



Lintasan sampah mikroplastik di Kawasan Konservasi Perairan Nasional Laut Sawu, Nusa Tenggara Timur

Trajectory of microplastics at Savu Sea Marine National Park, East Nusa Tenggara

Noir P. Purba^{1*}, Widodo S. Pranowo², Sahat M. Simanjuntak³, Ibnu Faizal¹, Haifa H. Jasmin⁴, Dannisa I.W. Handyman⁵, Putri G. Mulyani¹

¹Departemen Kelautan, Fakultas Perikanan dan Ilmu Kelautan, Universitas Padjadjaran, Jl. Ir. Sukarno Km. 21, Bandung, Jawa Barat 40600, Indonesia; ²Pusat Riset Kelautan, Kementerian Perikanan dan Kelautan, Jl. Pasir Putih II, Ancol Timur, Jakarta, 14430, Indonesia; ³Sekolah Tinggi Teknologi Angkatan Laut (STTAL), Jl. Pantai Kuta, Ancol, 14430, Jakarta, Indonesia; ⁴Program Studi Ilmu Kelautan, Universitas Padjadjaran, Jl. Ir. Sukarno Km. 21, Bandung, Jawa Barat 40600, Indonesia
*Email korespondensi: noir.purba@unpad.ac.id

Received: 29 March 2019

Accepted: 13 June 2019

Abstract. *At present, marine debris is an important issue in Indonesia. Due to the complex pattern of ocean currents, research on the distribution of marine waste in Indonesia is still very lacking. This study aims to determine the movement of microplastic particles at the Savu Sea National Marine Park. The method used was to simulate the hydrodynamic model and particle trajectory. Data used were wind, tides, bathymetry, coastline, weight of garbage, and garbage fluxes. Analysis was carried out on physical data visualization, hydrodynamic models, and particle trajectory models. The hydrodynamic model simulation shows if the average current velocity ranges from 0,0002 m/s to 0.35 m/s. The particle trajectory showed that microplastic particle movements tend to move to the south, where some of them move west and east of the Savu Sea. Besides being affected by tides, microplastic particle movements in the Savu Sea National Marine Park are also influenced by various currents that pass through the Savu Sea waters, especially by Indonesia Troughflow.*

Keywords: *Ocean model, particle pathways, microdebris, Savu Seas, Indonesia Troughflow*

Abstrak. Saat ini, sampah laut merupakan salah satu isu kemaritiman di Indonesia. Karena pola pergerakan arus yang kompleks, penelitian mengenai distribusi sampah laut di Indonesia masih sangat kurang. Taman Laut Nasional Laut Sawu sebagai wilayah yang dilalui Arlindo juga memiliki karakteristik oseanografi yang kompleks. Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui hasil simulasi pergerakan partikel sampah di Taman Nasional Perairan (TNP) Laut Sawu. Metode yang digunakan yaitu simulasi model hidrodinamika dan lintasan partikel. Data yang digunakan yaitu angin, pasang surut, batimetri, garis pantai, berat sampah, dan flux sampah. Analisis dilakukan terhadap visualisasi data fisik, model hidrodinamika, dan model pergerakan partikel. Simulasi model hidrodinamika menunjukkan jika rata-rata kecepatan arus berkisar antara 0,0002 m/s hingga 0,35 m/s. Hasil simulasi menunjukkan jika pergerakan partikel mikroplastik cenderung bergerak ke selatan, dimana sebagian bergerak ke arah barat dan timur Laut Sawu. Selain dipengaruhi pasang surut, pergerakan partikel mikroplastik di Taman Laut Nasional Laut Sawu juga dipengaruhi oleh berbagai arus yang melewati perairan Laut Sawu khususnya Arlindo.

Kata kunci: *Pemodelan laut, lintasan partikel, sampah mikro, Laut Sawu, Arlindo.*

Pendahuluan

Sampah laut sudah menjadi isu global terkait dengan dampaknya yang besar terhadap ekosistem (UNEP, 2011), manusia (Derraik, 2002; Santos, 2009), ekonomi (Cho, 2009; Butler *et al.* 2013), kehidupan laut terutama biota dan burung (Tickel, 1997; Snelgrove, 1999; Rochman *et al.* 2015; Gall & Thompson, 2015), konflik (transborder issue), dan estetika pantai



(Jang *et al.* 2014; Sheavly, 2007). Jenis sampah yang sering ditemukan di perairan dapat berupa plastik, kaca, sedotan, rokok, dan logam (UNEP, 2009; Ocean Conservancy, 2011). Sampah dengan jenis plastik merupakan yang paling banyak ditemukan karena sifatnya yang tahan lama dan sulit untuk terdegradasi secara alami. Menurut Arthur *et al.* (2009), plastik berukuran besar akan mengalami proses degradasi di lingkungan hingga mengalami perubahan ukuran menjadi fragmen yang lebih kecil, kemudian lebih sering disebut dengan mikroplastik. Mikroplastik sendiri didefinisikan sebagai fragmen plastik yang berukuran lebih kecil dari 5 mm. Berdasarkan riset sebelumnya yang dilakukan oleh Farrell & Nelson (2013), mikroplastik memengaruhi kesehatan biota laut karena proses bioakumulasi dan masuknya zat berbahaya ke dalam rantai makanan. Selain itu, Van Sebille *et al.* (2015), menemukan bahwa zona akumulasi mikroplastik ditemukan di Pasifik Utara dengan berat mikroplastik sekitar 93-236 ribu ton metrik.

Di Indonesia, penelitian terkait sampah laut terutama mikroplastik telah dilakukan di beberapa lokasi seperti di utara Jawa Barat Pangestu *et al.* (2016), di pantai pulau Seribu (Maharani *et al.* 2018; Purba *et al.* 2017), kolom air di Nusa Tenggara Hiwari *et al.* (2019), estuari DKI Jakarta Rachmat *et al.* (2019), dan sediment laut Cordova *et al.* (2018). Sumber sampah ini dapat berasal dari berbagai lokasi seperti sungai, terbawa angin dan arus, atau buangan langsung. Di pantai Pangandaraan, Purba *et al.* (2018) menemukan bahwa sampah yang terakumulasi di pantai bersumber dari turis, nelayan, dan sampah kiriman.

Riset permodelan mikroplastik belum banyak dilakukan di perairan Indonesia. Pangestu *et al.* (2016) menemukan bahwa terdapat 0,2 mg/L mikroplastik di perairan Laut Jawa di sekitar perairan Biawak. Selanjutnya, Handyman *et al.* (2019) melanjutkan penelitian tersebut dengan pendekatan pemodelan hidrodinamika dan lintasan partikel, mengestimasi bahwa perpindahan mikroplastik di Laut Jawa adalah 0.9 – 5.4 km selama tujuh bulan. Pemodelan hidrodinamika dan sebaran partikel dapat diaplikasikan untuk mengetahui pergerakan partikel dalam kurun waktu yang ditentukan. Pendekatan pemodelan hidrodinamika juga dilakukan oleh Attamimi *et al.* (2015) untuk menginvestigasi pergerakan sampah makrodebris di Kuta, Bali dan Fitriadi *et al.* (2017) untuk menginvestigasi pergerakan larva planula di perairan Pulau Biawak, Indramayu. Ramos *et al.* (2018) mensimulasikan kemungkinan masuknya sampah dari samudera Pasifik ke Indonesia.

Permasalahan sampah laut tersebut merupakan tantangan tersendiri di Indonesia sehubungan dengan statusnya sebagai negara penyumbang sampah plastik ke laut terbesar kedua di dunia Jambeck *et al.* (2015). Untuk itu, pemerintah telah mengeluarkan Peraturan Presiden No. 83 tahun 2018 tentang penanganan sampah laut, dimana perpres ini menjadi acuan pada target yang akan dicapai Indonesia. Selain itu juga, sesuai dengan arahan dari rencana aksi nasional penanganan sampah laut, ditargetkan pada tahun 2025, sampah yang ada di perairan Indonesia berkurang 70%. Salah satu rencananya adalah dengan mengidentifikasi sampah-sampah apa saja yang ada di wilayah pengelolaan perikanan.

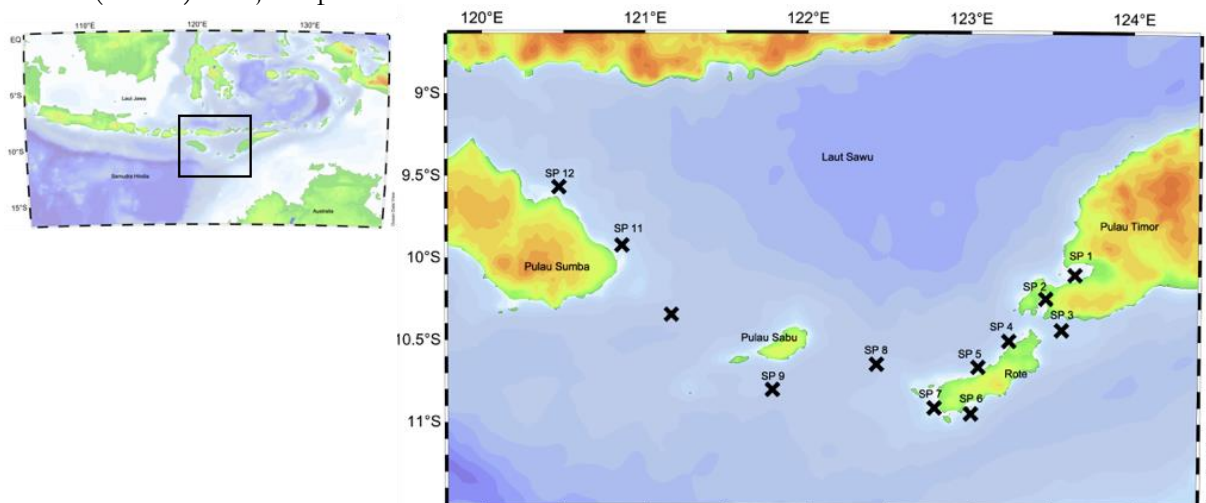
Salah satu yang menjadi isu di bagian timur Indonesia adalah di laut Sawu. Berdasarkan riset mengenai sebaran sampah makro di pantai-pantai TNP Laut Sawu, Purba *et al.* (2018) menemukan bahwa sampah plastik merupakan tipe yang dominan ditemukan dan memiliki kelimpahan tertinggi. Penemuan tersebut dapat mendukung riset selanjutnya yang berfokus pada pengaplikasian model dalam prediksi pergerakan sampah. Kajian transpor sampah laut, terutama tipe mikroplastik, di Taman Nasional Perairan Laut Sawu sangat diperlukan mengingat perairan ini memiliki karakteristik oseanografi yang kompleks karena dilalui oleh Arus Lintas Indonesia (Arlindo) (Purba dan Pranowo, 2015) dan menjadi isu perbatasan dengan Australia dan Samudra Hindia.

Bahan dan Metode

Waktu dan tempat

Penelitian dilakukan di perairan Laut Sawu sebagaimana divisualisasikan pada Gambar 1. Data awal yang digunakan untuk berat mikroplastik didapatkan dengan pengambilan sampel di lapangan pada bulan Juni tahun 2018 di sekitar perairan Kupang, Rote, dan Ndana (Purba *et al.* 2018; Hiwari *et al.* 2019) dan membandingkan hasil data sekunder lainnya Jasmin (2018) dan Pangestu *et al.* (2016) dengan rentang 0,1 – 8,8 mg.

Metode yang digunakan yaitu pemodelan menggunakan simulasi model hidrodinamika dan model lintasan partikel. Metode ini sudah dilakukan oleh Handyman *et al.*, (2019) di Laut Jawa; Attamimi *et al.*, (2015) di pantai Kuta. Simulasi *Particle Trajectories* pada partikel mikrodebris dilakukan selama periode satu tahun sepanjang tahun 2017 dengan 12 titik dugaan sumber sampah yang tersebar di bagian selatan Laut Sawu. Lokasi titik-titik sumber tersebut adalah perairan antara Pulau Timor dan pulau Semau (SP 1 – SP 3), perairan sekitar Pulau Rote (SP 4 – SP 7), sekitar Pulau Sabu (SP 8 – SP 9), dan sekitar Pulau Sumba (SP 10 – SP 12) (Gambar 1). Pemilihan lokasi ini karena dianggap mewakili TNP Laut Sawu, pulau terluar (Ndana) dan jalur pintasan ARLINDO.



Gambar 1. Titik Sumber Keluaran Partikel Mikroplastik di Laut Sawu dalam Model. Asumsi sumber titik berdasarkan lokasi wisata dan juga jalur arus (latar gambar adalah bathymetri dan diolah dengan menggunakan software ODV)

Data batimetri diambil dari PUSHIDROSAL, data pasang surut dari *Prediction of Tidal Height* (PTH), dan data angin dari ECMWF (*European Center for Medium-Range Weather Forecasts*) dengan resolusi $0,125^\circ \times 0,125^\circ$. Waktu simulasi model dilakukan untuk satu tahun. Asumsi yang digunakan dalam model yaitu degradasi partikel tidak dimasukkan, siklus hidrodinamika laut Sawu tidak berubah setiap tahunnya, dan partikel bergerak seiring dengan pergerakan arus (Pangestu *et al.* 2016; Handyman *et al.* 2019).

Analisis data

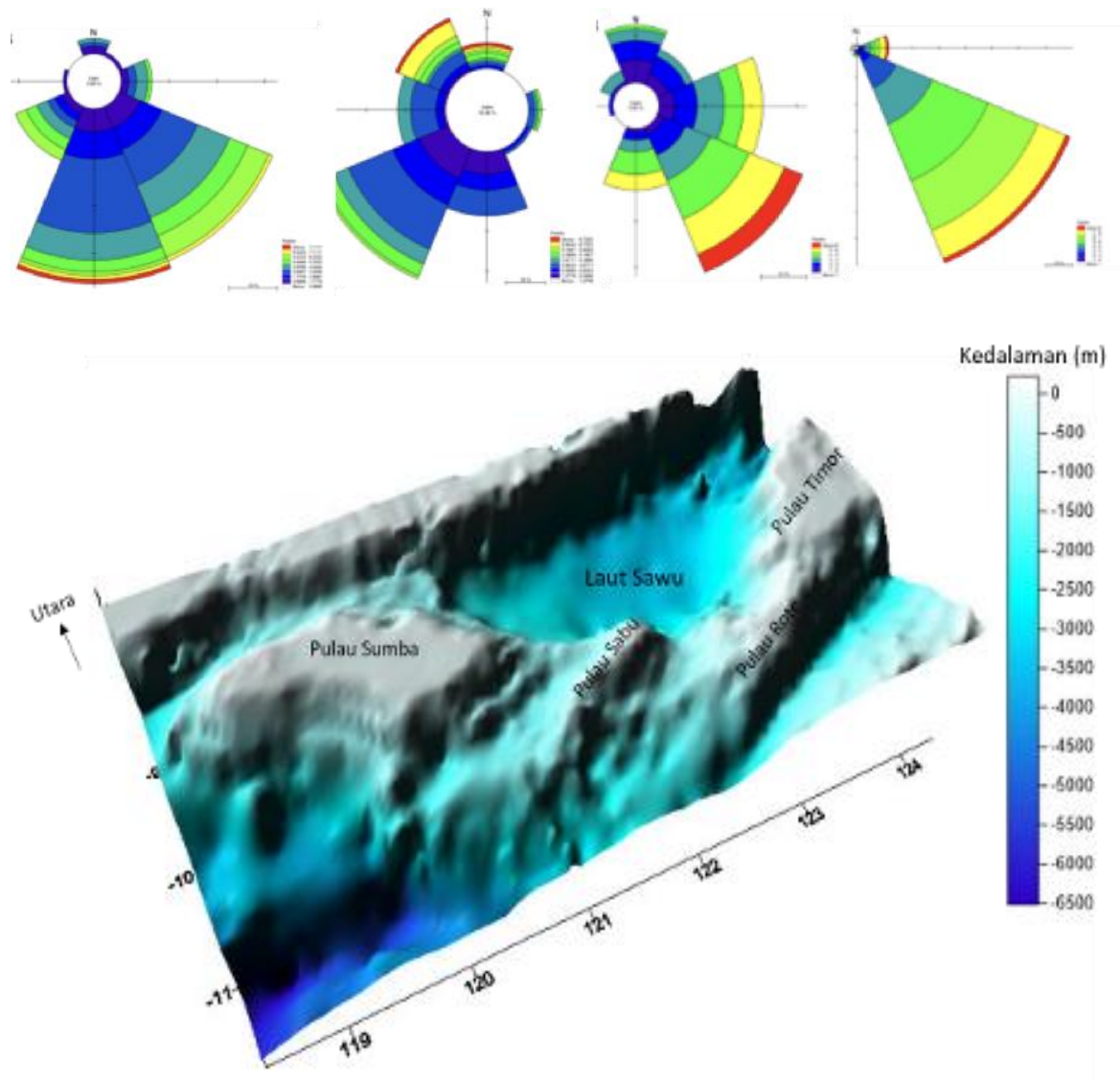
Pengolahan dilakukan dengan modul penyebaran partikel dengan tahapan membangun model hidrodinamika. Hasil permodelan hidrodinamika kemudian divalidasi dengan data lapangan. Kemudian berat sampah dimasukkan untuk mengetahui penjarangan sampah. Analisis dilakukan terhadap hasil simulasi hidrodinamika untuk menentukan pola angin, arus, dan pasang surut. Analisis untuk pergerakan partikel mikroplastik dari setiap titik sumber dilakukan terhadap pola pergerakan partikel, waktu tempuh dan jarak tempuh. Analisis juga dilakukan untuk setiap muson berdasarkan angin muson yaitu Muson Peralihan (MP1) (April), Muson Timur (MT) (Juli), Muson Peralihan (MP2) (Oktober), dan Muson Barat (MB) (Desember).



Hasil

Berdasarkan pengolahan data batimetri, perairan Laut Sawu di selatan berkisar antara 1 hingga 3500 meter. Batimetri Laut Sawu bervariasi karena area ini termasuk salah satu bagian terluar dari perairan Indonesia yang langsung terhubung dengan Samudera Hindia. Selain itu, perairan ini juga dilalui oleh *Indonesian Through-Flow* (ITF) atau disebut juga Arus Lintas Indonesia (Arlindo), yang mempengaruhi batimetri di perairan Laut Sawu menjadi cukup dalam.

Pola pergerakan angin di Laut Sawu dipengaruhi oleh sistem angin muson, dimana pada MB, angin cenderung bergerak ke arah timur dan tenggara, sedangkan pada MT, angin cenderung bergerak ke arah barat dan barat daya. Arah pergerakan angin yang digunakan dalam model disajikan pada Gambar 2.



Gambar 2. Grafik Rata-rata Arah Pergerakan Angin di Laut Sawu pada bulan April, Juli, Oktober, dan Desember (atas), Kedalaman laut di TNP (bawah)

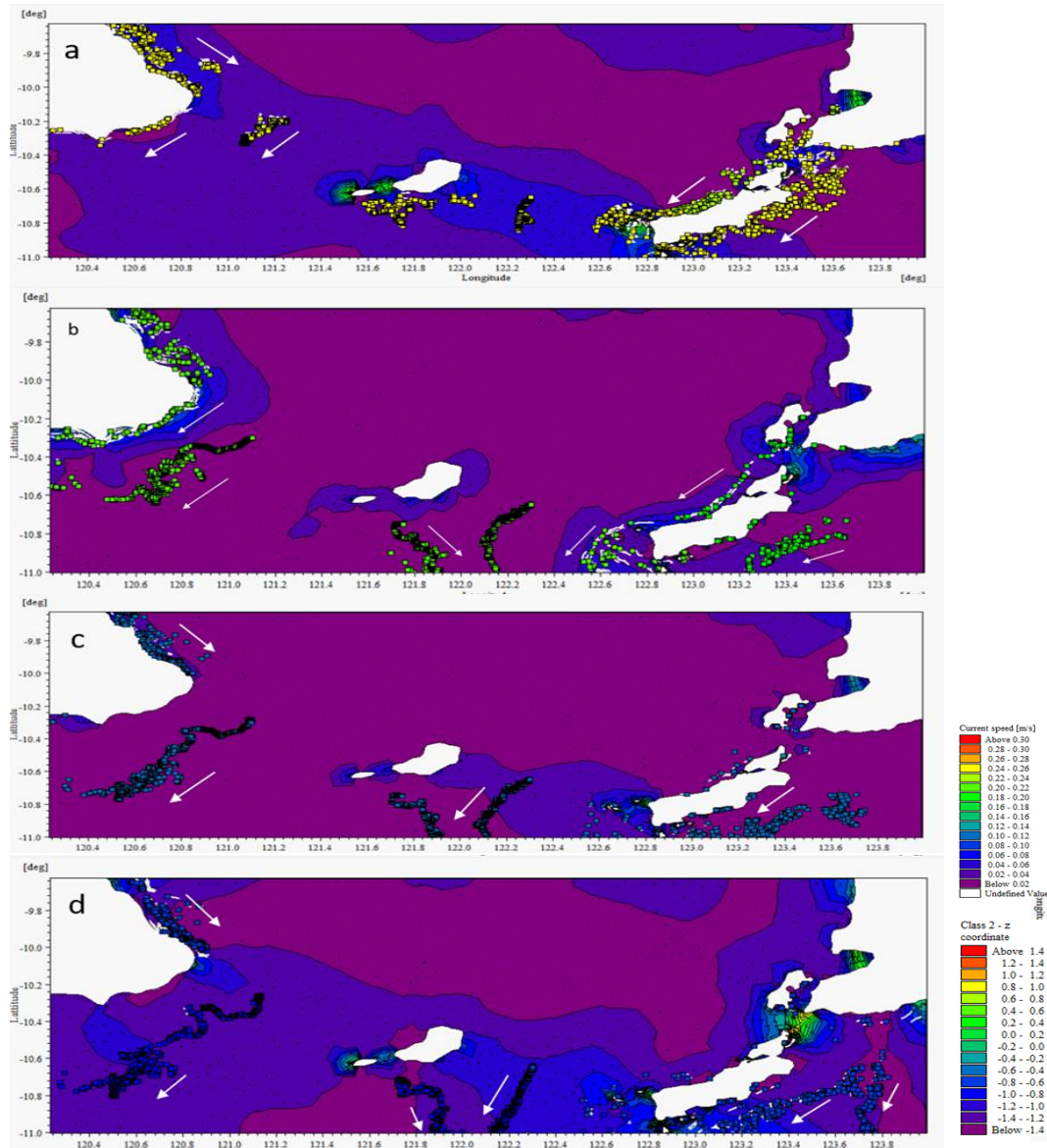


Pergerakan angin di Laut Sawu pada bulan Januari hingga awal bulan Maret cenderung bergerak dari barat laut dengan rentang 210° hingga 350° , pada waktu ini termasuk pada MB dengan rata-rata kecepatan angin 5,374 m/s. Berbeda dengan muson sebelumnya, pergerakan angin dari bulan Maret hingga bulan Mei bervariasi arahnya dengan kecepatan rata-rata 4,98 m/s. Periode ini termasuk ke dalam MP1 dengan kondisi angin tidak mendominasi pergerakannya hanya dari satu arah. Memasuki bulan Juni hingga Agustus, angin bergerak dari timur dan tenggara dengan rentang arah 90° hingga 140° dan rata-rata kecepatannya 7,17 m/s, termasuk pada MB. Sama seperti pada MP1, bulan September hingga November tidak ada arah angin yang terlalu mendominasi, karena termasuk ke dalam MP2 dengan rata-rata kecepatan 4,32 m/s. Rata-rata kecepatan angin dalam model ini sesuai dengan hasil penelitian Kurniawan *et al.* (2011), yang menyatakan jika rata-rata kecepatan angin di Laut Sawu berkisar antara 5-10 m/s setiap tahunnya. Untuk kedalaman di TNP-Laut Sawu bervariasi di bagian utara dan selatan. Kedalaman perairan di bagian utara lebih dangkal (hingga 3500 m) dibandingkan di selatan yang langsung berbatasan dengan Samudra Hindia (hingga 6000 m).

Pola pasang surut di Laut Sawu bagian selatan termasuk ke dalam ganda campuran (semi diurnal), dengan nilai formzahl 0,92, yaitu kondisi pasang dan surut terjadi lebih dari satu kali dalam sehari. Pasang tertinggi mencapai 1,38 meter sedangkan surut terendah mencapai -1,45 meter. Hasil simulasi hidrodinamika dengan batimetri, elevasi laut, dan angin sebagai input menunjukkan bahwa kecepatan arus permukaan Laut Sawu memiliki nilai yang bervariasi. Kecepatan arus rata-rata di bagian tengah, utara, timur, dan barat dari area kajian model adalah 0,017 m/s; 0,011 m/s; 0,035 m/s; 0,017 m/s; dan 0,014 m/s. Kecepatan arus maksimum adalah 0,35 m/s dan kecepatan minimum adalah 0,0002 m/s.

Laut Sawu yang dilalui oleh Arlindo yang bergerak ke arah selatan dan barat daya menyebabkan pergerakan arus dominan ke arah tersebut. Pergerakan arus permukaan tersebut juga memengaruhi pola gerak dari partikel sampah mikroplastik, demikian juga dengan arus-arus lain yang melewati perairan Laut Sawu seperti arus laut Flores, arus Selatan Jawa, arus dari Samudera Hindia, serta Arlindo yang melewati Selat Ombai dan Laut Timor menuju Laut Sawu (Pranowo, 2012).

Hasil simulasi pada empat bulan pertama, yaitu yang mewakili MP1 (Gambar 3a), pergerakan partikel cenderung bergerak ke selatan (SP1, SP2, SP3, SP5, SP4, SP6, SP8, SP9), tetapi partikel dari beberapa titik sumber keluaran cenderung bergerak ke utara (SP10, SP11, SP12). Partikel yang keluar dari selatan, khususnya dari SP6, sebagian bergerak ke timur. Pergerakan partikel pada muson ini dipengaruhi oleh angin yang bergerak dari timur, yang menggerakkan arus dari perairan Australia ke Laut Banda dan Laut Arafura, kemudian masuk ke perairan Laut Sawu melalui Selat Ombai dan Laut Timor. Arus-arus ini bergerak mengikuti jalur Arlindo, yang kemudian membuat pergerakan arus cenderung ke selatan. Sebagian partikel mikroplastik dari SP9 yang cenderung bergerak ke timur laut dikarenakan adanya aliran arus dari selatan Jawa yang melalui Pulau Sumba ke Laut Sawu (Purba dan Pranowo, 2015).



Gambar 3. Pergerakan Partikel Mikro Sampah di lapisan kedalaman laut (partikel bujursangkar berwarna dengan skala satuan meter kedalaman laut) pada periode (a) April (MP1); (b) Juli (MB), (c) Oktober (MP2), dan (d) Desember (MB). Adapun panah putih merepresentasikan arah arus dominan dan sebaran kecepatannya digambarkan sebagai degradasi warna dengan skala satuan m/s.

Pembahasan

Simulasi model pada bulan Juli (Gambar 3b), yang mewakili MT menunjukkan jika pergerakan partikel tidak berbeda jauh dengan muson sebelumnya tetapi dengan jarak dan waktu tempuh yang berbeda. Setiap partikel juga tetap bergerak bolak balik karena dipengaruhi oleh pasang surut. Penelitian serupa juga ditemui di laut Jawa Pangestu *et al.* (2016), Attamimi *et al.* (2015), dan Jasmin *et al.* (2019) di teluk Jakarta. di Partikel yang keluar dari SP10 cenderung bergerak ke arah barat dan keluar dari batasan model, walaupun sebagian bergerak ke arah timur karena dipengaruhi juga oleh arus Selatan Jawa. Arus-arus yang bergerak di Laut Sawu cenderung menguat ke arah selatan seiring dengan menguatnya pergerakan Arlindo pada MB.



Pergerakan partikel mikroplastik pada simulasi model di bulan Oktober yang mewakili MP2 (Gambar 3c), juga cenderung sama dengan muson-muson sebelumnya terutama MB. Bila dibandingkan dengan MB, pada muson ini pergerakan partikel dalam model mulai dipengaruhi oleh perubahan arus karena mulai memasuki MB, ketika angin dari barat mulai mendominasi (Pranowo, 2012). Arus permukaan dari Laut Flores, arus selatan Jawa yang melewati Pulau Sumba mulai menguat, terlihat dari pergerakan partikel yang bergerak ke arah utara dan timur laut, walaupun partikel di bagian timur area model cenderung tetap bergerak ke arah selatan.

Hasil simulasi model di bulan Desember yang mewakili MB (Gambar 3d), tidak berbeda begitu jauh dengan MP1. Pergerakan partikel pada akhir simulasi ini dipengaruhi oleh arus permukaan yang bergerak dari arah barat, yaitu dari Samudera Hindia, arus Selatan Jawa, dan arus dari Laut Flores ke perairan Sawu. Pertemuan arus-arus tersebut menyebabkan terbentuknya eddy di bagian tengah perairan Laut Sawu dengan arah yang berbeda bergantung muson, dimana pada model eddy tersebut terbentuk di bagian utara area batasan model.

Pergerakan partikel mikrodebris memiliki pola bolak-balik dengan arah pergerakan menuju selatan, tenggara, dan barat daya. SP 1 – SP 7 yang terletak di perairan lebih dangkal bergerak mengikuti kontur pantai, yaitu ke arah barat daya. Diperkirakan beberapa partikel tersebut melintasi hingga menjauhi area model. Arah pergerakannya cenderung seragam dalam setiap muson. SP 8 dan SP 9 yang terletak di perairan lebih dalam menunjukkan arah pergerakan yang serupa, yaitu menjauhi area kajian model ke arah selatan. Pergerakan setiap bulannya menunjukkan hasil cenderung seragam dengan arah pergerakan dominan arah selatan. SP 10 dan SP 11 cenderung bergerak dominan ke arah barat daya, sementara SP 12 bergerak dominan ke arah tenggara dan bergerak mengikuti kontur Pulau Sumba.

Secara umum, partikel mikrodebris mengalami perpindahan dominan ke arah selatan dalam periode satu tahun simulasi. Partikel bergerak perlahan menjauhi sumber dengan tipe arus pengangkut yang bolak-balik. Partikel yang diasumsikan berasal dari perairan yang berbatasan dengan pulau memiliki pola pergerakan mengikuti kontur pulau tersebut. Perpindahan partikel mikrodebris di bagian barat kajian adalah $\pm 53,085$ m; $\pm 93,338$ m; $\pm 144,483$ m; dan $\pm 106,490$ m, serta di bagian timur adalah $\pm 162,071$ m, $\pm 92,503$ m, $\pm 140,000$ m, $\pm 53,085$. Sementara perpindahan pada *starting point* di bagian timur tidak terdefinisi karena pergerakan partikel yang menjauhi area kajian model. Pergerakan partikel mikrodebris juga dipengaruhi oleh perambatan pasang surut sehingga pada wilayah titik sumber partikel yang dekat dengan daratan sudah berhenti bergerak dan mendekati wilayah daratan. Berdasarkan penelitian Attamimi (2015) menunjukkan bahwa pergerakan partikel sampah terapung terjadi pembelokan arus dan juga gelombang yang menjadi faktor lain. Berat dan fluks dari suatu partikel sangat menentukan lintasan partikel tersebut bergerak. Berat mikroplastik yang lebih ringan akan membuat partikel terbawa jauh oleh arus dan perambatan pasang surut atau bahkan dapat masuk ke kolom perairan yang lebih dalam.

Kesimpulan

Pergerakan arus di perairan Laut Sawu dipengaruhi oleh beberapa macam faktor seperti batimetri, pasang surut, serta angin muson. Kecepatan arus hasil simulasi model berkisar antara 0,0002 /s hingga 0,35 m/s. Pola pergerakan partikel mikroplastik di Laut Sawu selain dipengaruhi oleh pasang surut juga dipengaruhi oleh pergerakan arus permukaan yang berasal dari arus Pantai Jawa (selatan Jawa), arus Laut Flores, serta Arlindo. Simulasi model lintasan partikel dalam satu tahun menunjukkan bahwa sebagian partikel mikroplastik bergerak menjauhi area batasan model ke arah selatan dan barat daya.



Ucapan Terimakasih

Penulis mengucapkan terimakasih kepada Laboratorium Marine Research Laboratory (MEAL) Universitas Padjadjaran, dan Laboratorium Data Laut dan Pesisir milik Pusat Riset Kelautan KKP. Penelitian ini dibiayai oleh LIPI melalui mekanisme hibah *Demand Driven Research Grant* (DDRG) 2018 (B-1206/IPK.02/KS/III/2018). Ucapan terima kasih disampaikan juga kepada Kepala dan Staf Balai Kawasan Konservasi Perairan Nasional (BKKPN) Kupang yang telah banyak membantu dalam proses survei dan pengumpulan data.

Daftar Pustaka

- Arthur, C., J.E. Baker, H.A. Bamford. 2009. Proceedings of the International Research Workshop on the Occurrence, Effects and Fate of Micro-plastic Marine Debris, Sept 9-11, 2008. NOAA Technical Memorandum NOS-OR&R-30.
- Attamimi, A., N.P. Purba, S.R. Anggraini, S.A. Harahap. 2015. Investigation of Marine Debris in Kuta Beach Bali. In: E. Suhartanto, P.T. Juwono, A. WWS, U. Andawayanti, F. Hidayat, G.E. Susilo (eds.). Proceedings of Environmental Engineering and Water Technology, Integrated Water System and Governance (Malang, East Java, Indonesia), p. C1-7.
- Butler, J.R.A., R. Gunn, H.L. Berry, G.A. Wagey, B.D. Hardesty, C.A. Wilcox. 2013. A value chain analysis of ghost nets in the Arafura Sea: identifying trans-boundary stakeholders, intervention points, and livelihood trade-offs. *Journal of Environmental Management*, 123: 14-25.
- Cho, D.O. 2009. The incentive program for fishermen to collect marine debris in Korea. *Marine Pollution Bulletin*, 58(3): 415-417.
- Cordova, M.R., T.A. Hadi, B. Prayudha. 2018. Occurrence and abundance of microplastics in coral reef sediment: a case study in Sekotong, Lombok-Indonesia. *Advances in Environmental Sciences Bioflux*, 10(1): 23-29.
- Derraik, J.G.B. 2002. The pollution of the marine environment by plastic debris: a review. *Marine Pollution Bulletin*, 44: 842-852.
- Farrel, P., K. Nelson. 2013. Trophic level transfer of microplastic: *Mytilus edulis* (L.) to *Carcinus maenas* (L.). *Journal of Environmental Pollution*, 117: 1-3.
- Fitriadi C.A., Y. Dhahiyat, N.P. Purba, S.A. Harahap, D.J. Prihadi. 2017. Coral larvae spreading based on oceanographic condition in Biawak Islands, West Java, Indonesia. *Journal of Biodiversitas*, 18(2): 681-690.
- Gall, S.C., R.C. Thompson. 2015. The impact of debris on marine life. *Journal of Marine Pollution Bulletin*, 92(1-2): 170-179.
- Gregory, M.R. 2009. Environmental implications of plastic debris in marine settings entanglement, ingestion, smothering, hangers-on, hitch-hiking and alien invasions. *Journal of Philos. Trans. R. Soc. Lond. Ser. B Biol. Sci.*, 364: 2013-2025.
- Handyman, D., S. Harahap, L. Yuliadi, I. Dante, N. Purba, W. Pranowo. 2019. Microplastics patch based on hydrodynamic modeling in the North Indramayu, Java Sea. *Polish J. Environ. Stud.* 28, 135–142. <https://doi.org/10.15244/pjoes/81704>
- Hiwari, H., N.P. Purba, Y.N. Ihsan, L.P.S. Yuliadi, P.G. Mulyani. 2019. Condition of microplastic garbage in sea surface water at around Kupang and Rote, East Nusa Tenggara Province. *Pros. Sem. Nas. Masy. Biodiv. Indo.*, 5(2): 165-171.
- Jambeck, J.R., R. Geyer, C. Wilcox, T.R. Siegler, M. Perryman, A. Andrady, R. Narayan, K.L. Law. 2015. Plastic waste inputs from land into the ocean. *Journal of Science*, 347: 768-772.
- Jang, Y.C., S.W. Hong, J.M. Lee, M.J. Lee, W.J. Shim. 2014. Estimation of lost tourism revenue in Geoje Island from the 2011 marine debris pollution event in South Korea. *Mar. Pollut. Bull.*, 81: 49–54.



- Jasmin, H.H. 2018. Permodelan sampah laut di Teluk Jakarta sebelum dan sesudah reklamasi. Laporan penelitian, Universitas Padjadjaran, 1-60.
- Jasmin, H.H., N.P. Purba, S.A. Harahap, W.S. Pranowo, M.L. Syamsudin, I. Faizal. 2019. The model of macro debris transport before reclamation and in existing condition in Jakarta Bay. *J. Ilmu dan Teknologi Kelautan Tropis*, 11(1), 131-140.
- Kurniawan, R., M.N. Habibie, Suratno. 2011. Monthly Variation Over Ocean Waves Indonesia. *Journal of Meteorology and Geophysics*, 12(3): 221-232.
- Maharani, A., N.P. Purba, I. Faizal. 2018. Occurrence of beach debris in Tunda Island, Banten, Indonesia. *E3S Web Conf.* 47, 04006. <https://doi.org/10.1051/e3sconf/20184704006>
- Tickel, C. 1997. The value of biodiversity. In: Ormond, R.F.G., J.D. Gage, M.V. Angel. (Eds.), *Marine Biodiversity: Patterns and Processes*. Cambridge University Press, Cambridge, pp. xiii-xxii.
- Ocean Conservancy. 2011. Tracking trash 25 years of action for the Ocean. Organisation Report. ICC Report, 43 p.
- Pangestu, I.F., N.P. Purba, M.L. Syamsudin. 2016. Kondisi mikroplastik di Perairan Indramayu, Jawa Barat. In: Afrianto, E., A. Yustiati, Z. Hasan, Z. Anna, Y. Andriani, A. Rizal, M.L. Syamsudin (ed.). *Prosiding Seminar Nasional Perikanan dan Kelautan : Sinergitas Teknologi, Hukum, dan Kebijakan Bidang Perikanan dan Ilmu Kelautan Menuju Kedaulatan Pangan di Era MEA (Bandung, Indonesia)*, 382-390.
- Pranowo, W.S. 2012. Upwelling-downwelling Dynamics of Arafura and Timor Seas. *Widyariset*, 15(2): 415-423.
- Purba, N.P., I.M. Apriliani, L.P. Dewanti, H. Herawati, I. Faizal. 2018. Distribution of macro debris at Pangandaran Beach, Indonesia. *World Scientific News*, 103: 144-156.
- Purba, N.P., Y.N. Ihsan, I. Faizal, D.I.W. Handyman, K.S. Widiastuti, P.G. Mulyani, M.F. Tefa, M. Hilmi. 2018. Distribution of Macro Debris in Savu Sea Marine National Park (Kupang, Rote, and Ndana Beaches), East Nusa Tenggara, Indonesia. *Worlds News of Natural Sciences*, 21: 64-76.
- Purba, N.P., W.S. Pranowo. 2015. *Dynamics of Oceanography, watermass characteristics and circulation*. Unpad Press, 272p.
- Purba, N.P., M.L. Syamsuddin, R. Sandro, I.F. Pangestu, M.R. Prasetio. 2017. Distribution of marine debris in Biawak Island, West Java, Indonesia. *World Scientific News* 66, 281–292.
- Rachmat, S.L.J., N.P. Purba, M.U.K. Agung, L.P.S. Yuliadi. 2019. Characteristics of microplastics at Jakarta Estuaries. *Depik*, 8(1): 1-10.
- Ramos, A., N.P. Purba, I. Faizal, Y. Mulyani, M.L. Syamsudin. 2018. Microplastic tracking from Pacific garbage to Northern Indonesia Sea. *Jurnal Perspektif Pembiayaan dan Pembangunan Daerah*, 6(1): 87-96.
- Rochman, C.M., A. Tahir, S.L. Williams, D.V. Baxa, R. Lam, J.T. Miller, S. Werorilangi, S.J. Teh. 2015. Anthropogenic debris in seafood: plastic debris and fibers from textiles in fish and bivalves sold for human consumption. *Journal of Sci. Rep.*, 5: 1-10.
- Santos, I.R., A.C. Friedrich, J.A. Ivar do Sul. 2009. Marine debris contamination along undeveloped tropical beaches from northeast Brazil. *Environ. Monit. Assess.*, 148: 455-462.
- Schlitzer, R. 2019. Ocean Data View. <http://awi.de>
- Sheavly, S.B. 2007. Marine debris and plastics: environmental concerns, sources, impacts and solutions. *Journal of Polymer Environment*, 15: 301-305.
- Snelgrove, P.V.R. 1999. Getting to the bottom of marine biodiversity: sedimentary habitats. *Journal of BioScience*, 49: 129–138.
- UNEP. 2009. *Marine litter : a global challenge*. 232 p.



Van Sebille, E., C. Wilcox, L. Lebreton, N. Maximenko, B.D. Hardesty, J.A. van Franeker, M. Eriksen, D. Siegel, F. Galgani, K.L. Law. 2015. A global inventory of small floating plastic debris. *Journal of Environmental Research Letters*, 10(12): 124006.

How to cite this paper:

Purba, N.P., W.S. Pranowo, S.M. Simanjuntak, I. Faizal, H.H. Jasmin, D.I. Handyman, P.G. Mulyani. 2019. Permodelan Lintasan Sampah Mikro di Kawasan Konservasi Perairan Nasional Laut Sawu, Nusa Tenggara Timur. *Depik Jurnal Ilmu-Ilmu Perairan, Pesisir dan Perikanan*, 8(2): 125-133.