapat dikaitkan dengan nilai kelimpahan mikroplastik yang didapatkan. Hasil dari pengambilan data arus saat pasang dan saat surut di lapang yang telah diolah menggunakan *software Microsoft Excel 2013* dapat dilihat melalui diagram batang pada Gambar 20.

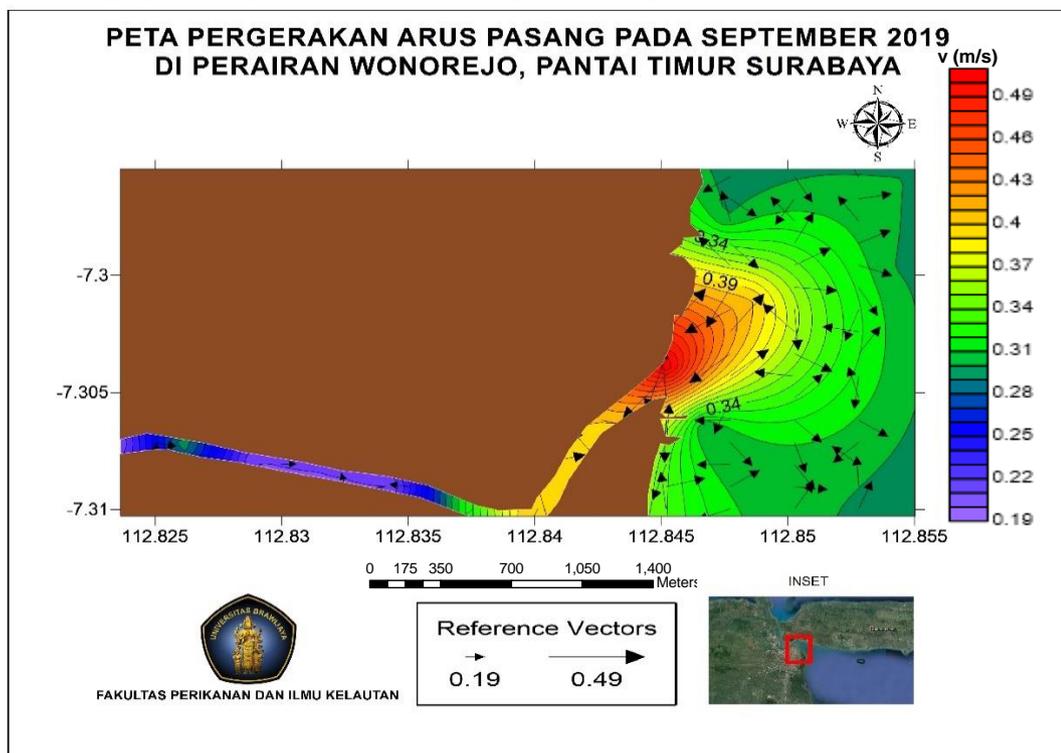


Gambar 20. Kecepatan Arus saat Pasang dan Surut

Berdasarkan dari diagram batang diatas, dapat dilihat bahwa kecepatan arus saat pasang di perairan Wonorejo pada September 2019 berkisar antara 0,2 – 0,5 m/s dengan rata-rata nilainya sebesar 0,49 m/s yang termasuk dalam kategori kecepatan sedang. Kecepatan arus tertinggi terdapat di titik 10 (Muara Sungai) dengan nilai sebesar 0,5 m/s dan kecepatan arus terendah terdapat di titik 1, 2, 3, dan 4 (di sekitar stasiun dermaga dan ekowisata *mangrove*) dengan nilai sebesar 0,2 m/s. Titik 10 memiliki nilai kecepatan arus tertinggi dikarenakan pada saat pengambilan data arus terdapat aktivitas perahu yang lalu lalang baik yang berasal dari arah laut maupun yang menuju ke arah laut. Sementara itu, pada titik 1, 2, 3, dan 4 memiliki nilai kecepatan arus terendah dikarenakan pada saat pengambilan data arus tidak ditemukan adanya aktivitas kapal dan perahu yang lalu lalang sehingga alirannya menjadi tenang.

Pada saat surut, kecepatan arus tertinggi masih terdapat pada titik 10 dengan nilai sebesar 0,3 m/s. Kecepatan arus terendah terdapat pada titik 1, 2, 3, 8, 9, 11, 12, 15, dan 17 sebesar 0,1 m/s. Rata-rata kecepatan arus saat surut yakni 0,15 m/s. Titik 10 memiliki nilai kecepatan arus tertinggi dikarenakan saat pengambilan data masih terdapat kapal dan perahu yang mengangkut para pengunjung ke area gazebo di dekat laut sehingga hal tersebut dapat mempengaruhi perolehan nilai kecepatan arus. Pada titik-titik yang dekat dengan stasiun dermaga dan stasiun laut terbuka kebanyakan memiliki nilai terendah dikarenakan sudah tidak ditemukan aktivitas kapal maupun perahu. Menurut Surbakti (2012), ketidaksimetrisan arus pasut merupakan suatu fenomena yang umum dijumpai di daerah muara sungai. Hal tersebut dikarenakan pada saat pasang akan terjadi peristiwa masuknya massa air dari laut dan hulu sungai sehingga massa air akan menumpuk di muara dan menyebabkan muka air laut semakin cepat mengalami kenaikan. Sementara itu, pada saat surut massa air akan meninggalkan muara menuju laut tetapi massa air masih masuk ke muara dari hulu sehingga waktu yang dibutuhkan relatif lebih lama. Selain itu, konfigurasi dasar laut juga mempengaruhi arah dan kecepatan arus dimana arus juga berpengaruh besar terhadap transportasi sedimen yang lebih banyak ditemukan di daerah muara sungai.

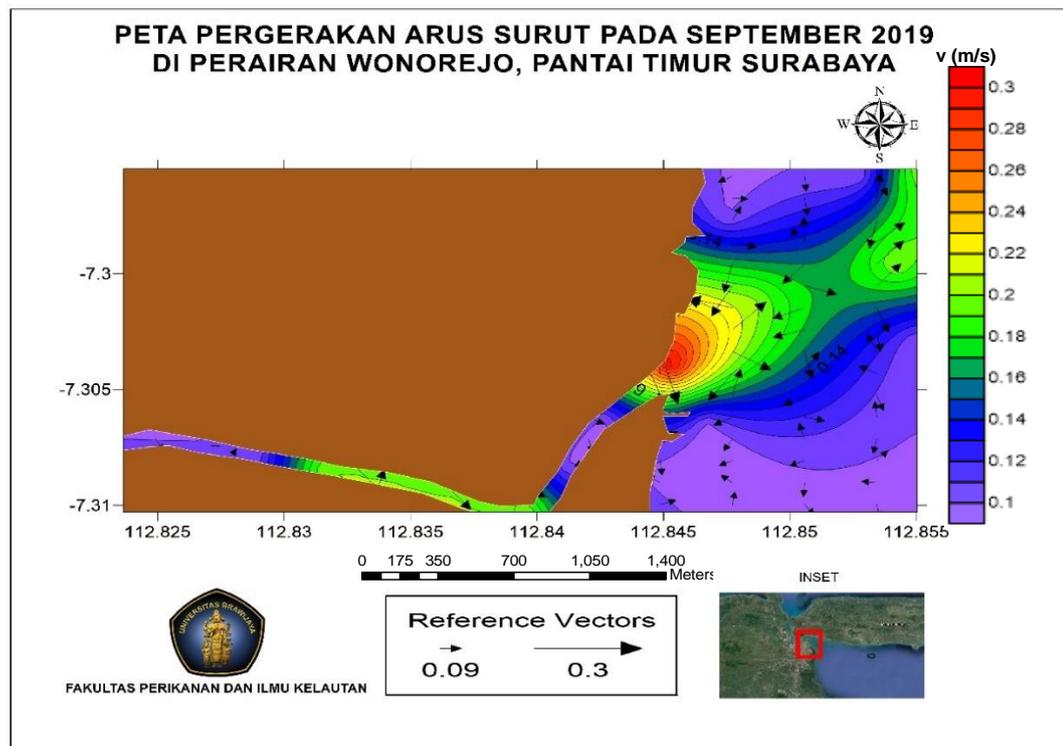
Pengambilan data lapang dilakukan pada 8 September 2019 dimana bulan tersebut termasuk ke dalam musim peralihan II (peralihan dari Musim Timur ke Musim Barat) yang berlangsung pada September – November. Menurut Daruwedho dan Sasmito (2016), arah dan kecepatan arus juga dipengaruhi oleh angin muson. Rata-rata kecepatan arus pada musim peralihan ini biasanya lemah pada hampir seluruh perairan di Indonesia baik pada saat pasang maupun surut dengan arah pergerakan arus yang tidak teratur. Hal tersebut dikarenakan angin yang bergerak juga tidak terarah. Pola pergerakan arus saat pasang di perairan Wonorejo pada September 2019 ini dapat dilihat pada Gambar 21.



Gambar 21. Peta Arus saat Pasang

Berdasarkan dari peta pergerakan arus saat pasang diatas, dapat dilihat bahwa arah arus tidak teratur dengan rentang nilai kecepatan antara 0,19 – 0,49 m/s. Warna hijau muda hingga merah pada peta menunjukkan bahwa kecepatan arus saat pasang memang tergolong sedang. Pada saat pasang, arus bergerak ke arah barat dari perairan laut yang arahnya tidak teratur dan masuk ke daerah sungai.

Sementara itu, pola pergerakan arus saat surut di perairan Wonorejo pada September 2019 ini dapat dilihat pada Gambar 22.



Gambar 22. Peta Arus saat Surut

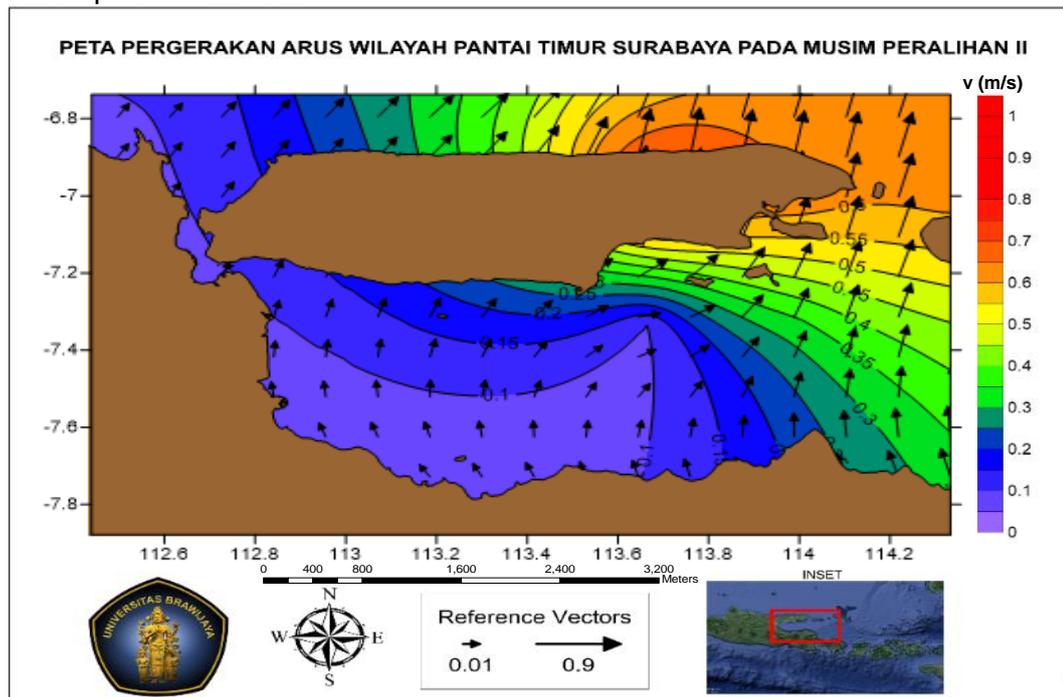
Berdasarkan dari peta pergerakan arus saat surut, dapat dilihat bahwa arah arus tidak teratur dengan rentang nilai kecepatan antara 0,09 – 0,3 m/s. Mayoritas warna ungu muda hingga biru pada peta menunjukkan bahwa kecepatan arus saat surut tergolong lambat. Pada saat surut, arus bergerak ke arah timur dan utara yang berasal dari sungai menuju ke perairan laut dan pergerakannya tidak teratur.

Pada saat pasang, massa air cenderung bergerak menuju ke arah sungai dan saat surut massa air akan bergerak menuju perairan laut. Arus yang bergerak berlawanan saat pasang dan surut disebut sebagai arus berbalik (*slack water*) dengan kecepatan yang relatif kecil (Surbakti, 2012). Pada periode September – November, arah arus tidak teratur dimana arus yang datang dapat dari arah selatan, barat, timur, maupun utara dengan kecepatan yang tergolong lemah dan memiliki potensi terjadinya siklon tropis (Daruwedho dan Sasmito, 2016).

Pergerakan arus menjadi salah satu faktor yang mempengaruhi keberadaan mikroplastik di suatu perairan. Mikroplastik tersebut dibawa dari hasil aktivitas antropogenik seperti limbah cucian, memancing ikan, dan aktivitas lainnya yang menghasilkan buangan sampah berupa plastik. Mikroplastik akan sampai ke perairan laut melalui aliran sungai. Penumpukan sampah terjadi karena pengelolaan limbah yang buruk yakni hanya 45% dan persentase yang tinggi dari limbah sehingga pengumpulan limbah sampah tidak dikelola dengan baik yakni hanya sekitar 70% dari yang semestinya dikelola. Oleh karena itu, sungai menjadi salah satu media yang memiliki potensi besar dalam membawa mikroplastik masuk ke perairan (Wijnen *et al.*, 2019).

Distribusi partikel mikroplastik terutama mikroplastik di lingkungan perairan disebabkan karena adanya sirkulasi arus yang terjadi baik di lapisan permukaan air maupun lapisan bawah air (Jungnickel *et al.*, 2016). Arus yang memiliki kecepatan sedang hingga kuat dapat membawa mikroplastik dari satu tempat ke tempat lainnya dan mikroplastik tersebut akan melayang di permukaan laut. Hal tersebut terjadi karena massa jenis mikroplastik lebih ringan jika dibandingkan dengan massa jenis air laut. Kecepatan arus yang lambat akan menyebabkan mikroplastik tenggelam dan mengendap di sedimen karena pengaruh dari organisme dan partikel lainnya (Browne *et al.*, 2011; Vianello *et al.*, 2013; Zalasiewicz *et al.*, 2016). Partikel-partikel mikroplastik tidak hanya terdeteksi di daerah permukaan dan kolom air, tetapi juga di lapisan sedimen bawah air. Hal tersebut terjadi karena adanya distribusi vertikal yang disebabkan oleh pencampuran angin sehingga mikroplastik akan terakumulasi ke lapisan bawah air (Kooi *et al.*, 2017). Keberadaan mikroplastik selain terendap di sedimen dan terbawa arus juga terakumulasi di organisme laut melalui terjadinya proses *biofouling* (Wright *et al.*, 2013).

Selanjutnya, sebagai data pembandingan dilakukan pengolahan data arus di sekitar daerah perairan Pantai Timur Surabaya yang diunduh dari data OSCAR pada Musim Peralihan II (September – November) tahun 2019. Data tersebut diolah menggunakan *software* ODV (*Ocean Data View*) untuk mengubah format *file* yang masih dalam bentuk .nc agar dapat diolah di *Microsoft Excel* dan dilakukan proses selanjutnya yakni *gridding* di *software* Surfer 10. Hasil peta dapat dilihat pada Gambar 23.

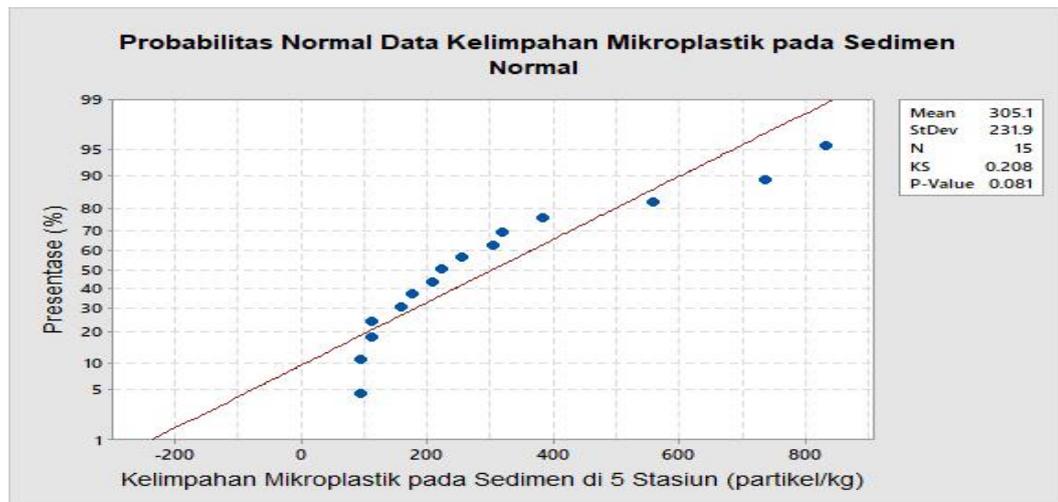


Gambar 23. Peta Pergerakan Arus Pantai Timur Surabaya

Berdasarkan dari peta diatas, dapat diketahui bahwa pergerakan arus saat musim peralihan II (September – November 2019) bergerak dengan tidak teratur. Bulan September, Oktober, dan November merupakan masa peralihan antara muson timur ke muson barat dengan pergerakan yang arahnya tidak teratur dan kecepatan yang tergolong lemah (Daruwedho dan Sasmito, 2016). Pergerakan arus berasal dari arah selatan dan barat menuju ke arah timur laut dengan kecepatan yang tergolong lemah. Rata-rata kecepatan arus yang terdapat di sekitar perairan Pantai Timur Surabaya berkisar antara 0,1 – 0,25 m/s yang ditandai dengan warna biru muda hingga biru tua.

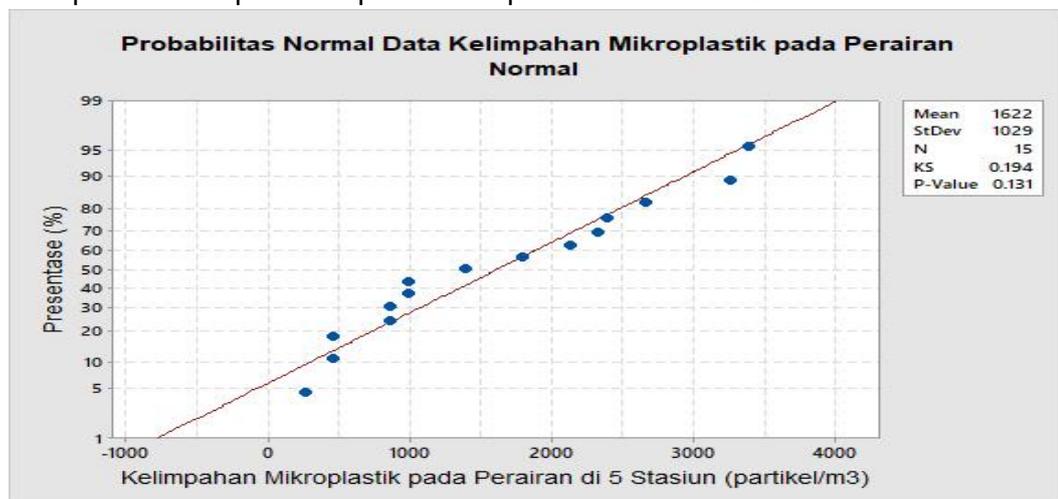
#### 4.4 Hubungan Kelimpahan Mikroplastik pada Sedimen dan Perairan

Hubungan antara kelimpahan mikroplastik pada sedimen dan perairan yang diambil dari lima (5) stasiun berbeda dapat diketahui dengan melakukan uji probabilitas normal data total kelimpahan masing-masing stasiun. Setelah hasilnya terdistribusi normal, maka dapat dilanjutkan dengan uji korelasi *Pearson correlation*. Uji probabilitas normal data yang telah dilakukan pada kelimpahan mikroplastik di sedimen dapat dilihat melalui Gambar 24.



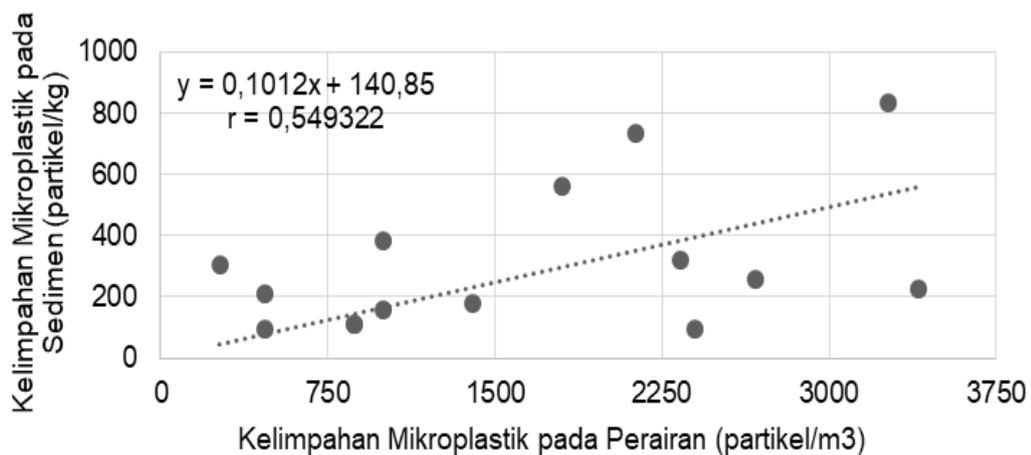
Gambar 24. Probabilitas Normal Data Kelimpahan Mikroplastik pada Sedimen

Berdasarkan dari hasil uji normalitas tersebut, diketahui bahwa data terdistribusi normal dengan nilai *P-Value* sebesar 0,081 (terima  $H_0$  karena nilai  $\alpha > 0,05$ ). Sementara itu, uji probabilitas normal data yang telah dilakukan pada kelimpahan mikroplastik di perairan dapat dilihat melalui Gambar 25.



Gambar 25. Probabilitas Normal Data Kelimpahan Mikroplastik pada Perairan

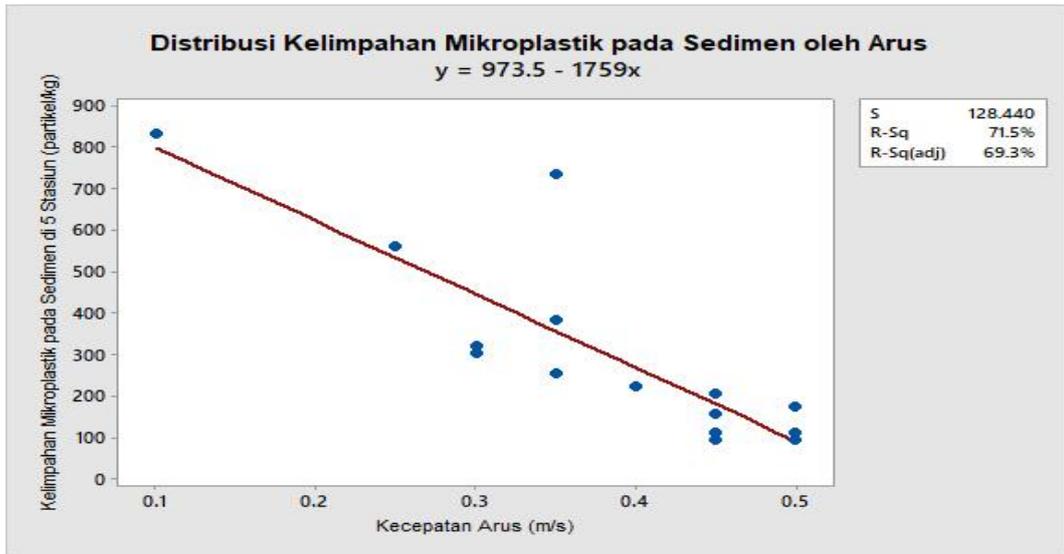
Berdasarkan dari hasil uji normalitas tersebut, diketahui bahwa data terdistribusi normal dengan nilai *P-Value* sebesar 0,131 (Terima  $H_0$  karena nilai  $\alpha > 0,05$ ). Setelah dilakukan uji distribusi normal, maka dapat dilakukan uji korelasi *Pearson correlation* untuk mengetahui hubungan kelimpahan mikroplastik pada sedimen dan perairan. Hasil uji korelasi yang telah dilakukan menunjukkan bahwa kelimpahan mikroplastik pada sedimen dan perairan memiliki hubungan karena didapatkan nilai  $r \neq 0$  yakni sebesar 0,549 dan tergolong cukup. Hasil dari uji korelasi kelimpahan mikroplastik pada sedimen dengan perairan dapat dilihat pada Gambar 26.



Gambar 26. Hubungan Kelimpahan Mikroplastik pada Sedimen dan Perairan

#### 4.5 Hubungan Distribusi Mikroplastik dengan Arus

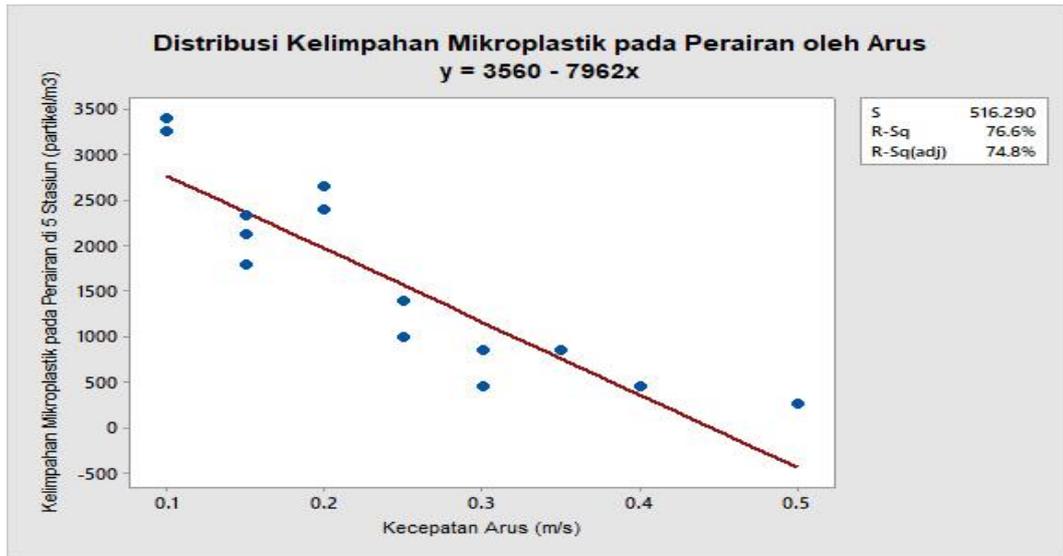
Distribusi mikroplastik yang dikaitkan dengan adanya arus dapat diketahui hasilnya dengan uji regresi linear. Hasil dari uji regresi linear distribusi mikroplastik pada sedimen yang dikaitkan dengan arus didapatkan *Regression Equation*  $y = 973,5 - 1759x$  yang dapat dilihat pada Gambar 27.



Gambar 27. Distribusi Kelimpahan Mikroplastik di Sedimen oleh Arus

Berdasarkan dari gambar di atas, dapat diketahui bahwa terdapat hubungan yang berbanding terbalik antara kelimpahan mikroplastik di sedimen dengan kecepatan arus. Kelimpahan akan bernilai relatif semakin kecil seiring dengan kecepatan arus yang semakin cepat karena diduga mikroplastik akan terbawa ke lokasi-lokasi lainnya. Sementara itu, kelimpahan akan bernilai relatif besar seiring dengan melambatnya pergerakan arus. Hal ini dikarenakan mikroplastik akan lebih banyak berada di lokasi perairan tersebut dan lambat laun akan mengendap ke sedimen. Pengaruh kecepatan arus terhadap nilai kelimpahan mikroplastik pada sedimen sebesar 71,5%.

Sementara itu, hasil dari uji regresi linear menunjukkan bahwa terdapat hubungan signifikan antara distribusi mikroplastik pada perairan dengan arus karena didapatkan *Regression Equation*  $y = 3560 - 7962x$  yang dapat dilihat pada Gambar 28.

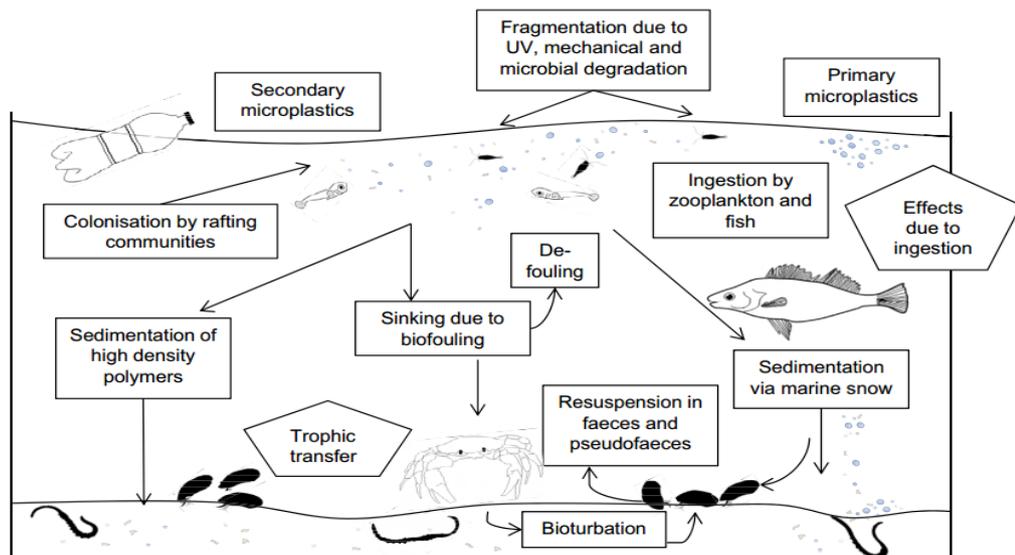


Gambar 28. Distribusi Kelimpahan Mikroplastik di Perairan oleh Arus

Berdasarkan dari gambar diatas, dapat diketahui bahwa nilai distribusi kelimpahan mikroplastik di perairan berbanding terbalik dengan kecepatan arus. Nilai kelimpahan mikroplastik akan semakin besar di perairan seiring dengan kecepatan arus yang lambat. Sementara itu, nilai kelimpahan akan semakin kecil di perairan seiring dengan kecepatan arus yang cepat karena diduga mikroplastik akan dibawa hingga ke perairan lainnya. Pengaruh kecepatan arus terhadap nilai kelimpahan mikroplastik pada perairan sebesar 76,6% yang menandakan bahwa arus memiliki pengaruh yang kuat terhadap besar kecilnya nilai kelimpahan mikroplastik pada perairan.

Mikroplastik yang memiliki densitas tinggi akan terendap ke lapisan bawah (sedimen) sedangkan mikroplastik dengan densitas yang rendah akan mengapung di permukaan air (Claessens *et al.*, 2011). Hal tersebut juga dipengaruhi oleh kecepatan arus dimana arus yang cepat akan mendistribusikan mikroplastik ke perairan laut lepas sedangkan arus lambat akan mengendapkan mikroplastik ke lapisan bawah (Jungnickel *et al.*, 2016). Keberadaan mikroplastik pada permukaan air dapat terjadi karena adanya distribusi vertikal mikroplastik yang disebabkan oleh keadaan perairan laut dan turbulensi dari angin yang

bergerak (Kukulka *et al.*, 2012; Reisser *et al.*, 2015). Konsentrasi mikroplastik akan turun secara eksponensial seiring dengan meningkatnya kedalaman yang berada di bawah 5 m (Shim *et al.*, 2018). Organisme yang terdapat di sedimen dan perairan juga akan terkena imbas dari adanya distribusi vertikal mikroplastik ini. Pada perairan, mikroplastik dapat ditemukan di dalam tubuh ikan yang mengira bahwa mikroplastik tersebut adalah makanannya. Organisme pada sedimen yang dapat terakumulasi mikroplastik yakni cacing *Arenicola marina* (Wright *et al.*, 2013). Distribusi vertikal mikroplastik dapat terjadi karena adanya kompleksitas antara kerapatan, ukuran, bentuk, massa *biofilament* dari plastik, intensitas gelombang, turbulensi, dan profil kerapatan air laut (Shim *et al.*, 2018). Menurut Wright *et al.* (2013), distribusi vertikal mikroplastik dari perairan menuju sedimen dapat dilihat pada Gambar 29.



Gambar 29. Distribusi Vertikal Mikroplastik (Sumber : Wright *et al.*, 2013)

Sementara itu, distribusi horizontal dari mikroplastik pada permukaan di lingkungan perairan laut secara musiman dipengaruhi oleh tingkat masukan aliran sungai yang berasal dari sumber berbasis darat (Lima *et al.*, 2014). Sungai memiliki kemampuan membawa partikel plastik dari daratan menuju ke perairan laut melewati muara karena adanya dinamika aliran. Hal ini menunjukkan bahwa

sungai menjadi media distribusi mikroplastik di lingkungan secara vertikal maupun horizontal (Besseling *et al.*, 2015; Horton *et al.*, 2017). Mikroplastik yang memiliki densitas rendah akan terapung di permukaan air dan terbawa menuju ke perairan laut. Distribusi ini dapat terjadi karena faktor kecepatan arus yang disebabkan oleh pasang surut dan pergerakan angin. Arus yang cepat akan membawa mikroplastik sampai ke perairan lainnya sedangkan arus yang lambat akan mengendapkan mikroplastik ke sedimen (Claessens *et al.*, 2011; Zhang *et al.*, 2017). Pergerakan arus oleh angin menjadi salah satu faktor utama yang menyebabkan terjadinya distribusi mikroplastik di permukaan air secara horizontal yang terakumulasi di perairan laut.