



LAPORAN AKHIR

KAJIAN SAMPAH LAUT DI PERAIRAN PESISIR BARAT KABUPATEN BADUNG



**KERJA SAMA
ANTARA**

**BADAN RISET DAN INOVASI DAERAH KABUPATEN BADUNG
DENGAN
FAKULTAS KELAUTAN DAN PERIKANAN
UNIVERSITAS UDAYANA**

TAHUN 2023

KATA PENGANTAR

Atas berkat Rahmat Ida Sang Hyang Widhi Wasa/Tuhan Yang Maha Esa, Laporan Akhir Kajian Sampah Laut di Perairan Pesisir Barat Kabupaten Badung dapat diselesaikan tepat waktu sesuai rencana.

Hasil kajian ini diharapkan dapat digunakan sebagai landasan dalam menyusun kebijakan yang tepat, guna mengantisipasi dan menangani permasalahan sampah kiriman di Perairan Pesisir Barat Kabupaten Badung. Wilayah Pesisir Barat Kabupaten Badung merupakan daerah tujuan wisata yang sudah seyogyanya dapat memberikan rasa nyaman bagi wisatawan utamanya akibat dari pencemaran sampah laut.

Ucapan terima kasih kami sampaikan kepada semua pihak yang telah membantu menyusun Laporan Akhir ini. Untuk penyempurnaan Laporan Akhir ini kami mohon masukan, koreksi dan saran sehingga laporan ini dapat bermanfaat bagi semua.

Mangupura, 5 September 2023
Kepala Badan Riset dan Inovasi Daerah Kabupaten
Badung



Dr. I WAYAN SUAMBARA, SH., MM

Pembina Utama Muda

NIP. 19631025 198810 1 002

DAFTAR ISI

KATA PENGANTAR.....	ii
DAFTAR ISI.....	iii
DAFTAR TABEL.....	v
DAFTAR GAMBAR.....	vi
EXECUTIVE SUMMARY.....	vii
BAB 1 PENDAHULUAN.....	1
1.1. Gambaran Umum Masalah.....	1
1.2. Rumusan Masalah	3
1.3. Tujuan dan Manfaat Studi	3
BAB 2 METODE KAJIAN	4
2.1 Sumber Data	4
2.2 Model Hidrodinamika.....	4
2.2.1 Persamaan Hidrodinamika	5
2.2.2 Persamaan Pergerakan Partikel	5
2.2.3 Skenario Model Pergerakan Sampah Laut.....	8
2.2.4 Validasi Model Pergerakan Sampah Laut.....	9
2.2.5 Analisis Waktu Tinggal Sampah Laut	10
2.3 Analisis DPSIR.....	11
BAB 3 HASIL DAN PEMBAHASAN	12
3.1 Data Sampah Observasi Pesisir Barat Badung.....	12
3.2 Kondisi Arus Selat Bali	15
3.3 Validasi Pergerakan Sampah Laut.....	16
3.4 Pergerakan Sampah Laut.....	17
3.5 Pelacakan Sumber Sampah Laut	18
3.6 Waktu Tinggal Sampah Laut.....	20
BAB 4 ANALISIS DPSIR.....	22

4.1	Kerangka DPSIR Permasalahan Sampah di Pesisir Barat Badung	22
4.2	Rekomendasi Aksi Bagi Pemerintah Kabupaten Badung	26
DAFTAR PUSTAKA		53

DAFTAR TABEL

Tabel 1 Desain Model.....	8
Tabel 2. Matriks Rekomendasi Aksi Kepada Pemerintah Kabupaten Badung, Bali.....	26

DAFTAR GAMBAR

Gambar 1. Area Model.....	9
Gambar 2. Ilustrasi Drifter.....	9
Gambar 3. Ilustrasi Kondisi Awal dan Pelepasan Sampah Laut Dalam Perhitungan Waktu Lama Tinggal Sampah Laut	10
Gambar 4. Skema Konseptual Model DPSIR (Smeeth dan Weterings, 1999)	11
Gambar 5. Konsentrasi Sampah di Pantai Kuta: 2014-2015 (a) dan Berat Total Sampah Pesisir Barat Badung Pada Musim Barat: Desember 2020 – Februari 2023 (b).....	13
Gambar 6. Total Berat Sampah di Masing-Masing Zona di Pesisir Barat Badung Pada Musim Barat (Desember 2020 – Februari 2023).....	14
Gambar 7. Kondisi Arus Rata-Rata Selat Bali Saat DJF 2022-2023	15
Gambar 8. Validasi Peregerakan Sampah Laut Antara Observasi dan Model.....	17
Gambar 9. Area Potensi Sumber Sampah di Pesisir Barat Badung	18
Gambar 10. Waktu Pergerakan Sampah dari Sumber Menuju Pesisir Barat Badung.....	20
Gambar 11. Kondisi Initial l Waktu Tinggal Sampah Laut (Kiri) Serta Hasil Waktu Tinggal Sampah Laut Maksimum (A) dan Rata-Rata (B).....	21
Gambar 12. Kerangka DPSIR Terstruktur Terhadap Permasalahan Sampah di Pesisir Barat Kabupaten Badung.....	22
Gambar 13. Contoh Ilustrasi Conceptual Design of a Floating Breakwater	32
Gambar 14. Contoh Ilustrasi Mobile Structure di Vinice, Italy	32

EXECUTIVE SUMMARY

Penelitian ini mengkaji permasalahan sampah laut musiman di wilayah pantai barat Kabupaten Badung, Bali yang dipengaruhi oleh musim hujan dan angin barat. Hasil penelitian menunjukkan bahwa sebagian besar sampah laut berasal dari daerah sekitar Selat Bali, seperti Tabanan, Jembrana dan Buleleng di Bali, serta Situbondo dan Banyuwangi di Jawa. Faktor fisik seperti arus laut dan muara serta faktor sosial seperti kepadatan penduduk dan tingkat pendidikan juga mempengaruhi pola penumpukan sampah. Pesisir barat Kabupaten Badung, khususnya Pantai Kuta, merupakan wilayah dengan jumlah penumpukan sampah terbanyak, terutama plastik dan kayu. Studi ini juga melacak pergerakan sampah laut dari sumbernya, yang menunjukkan bahwa daerah tertentu memiliki waktu tinggal sampah di perairan yang lebih lama, sehingga meningkatkan potensi penumpukan sampah. Informasi ini berguna untuk merancang strategi pengelolaan sampah laut secara lebih efektif dan melindungi lingkungan perairan Selat Bali secara berkelanjutan. Kerangka DPSIR (*Driving Force-Pressure-State-Impact-Respon*) mengenai permasalahan sampah laut di pesisir barat Kabupaten Badung mengidentifikasi dua faktor utama yang mempengaruhi timbulnya sampah, yaitu manusia dan alam. Tingginya aktivitas manusia di darat, terutama di sepanjang sungai dan pantai, turut berkontribusi terhadap permasalahan ini. Terdapat beberapa rekomendasi aksi akan dibagi menjadi tiga kategori periode, yaitu jangka pendek (5 – 10 tahun), jangka menengah (5 – 20 tahun) dan jangka panjang (>25 tahun). Masing – masing kategori periode ini dibagi dalam empat kategori rekomendasi utama, seperti pada bidang teknis/teknologi, sumberdaya manusia, pendanaan dan kebijakan.

1.1. Gambaran Umum Masalah

Sampah laut didefinisikan sebagai benda padat yang memiliki sifat persisten yang diproduksi atau diproses oleh manusia secara langsung atau tidak langsung, sengaja atau tidak sengaja, dibuang atau ditinggalkan di lingkungan laut atau pantai (NOAA, 2013; Coe and Rogers, 1997; UNEP, 2005). Salah satu klasifikasi sampah didasarkan pada kategori material, seperti plastik, logam, kaca, dan lainnya, dan salah satu jenis utama sampah yang ditemukan di lingkungan tersebut adalah plastik (Ribeiro *et al.*, 2021; Póvoa *et al.*, 2022). Menurut model *HydroSHED*, lebih dari 80 persen penduduk bermukim di daerah aliran sungai yang langsung bermuara ke laut (Lehner dan Grill, 2013). Plastik adalah material yang saat ini telah menjadi isu yang telah mengganggu ekosistem serta kebersihan laut di dunia. Sampah yang tidak terkelola dapat memasuki laut melalui beberapa cara seperti, dibuang langsung ke laut, dibuang ke sungai yang mengalir ke laut, *runoff* dari daratan oleh air hujan ke sungai atau langsung ke laut, atau terdeposisi dari udara ke daratan untuk kemudian masuk ke saluran air atau langsung ke laut.

Studi terbaru berkaitan dengan dampak yang diakibatkan sampah plastik terhadap ekosistem dan biota laut sudah banyak dilakukan (Ratnawati *et al.*, 2022; Rahmayanti *et al.*, 2020; Li *et al.*, 2021; Vidal *et al.*, 2021; Hiwari, 2019; Ningsih, 2018) diantaranya keberadaan sampah plastik ini dapat mengganggu ekosistem pesisir yang penting, seperti mangrove, lamun, dan terumbu karang (Gall dan Thompson, 2015; Rochman *et al.*, 2015; Nor and Obbard, 2014). Hasil riset menunjukkan bahwa Bali menghasilkan sekitar 4.281 ton sampah harian, di mana sekitar 11% dari jumlah tersebut diduga teridentifikasi sebagai sumber pencemaran laut, sedangkan sekitar 50% dari total sampah berasal dari tiga wilayah, yaitu Denpasar, Gianyar, dan Badung (Bali Partnership, 2019).

Wilayah pesisir barat Kabupaten Badung merupakan daerah tujuan wisata di Indonesia seperti, Pantai Kuta, Pantai Legian, Pantai Seminyak dan Pantai Canggu. Sebagai daerah tujuan wisata, wilayah tersebut seyogyanya dapat memberikan rasa nyaman bagi wisatawan, utamanya diduga akibat dari pencemaran sampah di laut. Namun setiap tahun wilayah di sepanjang pesisir barat Kabupaten Badung mendapat ancaman sampah yang terbawa dari perairan Selat Bali serta bersumber dari aktivitas di sekitarnya. Sampah yang berada di perairan dan terakumulasi di pesisir akan menjadi pemandangan yang tidak baik dan sekaligus dapat

mengganggu dan bahkan membahayakan bagi manusia, biota, mamalia laut beserta ekosistemnya. Ancaman sampah bagi wilayah pesisir barat Badung dapat berdampak bagi kehidupan masyarakat, baik dari aktivitas nelayan maupun pariwisata. Namun kajian yang komprehensif terhadap sampah di pesisir barat Badung khususnya yang berhubungan dengan sumber sampah belum dilakukan secara mendalam. Informasi mengenai jumlah dan sumber sampah sangatlah krusial dalam upaya pencegahan dan pengelolaan sampah. Dalam konteks ilmiah, data ini akan berperan secara signifikan dalam mengimplementasikan strategi dan kebijakan yang tepat guna mengatasi permasalahan sampah. Berdasarkan hasil kajian oleh Maharta *et al.* (2021) menemukan sampah yang terdampar di pesisir Bali sebagian berasal dari pesisir Pulau Jawa. Badan Penelitian dan Observasi Laut (BPOL) (2018), menunjukkan bahwa sampah-sampah di perairan Selat Bali juga merupakan diduga sumber pencemaran bagi Pantai Kuta. Sumber sampah tersebut berasal dari daratan di sebelah barat Pantai Kuta, yang kemudian terbawa melalui aliran sungai dan bermuara di perairan Selat Bali. Hal ini didukung oleh beberapa penelitian yang menyebutkan bahwa sampah plastik banyak ditemukan di sempadan sungai di Pulau Bali yang memiliki muara di perairan Selat Bali (Utama *et al.*, 2023; Yunanto, 2023; Baztan, 2014; Beritagar, 2023; Pratama, 2019) dengan karakteristik sampah yang bervariasi dari kelas plastik lunak, plastik keras, tali plastik hingga sampah pancing (Utama *et al.*, 2023). Pratama (2019) juga menyebutkan dalam penelitiannya bahwa sampah musiman yang terdapat di pesisir pantai diperkirakan berasal dari aktivitas masyarakat yang membuang sampah ke sungai di sekitarnya. Sampah-sampah tersebut kemudian mencapai perairan laut dan terbawa oleh arus laut yang berasal dari Selat Bali.

Kondisi hidrodinamika perairan laut merupakan bagian yang sangat penting untuk mengetahui proses pergerakan arus yang dapat digunakan untuk melakukan investigasi terhadap berbagai fenomena yang terjadi. Fenomena transport dan akumulasi sampah di lingkungan pesisir merupakan kejadian yang menjadi perhatian bagi berbagai pihak (Gall and Thomposon, 2015; Allsopp *et al.*, 2006). Berkaitan dengan sampah yang secara periodik mengancam wilayah pesisir barat Badung sampai saat ini penanganannya masih bersifat reaktif tidak bersifat preventif. Dengan melakukan kajian pergerakan sampah di perairan Selat Bali maka akan dapat diketahui sumber dan pergerakan sampah yang terbawa oleh arus laut. Dari kajian pergerakan sampah di perairan Selat Bali akan dapat dirumuskan kebijakan – kebijakan yang bersifat mitigasi dan preventif.

1.2. Rumusan Masalah

1. Dari mana dan apa jenis sampah laut yang terdampar di pesisir barat Kabupaten Badung?
2. Langkah – langkah apa yang dapat dilakukan untuk penanganannya dari aspek sosial dan teknologi?

1.3. Tujuan dan Manfaat Studi

a. Tujuan

Sebagai bagian dari upaya penanggulangan masalah sampah kiriman di wilayah pesisir barat Kabupaten Badung, adapun tujuan dari penelitian ini adalah sebagai berikut:

1. Untuk mengetahui sumber dan jenis sampah kiriman yang ada di perairan pesisir barat Kabupaten Badung serta mengetahui upaya mitigasi terhadap sampah kiriman di perairan pesisir barat Kabupaten Badung.
2. Untuk menghasilkan upaya penanganan baik dari aspek sosial dan teknologi terhadap sampah kiriman di perairan pesisir barat Kabupaten Badung.

b. Manfaat

Hasil penelitian ini diharapkan dapat digunakan sebagai landasan dalam menyusun kebijakan yang tepat guna mengantisipasi dan menangani permasalahan sampah kiriman di perairan pesisir Kabupaten Badung.

2.1 Sumber Data

Data yang digunakan pada kajian sampah laut di perairan pesisir barat Kabupaten Badung, dikumpulkan dari berbagai sumber, termasuk pemerintah, laporan, dan studi pustaka. Data sekunder diperoleh dari Laboratorium Komputasi, Fakultas Kelautan dan Perikanan, Universitas Udayana serta data Dinas Lingkungan Hidup dan Kebersihan (DLHK) Kabupaten Badung. Data dari Laboratorium Komputasi tersebut mencakup data konsentrasi dan persentase sampah laut pada 2014 - 2015, sedangkan data dari DLHK Kabupaten Badung tersebut mencakup informasi mengenai berat total sampah yang dikumpulkan di wilayah pesisir barat Kabupaten Badung meliputi, lokasi zona penanganan sampah; berat total sampah tahun 2020 - 2023; data spesifik sampah; penanganan sampah di pesisir barat Kabupaten Badung; dan informasi deskriptif terkait penanganan sampah di pesisir barat Kabupaten Badung.

2.2 Model Hidrodinamika

Penggambaran kondisi oseanografi di wilayah pesisir barat Kabupaten Badung menggunakan pemodelan numerik *Finite Volume Community Ocean Model* (FVCOM). FVCOM pada awalnya dikembangkan untuk proses *flooding/drying* di muara terhadap sirkulasi pasut, keseimbangan dan pergerakan arah angin di wilayah pesisir yang dilengkapi dengan proses geometri yang kompleks dan topografi bawah laut atau kedalaman. Model ini telah dikembangkan ke sistem koordinat *spherical* untuk basin dan aplikasi global. FVCOM memiliki kesesuaian untuk mensimulasikan dinamika sirkulasi dan ekosistem dari skala estuari hingga global (Chen dkk., 2006).

FVCOM merupakan model perairan laut 3D dengan sistem *grid* yang tidak terstruktur (*unstructured triangular grid*), sehingga dapat memberikan hasil yang lebih baik untuk kondisi garis pantai yang sangat kompleks (Chen dkk., 2006). Diskritisasi pada FVCOM menggunakan metode *finite-difference* dan *finite-element*. Persamaan integral diselesaikan secara numerik dengan perhitungan *fluks* (metode *finite-difference*) dan terdapat *triangular grid* dengan ukuran yang dapat disesuaikan sehingga memberikan geometri garis pantai yang lebih fleksibel (metode *finite-element*). Oleh sebab itu, secara teknis FVCOM menggabungkan kedua metode tersebut sehingga memiliki diskritisasi yang lebih sederhana dan efisiensi dalam proses

komputasi serta memiliki fleksibilitas secara geometri. Metode ini telah berhasil diterapkan untuk mempelajari karakteristik daerah pantai, teluk, atau muara sungai yang memiliki garis pantai yang tidak teratur dan kompleks, termasuk dalam kasus *wet and dry test*.

2.2.1 Persamaan Hidrodinamika

Persamaan hidrodinamika secara 3D yang terdapat dalam FVCOM terdiri dari persamaan kontinuitas (1), momentum (2 - 4), *transport* suhu (5), *transport* salinitas (6), densitas (7), tekanan hidrostatik (8):

$$\frac{\partial u}{\partial x} + \frac{\partial v}{\partial y} + \frac{\partial w}{\partial z} = 0 \quad (1)$$

$$\frac{\partial u}{\partial t} + u \frac{\partial u}{\partial x} + v \frac{\partial u}{\partial y} + w \frac{\partial u}{\partial z} - f v = -\frac{1}{\rho_0} \frac{\partial (p_H + p_a)}{\partial x} + \frac{\partial}{\partial z} \left(K_m \frac{\partial u}{\partial z} \right) + F_u \quad (2)$$

$$\frac{\partial v}{\partial t} + u \frac{\partial v}{\partial x} + v \frac{\partial v}{\partial y} + w \frac{\partial v}{\partial z} + f u = -\frac{1}{\rho_0} \frac{\partial (p_H + p_a)}{\partial y} + \frac{\partial}{\partial z} \left(K_m \frac{\partial v}{\partial z} \right) + F_v \quad (3)$$

$$\frac{\partial w}{\partial t} + u \frac{\partial w}{\partial x} + v \frac{\partial w}{\partial y} + w \frac{\partial w}{\partial z} = -\frac{1}{\rho_0} \frac{\partial p_H}{\partial z} + \frac{\partial}{\partial z} \left(K_m \frac{\partial w}{\partial z} \right) \quad (4)$$

$$\frac{\partial T}{\partial t} + u \frac{\partial T}{\partial x} + v \frac{\partial T}{\partial y} + w \frac{\partial T}{\partial z} = \frac{\partial}{\partial z} \left(K_h \frac{\partial T}{\partial z} \right) + F_T \quad (5)$$

$$\frac{\partial S}{\partial t} + u \frac{\partial S}{\partial x} + v \frac{\partial S}{\partial y} + w \frac{\partial S}{\partial z} = \frac{\partial}{\partial z} \left(K_h \frac{\partial S}{\partial z} \right) + F_S \quad (6)$$

$$\rho = \rho(T, S, p) \quad (7)$$

$$p_H = \rho_0 g \zeta + g \int_z^0 \rho' dz \quad (8)$$

Dengan x , y , dan z adalah arah untuk timur dan barat, utara dan selatan, dan juga vertikal dalam sistem koordinat kartesian; u , v , dan w adalah komponen kecepatan arus untuk arah x, y, z (m/s); T adalah suhu ($^{\circ}\text{C}$); S adalah salinitas (PSU); p_a adalah tekanan udara (Pa); p_H adalah tekanan hidrostatik (Pa); ρ adalah densitas (kg/m^3); ρ_0 adalah densitas referensi (kg/m^3); ρ' adalah densitas fluktuatif (kg/m^3); f adalah gaya Coriolis ($^{\circ}$); g adalah gravitasi (m/s^2); K_m adalah *vertical eddy viscosity* (m^2/s); dan K_h adalah *thermal vertical eddy diffusion coefficient* (m^2/s); F_u , F_v , F_T , dan F_S merepresentasikan suku difusi horizontal untuk persamaan momentum, suhu, dan salinitas (m^2/s); ζ adalah tinggi elevasi permukaan perairan (m).

2.2.2 Persamaan Pergerakan Partikel

Secara matematis, penelusuran jejak sampah laut diasumsikan sebagai partikel dengan

metode *lagrange* pada FVCOM adalah dengan menyelesaikan persamaan diferensial biasa dalam sistem nonlinear (Chen dkk., 2006) pada persamaan (9):

$$\frac{dx}{dt} = v(x(t), t) \quad (9)$$

Dengan x merupakan posisi partikel pada saat waktu t , dx/dt adalah perubahan posisi partikel terhadap waktu, $v(x(t), t)$ adalah medan kecepatan dalam 3D (x, y, σ) yang dihasilkan dari model hidrodinamika. Persamaan tersebut diselesaikan menggunakan metode yang memiliki akurasi yang lebih baik untuk menyelesaikan beberapa sistem persamaan non-linear dari persamaan diferensial biasa pada persamaan (10):

$$\vec{x}(t) = \vec{x}(t_n) + \int_{t_0}^t \vec{v}(\vec{x}(t), r) dr \quad (10)$$

Diasumsikan bahwa $\vec{x}(t) = \vec{x}(t_n)$ adalah posisi partikel pada saat $t = t_n$, sehingga posisi partikel $[\vec{x}_{n+1} = \vec{x}(t_{n+1})]$ pada waktu $t = t_{n+1}(t = t_n + \Delta t)$, dapat ditentukan dengan metode Eksplisit Runge Kutta orde empat. Pada bidang 3D (x, y, σ) , pergerakan partikel dapat ditelusuri dengan persamaan (11):

$$\frac{dx}{dt} = u, \frac{dy}{dt} = v, \frac{d\sigma}{dt} = \varpi \quad (11)$$

$$\frac{d\varpi}{dt} = H + \zeta$$

Dengan u, v dan ϖ adalah variabel kecepatan pada arah x, y , dan σ . Hubungan antara ϖ dan w didefinisikan pada persamaan (12):

$$\varpi = w - (2 + \sigma) \frac{d\zeta}{dt} - \sigma \frac{dH}{dt} \quad (12)$$

Dengan w adalah kecepatan vertikal (arah z). Dengan menuliskan kembali bahwa $\varpi/H + \zeta$ sebagai ϖ , maka penyelesaian 3-dimensi menggunakan metode Eksplisit Runge Kutta orde empat adalah pada persamaan (13), (14), (15):

$$\xi_1 = x_n$$

$$\eta_1 = y_n$$

$$\gamma_1 = \sigma_n$$

$$\begin{aligned}
\xi_2 &= x_n + \frac{1}{2} \Delta t u(\xi_1, \eta_1, \gamma_1) \\
\eta_2 &= y_n + \frac{1}{2} \Delta t v(\xi_1, \eta_1, \gamma_1) \\
\gamma_2 &= \sigma_n + \frac{1}{2} \Delta t w'(\xi_1, \eta_1, \gamma_1) \\
\xi_3 &= x_n + \frac{1}{2} \Delta t u(\xi_2, \eta_2, \gamma_2) \\
\eta_3 &= y_n + \frac{1}{2} \Delta t v(\xi_2, \eta_2, \gamma_2) \\
\gamma_3 &= \sigma_n + \frac{1}{2} \Delta t w'(\xi_2, \eta_2, \gamma_2) \\
\xi_4 &= x_n + \Delta t u(\xi_3, \eta_3, \gamma_3) \\
\eta_4 &= y_n + \Delta t v(\xi_3, \eta_3, \gamma_3) \\
\gamma_4 &= \sigma_n + \frac{1}{2} \Delta t w'(\xi_3, \eta_3, \gamma_3) \\
x_{n+1} &= x_n + \Delta t \left[\frac{u(\xi_1, \eta_1, \gamma_1)}{6} + \frac{u(\xi_2, \eta_2, \gamma_2)}{3} + \frac{u(\xi_3, \eta_3, \gamma_3)}{3} + \frac{u(\xi_4, \eta_4, \gamma_4)}{6} \right] \quad (13)
\end{aligned}$$

$$y_{n+1} = y_n + \Delta t \left[\frac{v(\xi_1, \eta_1, \gamma_1)}{6} + \frac{v(\xi_2, \eta_2, \gamma_2)}{3} + \frac{v(\xi_3, \eta_3, \gamma_3)}{3} + \frac{v(\xi_4, \eta_4, \gamma_4)}{6} \right] \quad (14)$$

$$\sigma_{n+1} = \sigma_n + \Delta t \left[\frac{w(\xi_1, \eta_1, \gamma_1)}{6} + \frac{w(\xi_2, \eta_2, \gamma_2)}{3} + \frac{w(\xi_3, \eta_3, \gamma_3)}{3} + \frac{w(\xi_4, \eta_4, \gamma_4)}{6} \right] - w_s(t) \quad (15)$$

Dimana Δt adalah langkah waktu (saat model *forward* partikel, nilai Δt bernilai positif, sedangkan saat model *backward* partikel sebaliknya dengan nilai Δt bernilai negatif) dan w_s merupakan *settling velocity* untuk memperhitungkan partikel tenggelam. Pada metode ini, perubahan *settling velocity* terhadap waktu tidak diperhitungkan karena *settling velocity* dianggap tetap selama selang waktu Δt . Persamaan untuk *settling velocity* dituliskan sebagai berikut menurut Chen dkk. (2008) dengan asumsi partikel berbentuk bola pada persamaan (16):

$$w_s = \frac{u}{2R} d^3 (38,1 + 0,93 d^{12/7})^{-7/8} \quad (16)$$

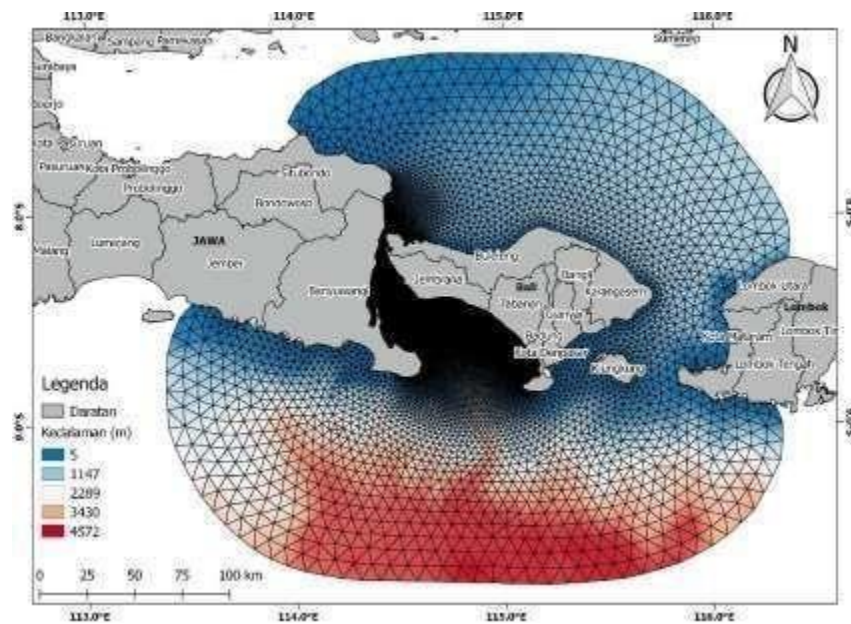
$d^* = 2R(g(\rho_p - \rho_w)v^2)^{1/3}$ merupakan diameter partikel; ρ_p merupakan densitas partikel (g/cm^3); ρ_w merupakan densitas air laut (g/cm^3); u merupakan kinematis viskositas air (m^2/s); g merupakan gravitasi (m/s^2); R merupakan radius (m).

2.2.3 Skenario Model Pergerakan Sampah Laut

Terdapat dua tahapan dalam operasional model, pertama melakukan pemodelan numerik hidrodinamika dan kedua melakukan pemodelan numerik partikel *tracking* dengan skema *backward* dan *forward*. Pemodelan numerik hidrodinamika dilakukan untuk menyelesaikan persamaan gerak, sehingga mendapatkan pola pergerakan arus di dalam domain model. Sementara itu, pemodelan numerik partikel *tracking* dilakukan dengan skema *backward* untuk melacak sumber sampah laut dan skema *forward* digunakan untuk memvalidasi pergerakan sampah laut dan waktu tinggal sampah laut. Secara detail area domain model dapat dilihat pada Gambar 1, sementara untuk desain model baik hidrodinamika maupun partikel sampah laut dapat dilihat pada Tabel 1.

Tabel 1 Desain Model

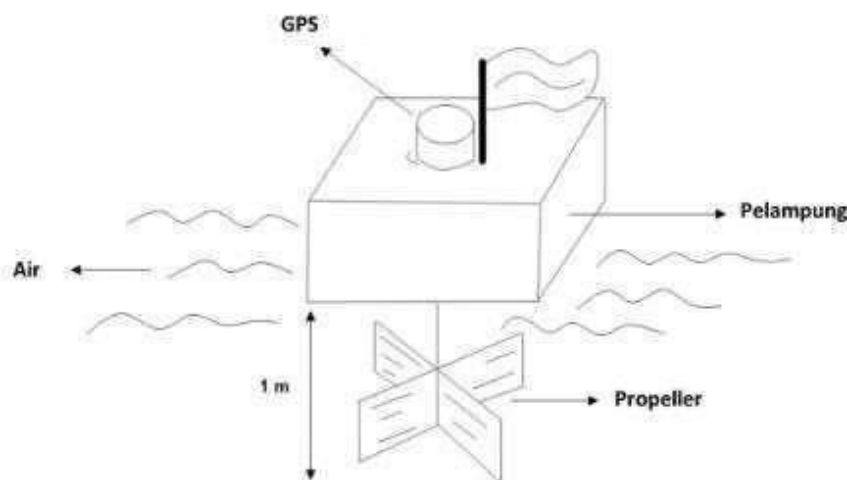
Item			Keterangan
Grid			Unstructured triangular grid dengan resolusi 100 m – 10 km.
Layer			20 ^m sigma layer.
Batas terbuka (open boundary)			- Elevasi pasut (M2, S2, N2, K2, K1, O1, P1, Q1, MM, MF, M4, MN4, MS4, 2N2, S1, 2Q1, J1, L2, M3, MU2, NU2, OO1) - Suhu dan Salinitas
Model forcing	Meteorological condition		- Angin - Tekanan udara - Heat flux - Penguapan - Curah Hujan
Waktu simulasi	Hidrodinamika		1 Desember 2022 – 28 Februari 2023
	Partikel sampah laut	Backward	Pelacakan sumber sampah laut: 28 Februari 2023 – 1 Desember 2022
		Forward	• Validasi pergerakan sampah laut: 5 Juli 2023: 08:30 – 14:30 Wita • Waktu tinggal sampah laut: 1 Desember 2022 – 28 Februari 2023
Langkah waktu (external mode)			1 detik
Langkah waktu (internal mode)			5 detik



Gambar 1. Area Model

2.2.4 Validasi Model Pergerakan Sampah Laut

Simulasi pergerakan sampah laut divalidasi menggunakan drifter (metode *lagrange*), ilustrasi dari bentuk drifter dapat dilihat pada Gambar 2. Skema pencatatan posisi drifter di laut direkam melalui *Global Positioning System* (GPS) (dengan interval 5 detik) dan drifter dilepas selama 12 Jam. Hasil dari perekaman posisi drifter selanjutnya dibandingkan dengan posisi model dalam waktu yang sama.



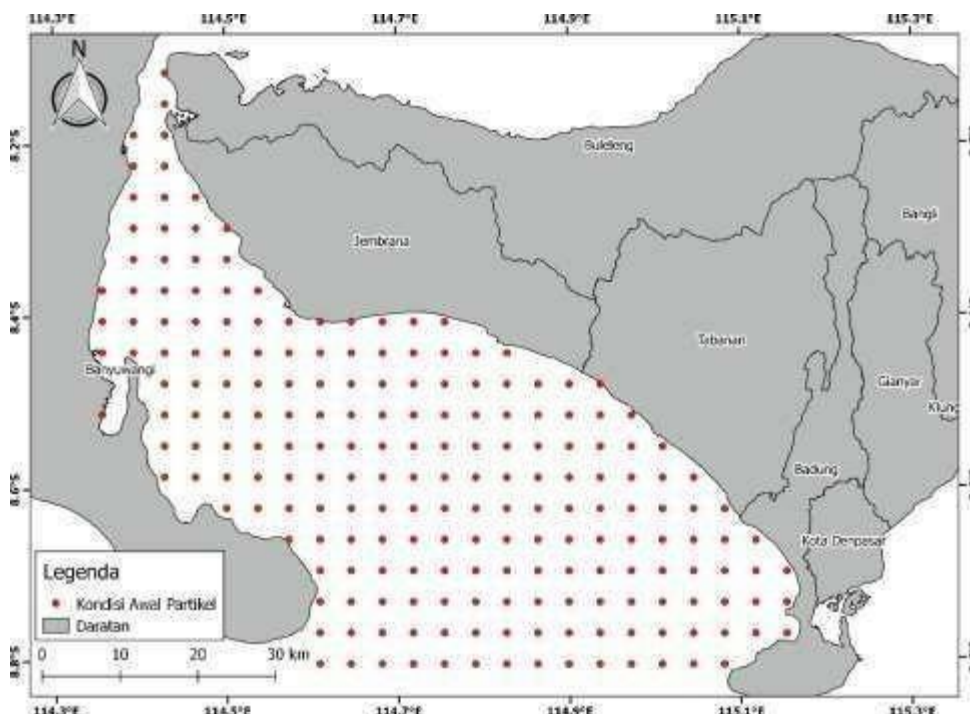
Gambar 2. Ilustrasi Drifter

2.2.5 Analisis Waktu Tinggal Sampah Laut

Dalam perhitungan waktu tinggal sampah laut menggunakan metode *box*, dengan persamaan yang digunakan pada persamaan 17:

$$\frac{dP}{dt} = P_{in} - P_{out} \quad (17)$$

Dimana P_{in} merupakan waktu sampah laut yang masuk; P_{out} merupakan waktu sampah laut yang keluar. Secara garis besar, 1 sampah laut diasumsikan berada dalam 1 *box*. Selanjutnya, ketika sampah laut keluar dari *box* awal maka akan dihitung waktu tinggal sampah laut tersebut dari pengurangan waktu awal sampah laut dikurangi waktu akhir sampah laut. Bila sampah laut tersebut berpindah ke *box* lainnya maka akan dilakukan perhitungan kembali untuk waktu lama tinggal sampah laut namun, bila sampah laut kembali ke *box* yang sama tidak akan dilakukan perhitungan. Proses pelepasan sampah laut dilakukan selama satu hari dengan interval pelepasan sampah laut yaitu, 6 jam untuk mewakili pelepasan sampah laut dalam satu periode pasut. Ilustrasi posisi sampah laut untuk dalam perhitungan di metode *box* dapat dilihat pada Gambar 3.

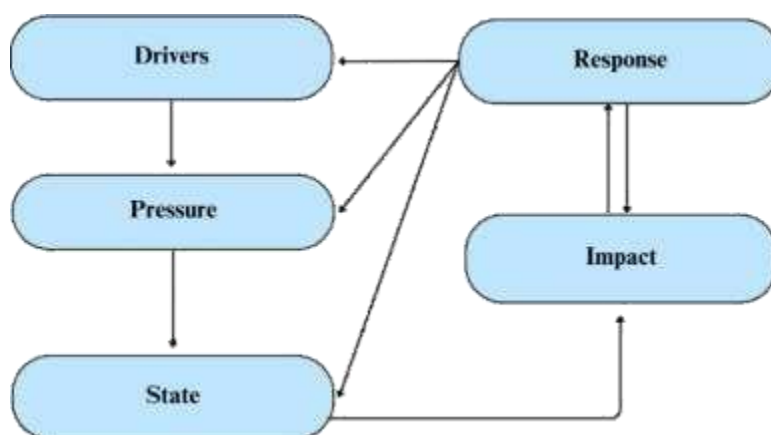


Gambar 3. Ilustrasi Kondisi Awal dan Pelepasan Sampah Laut Dalam Perhitungan Waktu Lama Tinggal Sampah Laut.

2.3 Analisis DPSIR

Kerangka DPSIR (*Driver, Pressure, State, Impact and Response*) atau *DPSIR Framework* merupakan kerangka terstruktur dalam pengelolaan lingkungan yang menghubungkan antara faktor kebutuhan manusia sebagai penyebab timbulnya masalah (*driving force*), tekanan yang ditimbulkan terhadap lingkungan (*pressure*), keadaan atau kondisi lingkungan terhadap tekanan (*state*), dampak yang timbul bagi makhluk hidup (*impact*), dan respon atau tindak lanjut yang dilakukan untuk meminimalisir dampak (*response*) (Bradley dan Yee, 2015). Kerangka DPSIR dikembangkan oleh OECD (*Organisation for Economic Co-operation and Development*) dan EEA (*European Environmental Agency*) sejak sekitar tahun 1995. Tujuan dibentuknya kerangka DPSIR adalah untuk mengevaluasi kondisi lingkungan dan respon atau tindak lanjut terhadap dampak ekologi dan sosial (Gari *et al.*, 2015). Secara visual, *framework* konseptual dari metode DPSIR ditunjukkan oleh Gambar 4.

Seiring perkembangan isu lingkungan pada era modern, kerangka DPSIR banyak digunakan oleh perumus kebijakan untuk mengidentifikasi dan mengkomunikasikan hubungan antara penyebab, dampak dan respon terhadap kerusakan lingkungan yang dominan ditimbulkan oleh aktivitas antropogenik (Gari *et al.*, 2015), termasuk permasalahan sampah laut. Beberapa studi telah menggunakan kerangka DPSIR dalam merumuskan permasalahan sampah laut dari penyebab hingga tindak lanjut secara terstruktur, baik pada sampah makrodebris (Federigi *et al.*, 2022; Tesfaldet dan Ndeh, 2022) dan mikrodebris (Miranda *et al.*, 2020). Oleh karena itu, kerangka ini juga dapat diaplikasikan pada permasalahan sampah laut yang mencemari pesisir barat Kabupaten Badung, Bali.

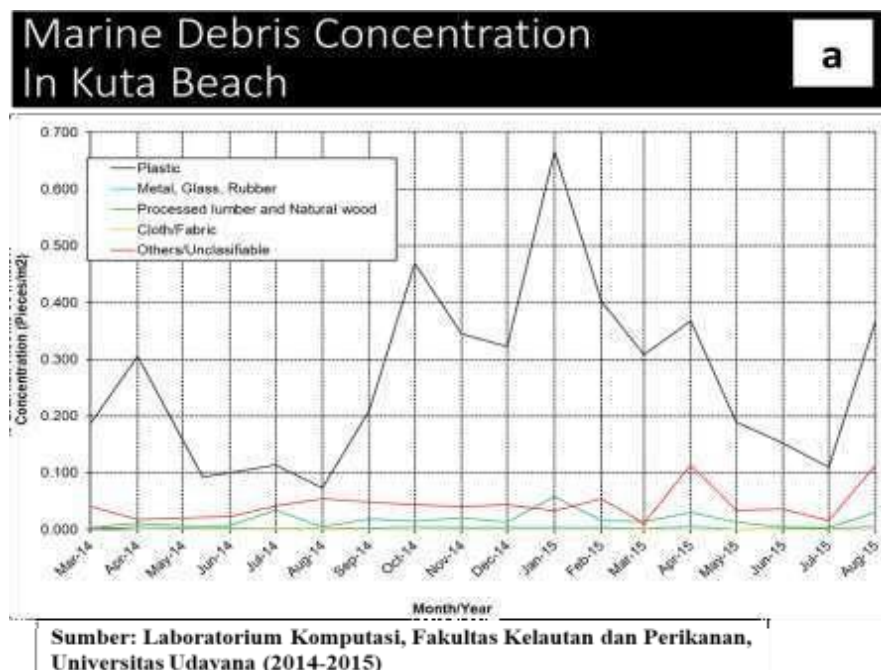


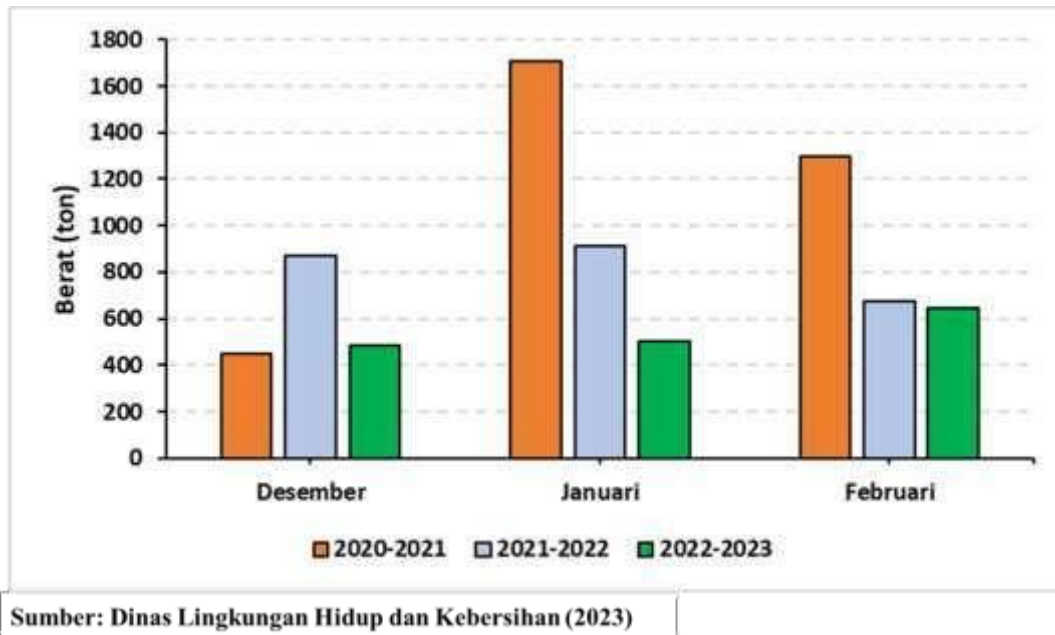
Gambar 4. Skema Konseptual Model DPSIR (Smeeth dan Weterings, 1999)

3.1 Data Sampah Observasi Pesisir Barat Badung

Wilayah pesisir barat Kabupaten Badung setiap tahunnya selalu mendapatkan kiriman sampah selama musim penghujan. Datangnya sampah musiman ke pesisir pantai ini diperkirakan berasal dari aktivitas masyarakat di bantaran sungai yang membuang sampah ke sungai, kemudian sampai di laut terbawa oleh arus laut dari Selat Bali.

Dari hasil kajian sampah laut terdahulu melalui Gambar 5 (a) yang dilakukan oleh Fakultas Kelautan dan Perikanan, Universitas Udayana tahun 2014-2015 mencatat bahwa konsentrasi sampah di Kuta didominasi oleh sampah plastik mencapai 80% dengan puncak tertinggi pada 15 Januari 2015 dan konsentrasi sampah plastik mencapai 0,68 (Pcs/m²). Sementara dari data terupdate oleh Dinas Lingkungan Hidup dan Kebersihan (DLHK) Kabupaten Badung mencatat bahwa total berat sampah yang masuk ke pesisir barat Badung pada bulan Januari 2020 – 2021 mencapai 1704 ton. Data sampah Pesisir Barat Badung Pada Bulan Desember 2020 hingga Februari 2023 yang disajikan pada Gambar 5 (b) juga menunjukkan jumlah berat sampah paling tinggi ditemukan pada bulan Januari dan periode tertinggi yaitu, pada tahun 2020-2021. Hal ini berkaitan dengan tingginya curah hujan pada musim barat 2020 – 2021 yang mengakibatkan banyak sampah yang masuk ke laut.



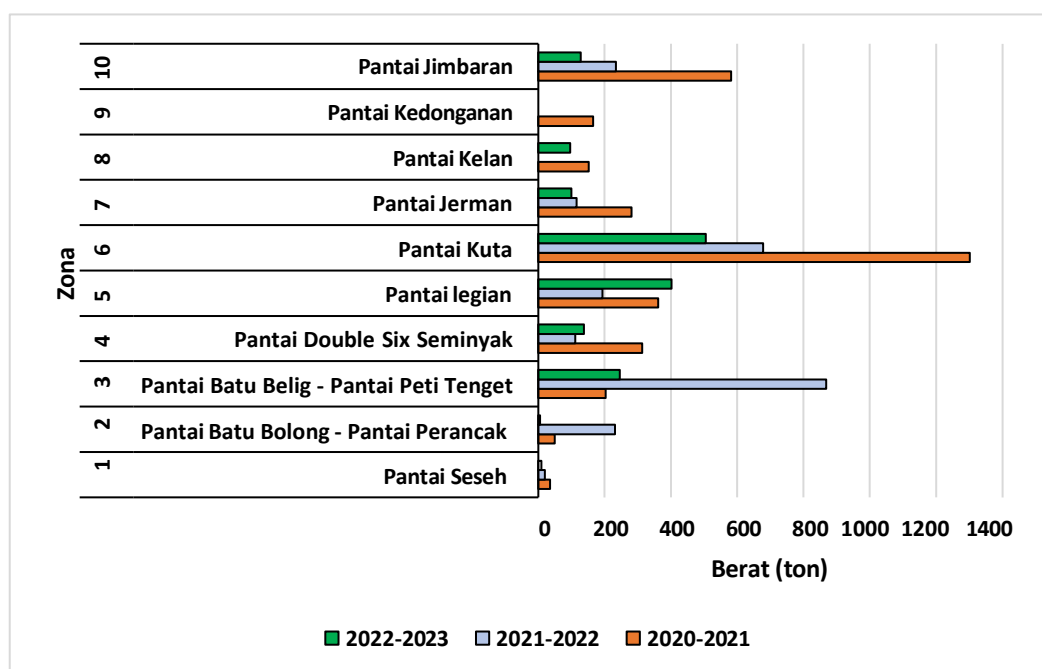


Gambar 5. Konsentrasi Sampah di Pantai Kuta: 2014-2015 (a) dan Berat Total Sampah Pesisir Barat Badung Pada Musim Barat: Desember 2020 – Februari 2023 (b).

Secara umum faktor determinasi sampah musiman di wilayah pesisir barat Kabupaten Badung diakibatkan oleh faktor musim hujan dan angin barat. Dari adanya dua faktor umum ini, sampah yang awalnya memang sudah terdapat di laut kemudian digerakan oleh arus laut yang dipengaruhi oleh angin barat menuju ke timur. Adanya pergerakan arus laut yang membawa sampah tersebut menjadikan sampah di laut terdampar di pesisir barat Kabupaten Badung. Selain dua faktor umum tersebut, adanya sampah musiman di pesisir barat Kabupaten Badung dipengaruhi oleh dua aspek yaitu aspek fisik dan sosial. Aspek fisik selain dari adanya pengaruh yang diberikan oleh musim hujan, juga dipengaruhi oleh sungai yang terdapat di sekitar pesisir pantai. Sementara itu, aspek sosial berupa kawasan permukiman dengan kepadatan penduduk yang tinggi cenderung menghasilkan laju timbulan sampah yang lebih tinggi. Hal ini dapat dijelaskan oleh adanya peningkatan aktivitas konsumsi dan produksi dalam lingkungan yang padat penduduk. Selain itu, tingkat pendidikan dan penghasilan penduduk dalam suatu kawasan juga dapat memengaruhi pola konsumsi dan kebiasaan pembuangan sampah. Masyarakat dengan tingkat pendidikan yang lebih tinggi cenderung lebih sadar akan dampak lingkungan dan memiliki kecenderungan untuk mengurangi pemborosan dan menggunakan produk berkelanjutan, yang pada akhirnya dapat mengurangi laju timbulan sampah (Thoyyibah dan Warmadewanth, 2023).

Berdasarkan hasil dari data sampah di pesisir barat Kabupaten Badung pada bulan Desember 2020 hingga Februari 2023 dibagi menjadi 10 zona (Gambar 6). Zona tersebut meliputi Pantai Seseh, Pantai Batu Bolong, Pantai Batu Belig, Pantai Double Six, Pantai Legian, Pantai Kuta, Pantai Jerman, Pantai Kelan, Pantai Kedonganan, dan Pantai Jimbaran. Pantai Kuta merupakan daerah yang paling banyak mengakumulasi sampah dibandingkan daerah lainnya. Namun demikian hampir seluruh wilayah pesisir barat Kabupaten Badung tidak dapat terhindar dari kiriman sampah Selat Bali.

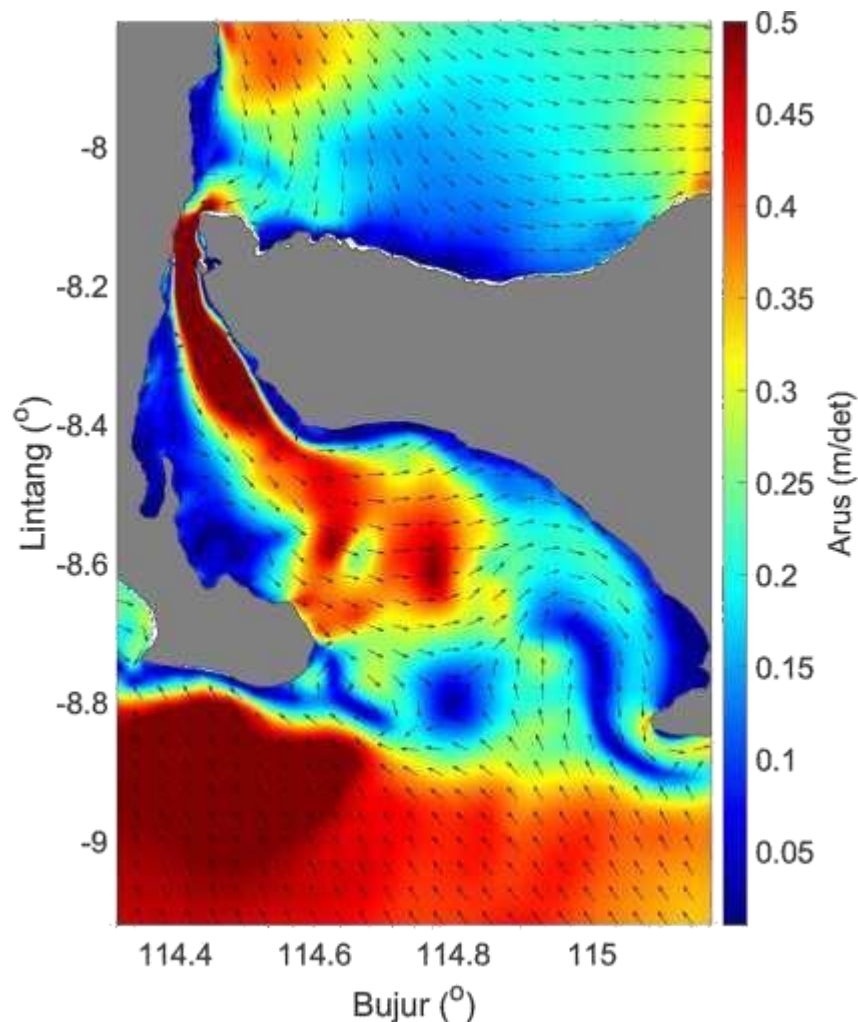
Berat sampah terbanyak ditemukan di zona Pantai Kuta pada musim barat tahun 2020-2021 dan berat sampah paling kecil ditemukan di Zona Pantai Seseh. Sampah yang bermuara ke Pantai Kuta didominasi oleh sampah kayu dan sampah plastik. Sampah kayu ini merupakan sampah kiriman dari wilayah lain yang dibawa oleh arus laut menuju Pantai Kuta. Sampah ini selalu mendominasi setiap tahunnya dan perlu dilakukan mitigasi terhadap sampah kiriman tersebut. Adanya indikasi saat kondisi angin musim barat berembus, Pantai Kuta dan sekitarnya akan selalu menjadi tempat menumpuknya sampah kiriman dari laut dan muara sungai-sungai terdekat. Mengingat lokasinya berada di teluk, Pantai Kuta dan sekitarnya menjadi titik berkumpulnya sampah kiriman dari berbagai daerah di Pulau Bali, Jawa maupun daerah lainnya.



Gambar 6. Total Berat Sampah di Masing-Masing Zona di Pesisir Barat Badung Pada Musim Barat (Desember 2020 – Februari 2023)

3.2 Kondisi Arus Selat Bali

Selama musim barat atau musim hujan di Selat Bali, terjadi perubahan yang signifikan dalam kondisi arus permukaan (Diasomo *et al.*, 2021). Musim barat di wilayah ini biasanya terjadi pada bulan Desember, Januari, dan Februari (DJF). Perubahan ini disebabkan oleh sistem angin monsun yang mengalami perubahan arah. Selama musim barat, angin monsun umumnya bertiup dari arah barat atau barat daya, membawa massa udara basah dari Samudra Hindia ke wilayah Selat Bali. Pembentukan angin monsun ini dipengaruhi oleh perbedaan suhu antara daratan dan lautan. Suhu yang lebih tinggi di daratan daripada di laut menyebabkan terbentuknya daerah bertekanan rendah di daratan, sementara di laut terbentuk daerah bertekanan tinggi. Akibatnya, angin bergerak dari daerah bertekanan tinggi di laut menuju daerah bertekanan rendah di daratan, membawa udara lembab (Wyrski, 1961).



Gambar 7. Kondisi Arus Rata-Rata Selat Bali Saat DJF 2022-2023

Hasil simulasi pergerakan arus di wilayah Selat Bali menunjukkan kondisi angin barat atau barat daya memiliki peran penting dalam membentuk arus permukaan yang kuat di Selat Bali selama musim barat. Jika dilihat pada Gambar 7, kecepatan rata-rata arus permukaan selama musim barat di Selat Bali dapat mencapai kecepatan antara $< 0,05 - 0,5$ m/det, tergantung pada intensitas dan kekuatan angin yang berhembus. Pada beberapa bagian Selat Bali, arus cenderung bergerak dari utara ke selatan atau dari barat daya menuju tenggara, kemudian menyisir ke daratan Pulau Bali (Gambar 7). Di sebelah selatan Selat Bali yang berbatasan dengan Samudra Hindia, kondisi arus cenderung bergerak dari tenggara menuju barat daya. Temuan ini sejalan dengan penelitian sebelumnya yang dilakukan oleh Diastomo *et al.* (2021) dan Maharta *et al.* (2021).

Studi yang dilakukan oleh Diastomo *et al.* (2021) mengungkapkan bahwa arus di Selat Bali selama musim barat memiliki karakteristik yang serupa dengan penelitian sebelumnya. Arus permukaan umumnya mengalir dari utara ke selatan di sebagian besar wilayah Selat Bali, membawa massa air dan material ke arah selatan. Arus ini kemudian berbelok ke arah barat daya saat mencapai pesisir Selatan Pulau Bali. Temuan ini didukung oleh penelitian Maharta *et al.* (2021) yang menemukan bahwa arus di sebelah selatan Selat Bali cenderung bergerak dari tenggara ke barat daya. Kedua penelitian ini memberikan pemahaman yang lebih komprehensif tentang pola arus permukaan di Selat Bali selama musim barat.

Penelitian ini menunjukkan bahwa sistem angin monsun yang berubah arah selama musim barat memiliki dampak signifikan terhadap kondisi arus permukaan di Selat Bali. Kondisi arus yang kuat dan pergerakan arah yang teratur dapat mempengaruhi sebaran material, termasuk sampah laut, di perairan Selat Bali.

3.3 Validasi Pergerakan Sampah Laut

Perbandingan antara pergerakan sampah laut dalam observasi dan model dilakukan dalam skema forward, sebagaimana tergambar dalam Gambar 8. Dalam skema ini, lokasi awal pelepasan sampah laut pada model *forward* sesuai dengan lokasi awal pelepasan drifter yang diamati di lapangan. Melalui analisis hasil perbandingan antara model partikel *forward* dan data observasi, ditemukan bahwa terdapat kesamaan pola pergerakan yang relatif serupa. Kedua pendekatan menunjukkan bahwa sampah laut cenderung bergerak ke arah tenggara. Dalam hasil simulasi, pergerakan sampah laut dalam model memiliki perbedaan posisi akhir sekitar 310 meter dari posisi yang diamati dalam observasi lapangan.

Hasil ini menggambarkan bahwa meskipun terdapat kesesuaian dalam arah pergerakan umum, terdapat variabilitas yang menghasilkan perbedaan akhir dalam posisi sampah laut antara model dan observasi. Kemungkinan penyebab perbedaan ini dapat mencakup faktor-faktor secara lokal seperti arus laut dan pengaruh angin dan faktor cuaca lainnya. Namun secara umum meskipun terdapat perbedaan dalam posisi akhir, hasil kesamaan pola pergerakan antara model dan observasi memberikan indikasi bahwa model *forward* telah memberikan representasi yang cukup baik terhadap pergerakan sampah laut dalam skenario yang telah dibuat.



Gambar 8. Validasi Peregerakan Sampah Laut Antara Observasi dan Model

3.4 Pergerakan Sampah Laut

Sejumlah penelitian sebelumnya telah mengkaji sebaran sampah laut di Selat Bali dengan pendekatan ilmiah. Penelitian-penelitian ini, antara lain dilakukan oleh Yosafat (2012), Diastomo (2013), Adibhusana *et al.* (2016), dan Husrin *et al.* (2017). Yosafat (2012) melaporkan bahwa terdapat sekitar 30-42 m³/hari sampah laut yang terdampar di Pantai Kuta, yang sebagian besar terdiri dari plastik dan kayu. Melalui simulasi menggunakan model

numerik, diketahui bahwa sumber sampah yang terdampar di Pantai Kuta berasal dari Kabupaten Tabanan dan Badung di Pulau Bali. Diastomo (2013) menemukan bahwa sampah membutuhkan waktu sekitar 2-7 hari selama puncak musim barat untuk mencapai Pantai Kuta, sementara waktu yang diperlukan pada awal musim barat adalah sekitar 4-8 hari. Adibhusana *et al.* (2016) mengungkapkan bahwa angin merupakan faktor utama yang mempengaruhi pergerakan sampah laut. Husrin *et al.* (2017) mencatat bahwa kayu dan plastik merupakan dominan sampah laut di Selat Bali selama musim barat hingga peralihan ke musim timur. Sebaran sampah laut yang memiliki konsentrasi tinggi terjadi di perairan dekat pantai, terutama di sekitar pesisir Kabupaten Badung, yaitu di dekat Pantai Kuta dan Legian.

3.5 Pelacakan Sumber Sampah Laut

Pemantauan sampah laut di pesisir tidak hanya berfokus pada jumlah sampah yang terdampar, melainkan juga mengkaji sumber sampah tersebut. Studi ini menggunakan simulasi model numerik untuk memetakan daerah yang berpotensi menjadi sumber sampah laut yang terdampar di pesisir Kabupaten Badung. Gambar 9 menampilkan peta sumber potensialsampah laut yang terdampar di pesisir Kabupaten Badung, berdasarkan hasil simulasi model numerik selama periode bulan Desember hingga Februari.

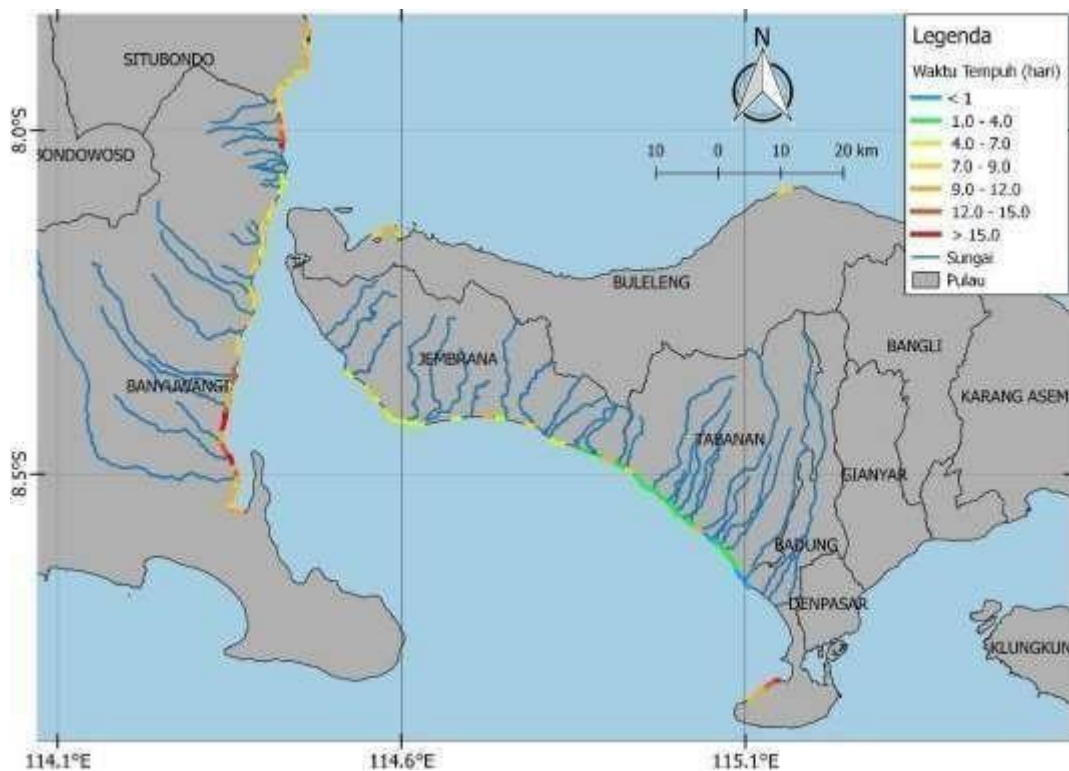


Gambar 9. Area Potensi Sumber Sampah di Pesisir Barat Badung

Hasil penelitian tersebut mengungkapkan bahwa sebagian besar sampah yang terdampar di pesisir Kabupaten Badung berasal dari pesisir sekitar Selat Bali. Analisis menunjukkan bahwa Kabupaten Tabanan, Jembrana, dan Buleleng, yang merupakan kabupaten di Pulau Bali, memiliki potensi yang signifikan dalam menyumbangkan sampah ke pesisir Kabupaten Badung. Di sisi lain, dalam konteks Pulau Jawa, potensi serupa juga terlihat pada Kabupaten Situbondo dan Kabupaten Banyuwangi. Berdasarkan analisis peta yang ditampilkan dalam Gambar 8, terlihat bahwa beberapa wilayah pesisir yang dominan sebagai sumber sampah memiliki muara sungai yang berdekatan. Kehadiran muara sungai di sepanjang pesisir ini mendasari salah satu faktor peningkatan potensi sumbangan sampah ke dalam laut. Fenomena ini konsisten dengan temuan yang telah dilaporkan sebelumnya, di mana sungai dikenal sebagai penyumbang utama sekitar 80% sampah plastik yang masuk ke lingkungan laut (Lebreton *et al.*, 2017; Schmidt *et al.*, 2017). Penelitian sebelumnya yang dilakukan oleh Yonkos (2014) juga menggarisbawahi konsep serupa. Selain dari dampak muara sungai, wilayah-wilayah yang mengalami kepadatan penduduk yang tinggi, seperti misalnya kota Banyuwangi dan Tabanan, ternyata juga memiliki dampak signifikan terhadap jumlah sampah laut yang dihasilkan. Faktor ini dapat diterangkan oleh tingkat konsumsi sampah yang tinggi di wilayah-wilayah tersebut, yang secara langsung berkontribusi terhadap masalah sampah laut yang dihadapi.

Analisis waktu tempuh sampah laut dari sumber sampai ke pesisir Kabupaten Badung juga menjadi elemen penting. Pemahaman tentang waktu tempuh sampah dari sumber dapat digunakan sebagai pertimbangan untuk menentukan waktu terjadinya penumpukan sampah di pesisir Kabupaten Badung, sehingga upaya penanggulangan dapat dilakukan lebih efektif. Hasil simulasi model waktu tempuh sampah laut dari sumber ditampilkan pada Gambar 9. Waktu tempuh sampah dari kabupaten-kabupaten di Bali seperti Kabupaten Tabanan dan Jembrana terbilang lebih singkat (1 sampai 7 hari) karena jaraknya yang lebih dekat. Hasil ini sejalan dengan penelitian yang dilakukan oleh Diastomo (2013), bahwa pada puncak musim barat, waktu yang dibutuhkan untuk mencapai Pantai Kuta lebih cepat yaitu sekitar 2 – 7 hari dibandingkan saat awal musim barat yaitu 4 – 8 hari. Dengan demikian, wilayah Tabanan dan Jembrana menjadi wilayah yang sangat potensial menyumbangkan sampah laut, terutama saat musim hujan, dampaknya dapat langsung sampai di pesisir Badung dalam waktu kurang dari 7 hari. Wilayah lain dengan potensi besar adalah pesisir Kabupaten Banyuwangi, khususnya di dekat Pelabuhan Ketapang dan Kota Banyuwangi. Wilayah ini memiliki waktu tempuh yang lebih singkat dibandingkan dengan wilayah lain di Jawa Timur (4 sampai 7 hari) karena adanya

arus kuat pada celah sempit di dekat Pelabuhan Ketapang dan Gilimanuk, seperti yang ditunjukkan pada Gambar 9. Selain itu, wilayah ini berdekatan dengan pusat kota dan transportasi laut yang menghubungkan Pulau Jawa dan Bali, hal ini memberikan peluang bagi pergerakan sampah lintas pulau yang cukup signifikan. Keberadaan infrastruktur transportasi laut yang padat di daerah ini turut berkontribusi dalam meningkatkan potensi pergerakan sampah laut. Sehingga, wilayah Kabupaten Banyuwangi, khususnya di dekat pusat kota dan pelabuhan, menjadi wilayah yang sangat potensial untuk menyumbangkan sampah laut ke pesisir Kabupaten Badung.



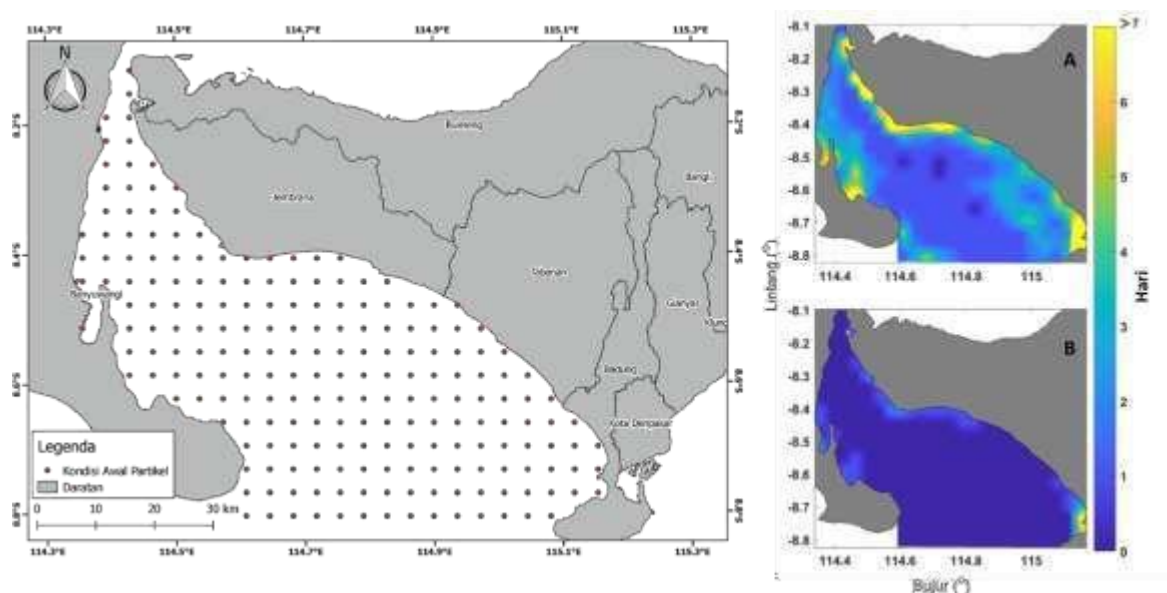
Gambar 10. Waktu Pergerakan Sampah dari Sumber Menuju Pesisir Barat Badung

3.6 Waktu Tinggal Sampah Laut

Berdasarkan hasil model simulasi waktu tinggal sampah laut selama musim barat, ditemukan bahwa posisi sampah laut tersebut memiliki tingkat keberadaan yang lebih lama di beberapa wilayah tertentu. Gambar 11 (A) dan (B) menggambarkan kondisi waktu tinggal sampah laut maksimum dan rata-rata. Hasil simulasi pergerakan sampah laut menunjukkan bahwa sampah laut memiliki waktu tinggal terlalu lama di wilayah selatan Kabupaten Banyuwangi, pesisir Kabupaten Jemberana, dan pesisir Barat Kabupaten Badung. Waktu tinggal sampah laut cenderung melebihi 7 hari. Secara rata-rata, wilayah perairan pesisir barat Kabupaten Badung

merupakan tempat dengan waktu tinggal psampah laut terlama. Keadaan ini memungkinkan sampah laut untuk terdampar di wilayah tersebut. Secara geografis, kondisi pesisir barat Kabupaten Badung memiliki bentuk seperti teluk, yang memperpanjang waktu tinggal sampah laut dan memungkinkan sampah laut terperangkap di pesisir barat Kabupaten Badung lalu terdampar di area pesisir.

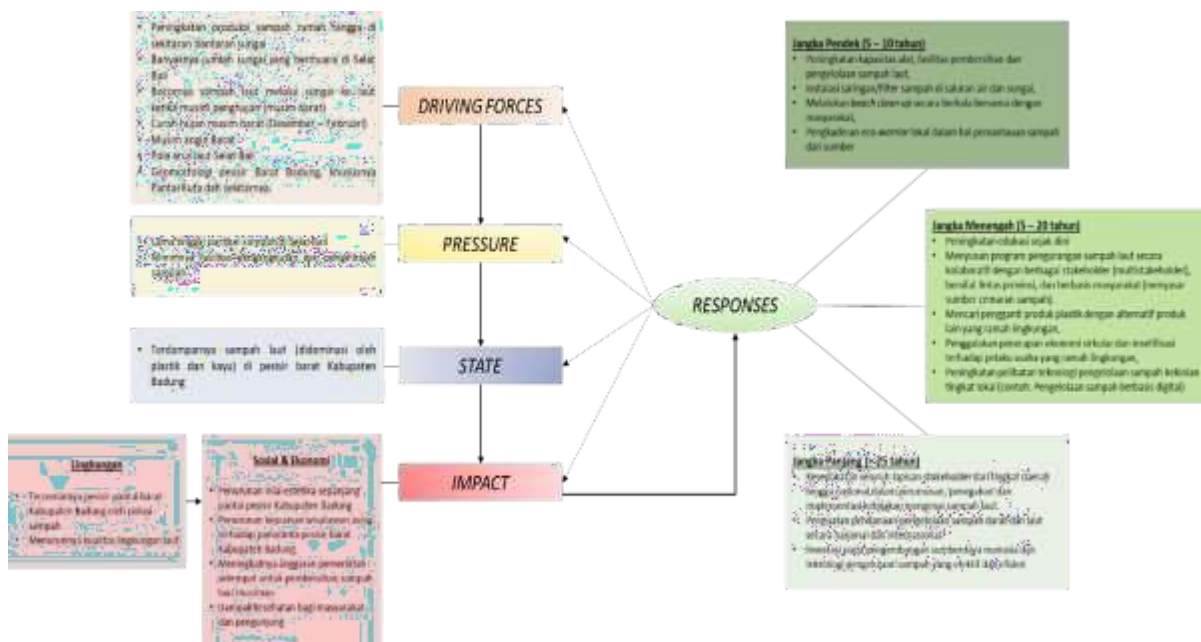
Waktu tinggal sampah laut yang lebih lama pada suatu area dapat berpotensi menyebabkan akumulasi sampah laut di wilayah tersebut. Fenomena ini dapat terjadi di pesisir barat Kabupaten Badung, yang secara geografis memungkinkan terjadinya sampah laut yang terperangkap. Hal ini dapat menjadi faktor penting dalam memahami pola sebaran sampah laut di Selat Bali selama musim barat. Penelitian ini memberikan pemahaman lebih lanjut tentang faktor-faktor yang mempengaruhi pergerakan dan waktu tinggal sampah laut, serta mengidentifikasi wilayah-wilayah yang lebih rentan terhadap penumpukan sampah laut. Informasi ini dapat digunakan untuk merancang strategi pengelolaan sampah laut yang lebih efektif dan upaya perlindungan lingkungan pesisir yang berkelanjutan di Selat Bali.



Gambar 11. Kondisi Initial l Waktu Tinggal Sampah Laut (Kiri) Serta Hasil Waktu Tinggal Sampah Laut Maksimum (A) dan Rata-Rata (B)

4.1 Kerangka DPSIR Permasalahan Sampah di Pesisir Barat Badung

Kerangka DPSIR merupakan suatu metode yang berguna dalam menganalisis permasalahan lingkungan kompleks salah satunya mengenai sampah laut. Tujuan dari kerangka DPSIR dalam konteks permasalahan sampah laut di pesisir Barat Kabupaten Badung adalah untuk memahami penyebab terjadinya sampah laut, menilai tekanan yang ada terhadap lingkungan, mengidentifikasi kondisi saat ini terkait sampah laut di wilayah tersebut, mengevaluasi dampak yang ditimbulkan, dan merumuskan tindakan respons yang dapat mengatasi masalah tersebut. Tujuan utamanya adalah memperoleh pengetahuan yang lebih baik tentang permasalahan sampah laut dan mengembangkan strategi yang efektif untuk mengurangi dampak negatifnya. Sehingga, dapat diidentifikasi secara lebih rinci bagaimana kontaminasi sampah laut berdampak pada berbagai wilayah di Bali dan seberapa parah masalah tersebut. Permasalahan sampah laut di pesisir barat Kabupaten Badung dapat dilihat pada Gambar 12. Komponen kerangka DPSIR tersebut disesuaikan dengan hasil analisis yang telah dilakukan. Deskripsi dari masing – masing komponen dijelaskan pada sub-bab berikut.



Gambar 12. Kerangka DPSIR Terstruktur Terhadap Permasalahan Sampah di Pesisir Barat Kabupaten Badung

a. *Driving forces*

Berdasarkan hasil dari kajian yang telah dilakukan dalam studi ini, terdapat dua faktor penyebab (*driver*) terjadinya fenomena timbulan sampah di pesisir Barat Kabupaten Badung, yaitu faktor antropogenik dan alami. Tingginya aktivitas antropogenik di daratan dapat berpengaruh terhadap volume sampah yang bocor ke lingkungan. Rumah tangga yang tinggal dekat dengan sungai dan pesisir pantai cenderung memiliki potensi lebih tinggi dalam menghasilkan buangan sampah ke laut (Brasika *et al.*, 2023). Sedangkan, faktor penyebab alami yang teridentifikasi dalam kajian ini diantaranya adalah banyaknya sungai yang bermuara di sepanjang pesisir Kabupaten Badung, tingginya curah hujan pada saat musim barat, adanya angin barat, pola arus laut di Selat Bali, dan geomorfologi dari pesisir Barat Kabupaten Badung. Faktor – faktor alami tersebut mendukung transfer dan distribusi sampah dari darat ke laut melalui sungai. Penelitian terdahulu oleh Utama *et al.* (2023) telah melakukan observasi dan identifikasi pada 30 sempadan sungai, didominasi oleh sungai musiman, yang bermuara di Selat Bali. Hasil dari penelitian tersebut menemukan total sampah di sempadan sungai sebanyak 1.406 item yang didominasi oleh sampah plastik (90%). Sampah – sampah tersebut akan hanyut dan bocor ke wilayah perairan Selat Bali ketika musim penghujan (musim barat). Berdasarkan dari analisis data yang telah dilakukan pada studi ini, timbulan sampah yang terdampar di pesisir Barat Kabupaten Badung mengalami puncaknya ketika curah hujan tinggi pada musim barat, yaitu pada bulan Desember hingga Februari (Gambar 5). Seperti yang telah dijelaskan pada hasil kajian ini, adanya angin barat pada musim barat mempengaruhi pola arus laut di Selat Bali yang akhirnya mendorong adanya pergerakan sampah laut mengapung di Selat Bali ke arah pesisir Barat Kabupaten Badung (Gambar 7). Selain itu, penelitian terdahulu yang dilakukan oleh Maharta *et al.* (2020) menunjukkan bahwa arus yang masuk dari bagian selatan Selat Bali juga membawa partikel sampah dari timur Pulau Jawa. Hal ini kemudian akan mempengaruhi distribusi volume sampah yang terdampar di pesisir Barat Kabupaten Badung. Lebih lanjut lagi, perbedaan geomorfologi pantai di sepanjang pesisir Barat Kabupaten Badung juga menyebabkan perbedaan volume sampah yang terdampar. Berdasarkan data yang telah dianalisis, sampah – sampah laut yang terdampar ditemukan terbanyak di Pantai Kuta, Pantai Batu Belig-Batu Bolong dan Pantai Jimbaran (Gambar 6 dan 9).

b. Pressure

Berdasarkan faktor penyebab yang teridentifikasi, terdapat beberapa tekanan (*pressure*) yang timbul terhadap lingkungan. Tekanan yang teridentifikasi dalam kajian ini, yaitu masih kurangnya fasilitas pengangkutan dan pengelolaan sampah didaratan, dan lama tinggal partikel sampah di Selat Bali. Saat ini fasilitas pengelolaan sampah, baik pengangkutan dan pembuangan di Badung masih minim. Hal ini kemudian akan memberikan tekanan terhadap lingkungan, dimana lingkungan yang akan menampung sampah – sampah dari daratan ketika musim penghujan tiba. Sampah – sampah yang mengapung di perairan Selat Bali diketahui memerlukan waktu selama lebih dari 7 hari. Pada kajian juga ditemukan bahwa waktu tinggal sampah terlalu lama terdapat pada pesisir Barat Kabupaten Badung (Gambar 10). Hasil kajian juga menyebutkan bahwa hal ini menyebabkan sampah – sampah terdampar mengalami penumpukan disepanjang pesisir Barat Kabupaten Badung selama musim barat. Kondisi ini jelas memberi tekanan terhadap lingkungan pesisir Barat Kabupaten Badung.

c. State

Sesuai dengan hasil kajian yang telah dilakukan, sampah – sampah laut yang berasal dari daratan, khususnya sungai. Seperti yang telah dijelaskan pada *driver* dan *pressure*, sampah – sampah tersebut akan terbawa oleh arus dan terdampar di sepanjang pesisir pantai barat Kabupaten Badung. Sebagian besar sampah menumpuk pada di pantai – pantai yang berada di Badung selatan, seperti pantai kuta dan sekitarnya (Gambar 6). Sampah – sampah yang terdampar didominasi oleh sampah plastik dan kayu. Sampah – sampah tersebut akan mempengaruhi kondisi lingkungan di Selat Bali dan sepanjang pesisir pantai bagian Barat Kabupaten.

d. Impacts

Trejadinya sebaran sampah di laut diduga dapat menyebabkan pencemaran di pesisir Barat Kabupaten Badung yang berdampak terhadap lingkungan dan sosial-ekonomi. Dampak lingkungan yang ditimbulkan secara umum diantaranya adalah penurunan kualitas air laut, kontaminasi pesisir pantai oleh sampah, serta terancamnya kelangsungan hidup hewan laut (Pawar *et al.*, 2016; Sheavly dan Register, 2007). Sedangkan, dampak sosial-ekonomi yang ditimbulkan adalah penurunan kepuasan wisatawan, baik domestik maupun mancanegara terhadap kondisi pantai – pantai di pesisir barat Badung yang tercemar. Hal ini ditandai dengan banyaknya keluhan oleh wisatawan yang di sampaikan secara langsung ataupun melalui media

massa. Selain itu, keberadaan polusi sampah terdampar juga menimbulkan beban biaya anggaran tambahan bagi Pemerintah Kabupaten Badung untuk membersihkan sampah – sampah musiman yang terdampar. Polusi sampah juga dapat mempengaruhi kesehatan masyarakat badung dan wisatawan yang melakukan aktivitas di pantai, seperti berenang dan berselancar. Sampah – sampah laut dapat menjadi media bagi bakteri patogen yang dapat mengganggu kesehatan manusia (Vethaak dan Lesley, 2016).

e. Responses

Tindak lanjut atau respon yang dapat dilakukan untuk menangani permasalahan sampah dapat dikategorikan menjadi respon jangka pendek, menengah dan panjang. Respon jangka pendek merupakan respon yang dapat dilakukan secara langsung untuk mengatasi permasalahan sampah dengan cepat, khususnya pada kondisi (*State*) dan dampak (*Impact*). Beberapa respon jangka pendek yang dapat dilakukan diantaranya ada melakukan peningkatan kapasitas alat dan fasilitas pembersih sampah terdampar, mengajak masyarakat setempat untuk melakukan *beach clean-up* secara berkala, dan memasang saringan atau filter sampah pada saluran air dan sungai yang dibersihkan secara berkala (Federigi *et al.*, 2022).

Selain itu, tindak lanjut jangka menengah dan panjang menyasar penanggulangan terhadap *Driving forces* dan *Pressure*. Secara periode menengah, tindak lanjut yang dapat dilakukan diantaranya adalah dengan tetap menegakkan peraturan pelarangan penggunaan plastik sekali pakai. Salah satu cara untuk mempermudah penegakan adalah melalui edukasi lingkungan sejak dini (Hartley *et al.*, 2023). Sehingga, penting untuk menyisipkan kurikulum mengenai pendidikan lingkungan dan pengenalan terhadap aturan pelarangan penggunaan sampah plastik sekali pakai. Masalah sampah laut merupakan permasalahan lintas wilayah, tidak hanya masalah pesisir yang menjadi tujuan akhir sampah terdampar. Oleh karena itu, perumusan aksi kolaboratif lintas wilayah, khususnya kabupaten, juga perlu untuk segera dilakukan. Hal ini dapat menekan bocornya sampah dari sumbernya. Selain itu, pemerintah juga dapat memberikan insentif terhadap industri untuk berinovasi menciptakan produk alternatif pengganti plastik. Sejalan dengan hal tersebut, perlu juga diterapkan aturan berkaitan dengan ekonomi sirkular yang diharapkan mampu mengurangi kontaminasi sampah plastik ke lingkungan. Tidak hanya pihak industri, pemerintah juga dapat membentuk kelompok generasi muda cinta lingkungan (*eco-warrior*) dalam skala lokal, seperti banjar. Pemerintah dapat memberikan dukungan berupa pelatihan, modal usaha inovatif ataupun pengembangan *skill* lainnya. Terakhir, pemanfaatan teknologi digital dalam mengelola sampah juga dapat menjadi

alternatif jangka menengah seperti pengelolaan sampah melalui aplikasi bank sampah digital (Barasika *et al.*, 2023).

Respon jangka panjang yang perlu mendapat atensi adalah mengenai penguatan kesepakatan dan komitmen dalam merumuskan dan mengimplementasikan kebijakan kontaminasi sampah, baik darat maupun laut dari tingkat daerah hingga nasional. Hal ini menjadi penting mengingat permasalahan sampah laut adalah masalah lingkungan lintas provinsi. Selain itu, penguatan pendanaan nasional dan internasional dalam pengelolaan sampah dari sumber juga sangat diperlukan untuk pengelolaan jangka panjang. Pendanaan tersebut dapat mendukung pemerintah tingkat lokal, regional dan nasional dalam hal investasi pada sumberdaya manusia dan pengembangan teknologi pengelolaan sampah yang efektif, efisien dan berkelanjutan.

4.2 Rekomendasi Aksi Bagi Pemerintah Kabupaten Badung

Sampah musiman di wilayah pesisir barat Kabupaten Badung telah menjadi permasalahan lingkungan yang perlu segera ditangani. Berdasarkan hasil kajian yang telah dilakukan oleh Tim, diketahui bahwa sampah – sampah yang terdampar di pesisir barat Kabupaten Badung mengalami peningkatan drastis pada saat musim angin barat (Desember – Februari). Hasil tersebut mengindikasikan adanya penumpukan sampah yang tidak terkelola dengan baik di darat, khususnya wilayah bantaran sungai, sehingga akan bocor ke laut ketika musim angin barat. Hal ini juga telah terangkum dalam kerangka DPSIR pada Gambar 12. Oleh karena itu, terdapat beberapa rekomendasi aksi yang dapat menjadi bahan pertimbangan Pemerintah Kabupaten Badung. Rekomendasi aksi akan dibagi menjadi tiga kategori periode, yaitu jangka pendek, menengah dan panjang. Masing – masing periode rekomendasi disajikan dengan matriks pada Tabel 2.

Tabel 2. Matriks Rekomendasi Aksi Kepada Pemerintah Kabupaten Badung, Bali

Kategori Rekomendasi	Rekomendasi Aksi		Kategori Periode Aksi		
			Jangka Pendek (5 - 10 tahun)	Jangka Menengah (5 - 20 tahun)	Jangka Panjang (> 25 tahun)
1. Teknis/ Teknologi	1.1	Peningkatan kapasitas alat dan teknologi pembersih sampah			
	1.1.1	Pengangkutan sampah mengapung di laut dengan kapal			

	1.1.2	Pemasangan alat filter sampah di saluran air dan sungai			
	1.1.3	Program Pengurangan Sampah laut dengan cara <i>multifunctional breakwater</i>			
	1.2	Peningkatan teknologi pemantauan sampah			
	1.2.1	Pengembangan 'Early Warning System' dengan memanfaatkan AI (<i>Artificial Intelligent</i>) secara otomatis			
	1.2.2	Pengembangan sistem pemantauan sampah terpadu melalui pengembangan aplikasi seluler yang memungkinkan pengunjung pantai melaporkan lokasi sampah yang terlihat.			
2. Sumber Daya Manusia	2.1	Peningkatan frekuensi pembersihan pesisir pantai ketika musim angin barat			
	2.2	Penguatan kader <i>local eco-warrior</i> pada tingkat banjar dan desa			
	2.2.1	Memberikan pelatihan kepada <i>local eco-warrior</i> mengenai pengelolaan dan pemantauan sampah berbasis sumber			
	2.2.2	Memberikan pelatihan mengenai pengelolaan sampah berbasis digital pada tingkat banjar dan desa.			

	2.3	Edukasi lingkungan			
	2.3.1	Perumusan kurikulum lingkungan pada pendidikan formal dari tingkat TK hingga SMA			
	2.3.2	Peningkatan literasi lingkungan bagi masyarakat umum melalui konten edukasi lingkungan di media sosial			
3. Pendanaan	3.1	Penambahan alat dan fasilitas pengangkutan dan pengolahan sampah			
	3.1.1	Investasi dalam teknologi pengolahan sampah terbaru, seperti mesin pemadat, pemilah otomatis, dan teknologi daur ulang yang efisien			
	3.2	Penguatan pendanaan pengelolaan sampah darat dan laut secara nasional dan internasional			
	3.3	Investasi pengembangan produk alternatif pengganti plastik yang ramah lingkungan			
	3.4	Investasi pada pengembangan sumberdaya manusia dan teknologi pengelolaan sampah yang efektif dan efisien			
4. Kebijakan	4.1	Penyusunan program kolaboratif lintas kabupaten dan provinsi			
	4.1.1	Inisiasi (JPB): Jaringan Pantai Bersih: Membentuk jaringan pantai bersih lintas provinsi yang melibatkan			

		partisipasi masyarakat, sukarelawan, dan pihak swasta.			
	4.2	Penegakan penerapan ekonomi sirkular			
	4.3	Komitmen seluruh stakeholder dalam hal penegakan, implementasi dan pemantauan kebocoran sampah dari tingkat daerah hingga nasional			

a. Rekomendasi dalam bidang Teknis/Teknologi

1.1. Peningkatan Kapasitas Alat dan Teknologi Pembersih Sampah

1.1.1. Pengangkutan Sampah Mengapung di Laut dengan Kapal (Jangka Pendek (5 – 10 Tahun))

Pengangkutan sampah mengapung di laut dengan kapal mengacu pada kegiatan mengumpulkan dan mengangkut sampah plastik dan limbah lainnya yang terapung di permukaan laut menggunakan kapal khusus.

Upaya Pengangkutan: Untuk mengatasi masalah ini, pemerintah Kabupaten Badung dan swasta dapat mengembangkan kapal atau perahu khusus yang dirancang untuk mengumpulkan sampah plastik dan limbah lainnya di laut. Kapal-kapal ini dilengkapi dengan teknologi seperti penyaring dan peralatan khusus untuk menangkap sampah yang mengapung di permukaan laut.

Inovasi Teknologi: Teknologi baru seperti sistem penyaringan pasif atau aktif, jaring pengumpul sampah, dan perangkap pengumpul sampah sedang dikembangkan untuk membantu mengatasi masalah polusi plastik di laut.

1.1.2. Pemasangan Alat Filter Sampah di Saluran Air dan Sungai (*Trash Catcher*) (Jangka Pendek – Menengah)

Pemasangan alat filter sampah di saluran air dan sungai adalah langkah yang diambil untuk mengurangi aliran sampah plastik dan limbah lainnya dari daratan ke perairan.

Ini adalah upaya pencegahan yang bertujuan untuk menghentikan masuknya sampah ke ekosistem perairan dan meminimalkan dampak negatifnya terhadap lingkungan.

Tujuan Utama: Tujuan utama dari pemasangan alat filter sampah adalah untuk menangkap sampah yang terbawa oleh aliran air sebelum sampah tersebut mencapai perairan seperti sungai, dan akhirnya laut. Dengan menahan sampah di titik awal, alat filter ini membantu mencegah kontaminasi lebih lanjut pada ekosistem air.

Cara Kerja: Alat filter sampah biasanya terdiri dari jaring atau bahan penyaring lainnya yang ditempatkan di dalam saluran air atau sungai. Ketika air mengalir, alat ini menangkap berbagai macam sampah yang terapung di permukaan atau terbawa oleh arus air. Sampah yang tertangkap di alat filter kemudian dapat diangkut dan dikelola dengan tepat, serta menghalangi sampah dari sungai-sungai (*trash catcher*).

Penggunaan Teknologi: Beberapa alat filter sampah menggunakan teknologi canggih, seperti sistem berbasis sensor yang dapat mendeteksi kehadiran sampah dan mengaktifkan alat filter untuk menangkapnya. Ada juga sistem otomatis yang dapat mengangkut dan mengosongkan tempat penyimpanan sampah secara teratur.

Lokasi Strategis: Alat filter sampah umumnya dipasang di lokasi yang strategis, seperti saluran air dekat permukiman, kawasan industri, atau wilayah dengan risiko tinggi terjadinya kontaminasi sampah. Pemasangan di daerah ini membantu mencegah aliran sampah dari sumber utamanya sebelum mencapai lingkungan perairan yang lebih luas.

Peran Pemerintah dan Masyarakat: Pemasangan alat filter sampah merupakan inisiatif kerjasama antara pemerintah daerah, lembaga lingkungan, dan masyarakat. Pemerintah Kabupaten Badung dapat memimpin upaya pemasangan, sementara partisipasi aktif masyarakat penting untuk menjaga dan mengelola alat filter dengan baik.

Manajemen Sampah: Selain pemasangan alat filter, penting juga untuk memiliki sistem manajemen sampah yang efektif. Sampah yang berhasil ditangkap oleh alat filter harus dikelola dengan benar, termasuk diangkut, didaur ulang, atau dibuang sesuai dengan ketentuan yang berlaku.

Keuntungan Lingkungan: Pemasangan alat filter sampah memiliki potensi untuk mengurangi kontaminasi plastik dan limbah di perairan, sehingga menjaga

kebersihan ekosistem air, mengurangi risiko bagi kehidupan laut, dan menjaga kesehatan lingkungan secara keseluruhan.

1.1.3. Program Pengurangan Sampah Laut dengan Cara *Multifunctional Breakwater* (Jangka Pendek - Menengah)

Program dan peraturan terdiri dari dua kegiatan utama: (1) pengelolaan sampah; dan (2) pengurangan sampah. Pengelolaan sampah meliputi pengumpulan, pengangkutan, pembuangan, regulasi, sosialisasi, dan pendidikan. Pengurangan sampah meliputi pembatasan timbulan sampah, pengurangan sampah, daur ulang, dan pemanfaatan kembali sampah yang potensial. Program tersebut langsung harus diimplikasikan di lokasi, dengan berbagai metode untuk mengurangi lebih banyak sampah laut yang memungkinkan. Agar dapat mendukung program pengurangan sampah laut, diperlukan kolaborasi dan koordinasi yang baik di antara para pemangku kepentingan. Adapun pengurangan sampah laut secara teknologi yang dimaksud antara lain:

Flow controlled breakwater: Solusi yang efisien di mana pemecah gelombang dibangun sedemikian rupa sehingga tercipta aliran yang diarahkan ke darat, yang secara alami mengangkut plastik ke dalam fasilitas penyimpanan di dekat dasar struktur. Manfaat yang besar adalah tenaga kerja yang dibutuhkan minimal karena arus melakukan sebagian besar pekerjaan, namun untuk mewujudkan struktur seperti itu, penelitian dan pemodelan intensif diperlukan untuk perilaku arus pada struktur dan perilaku sampah. Kelayakan struktur seperti ini sangat bergantung pada kondisi setempat.

Floating breakwater: Pemecah gelombang terapung dapat ditempatkan lebih jauh dari pantai sehingga memberikan beberapa keuntungan. Hal ini akan mengurangi polusi visual di pantai yang menguntungkan para wisatawan. Kondisi selancar mungkin tidak terlalu terpengaruh karena lokasi lepas pantai. Sampah akan dikumpulkan lebih jauh di lepas pantai yang tidak terlihat oleh para wisatawan. Di sisi lain, karena pemecah gelombang terletak di lepas pantai, efek mitigasi terhadap erosi pantai mungkin terbatas. Sampah harus diangkut dengan kapal untuk diangkut dan diproses di darat. Tergantung pada kapasitas pengolahan sampah di darat,

banyak pengangkutan yang mungkin diperlukan. Berikut terdapat contoh ilustrasi konseptual dari *floating breakwater* pada Gambar 13.



Gambar 13. Contoh Ilustrasi *Conceptual Design of a Floating Breakwater*
(<http://www.bfsa.eu/en/floating-industrial-structures/floating-breakwater/>)

Mobile structure: Sebuah konsep yang didasarkan pada struktur perlindungan banjir seperti yang dilakukan di Italia, struktur pantai yang dapat bergerak dan dapat tenggelam di bawah permukaan air. Karena mobilitasnya, struktur ini dapat muncul selama musim ketika volume sampah mencapai puncaknya dan selama kondisi badai untuk mengurangi erosi pantai. Sisa musim lainnya, struktur ini akan terendam lagi untuk mencegah gangguan pada kondisi gelombang dan polusi visual. Berikut terdapat contoh ilustrasi konseptual dari *mobile structure* dapat dilihat pada Gambar 14.



Gambar 14. Contoh Ilustrasi *Mobile Structure* di Vinice, Italy

(<https://www.smithsonianmag.com/smart-news/venices-new-floodgates-deployed-second-time-shielding-city-potentially-destructive-floods-180976087/>)

1.2. Peningkatan Teknologi Pemantauan Sampah

1.2.1. Pengembangan 'Early Warning System' dengan Memanfaatkan AI (*Artificial Intelligent*) Secara Otomatis (Jangka Menengah (5 – 20 Tahun)).

Pengembangan '*Early Warning System*' dengan memanfaatkan *Artificial intelligent* adalah upaya untuk pengawasan dan mengembangkan sistem peringatan dini terhadap sampah mengapung yang berada di muara sungai yang dianggap terdampak sampah terbesar di Kabupaten Badung. Adapun konsep / TOR sederhana dari kegiatan ini adalah:

Teknologi: Penggunaan *Artificial Intelligent (deep learning-CNN)* dapat digunakan sebagai cara untuk mengotomatisasi upaya deteksi sampah mengapung yang ada di muara sungai. Wahana yang digunakan adalah *drone* atau UAV untuk menghimpun data sampah yang ada di sungai

1.2.2. Pengembangan Sistem Pemantauan Sampah Terpadu Melalui Pengembangan Aplikasi Seluler yang Memungkinkan Pengunjung Pantai Melaporkan Lokasi Sampah yang Terlihat (Jangka Menengah (5 – 20 Tahun)).

Pengembangan sistem pemantauan sampah laut terpadu melalui pengembangan aplikasi seluler merupakan langkah inovatif untuk melibatkan masyarakat dalam upaya menjaga kebersihan pesisir pantai dan mengurangi polusi plastik di laut. Dengan aplikasi seluler, pengunjung pantai dapat berkontribusi dengan melaporkan lokasi sampah yang terlihat, sehingga memungkinkan tindakan lebih cepat dan responsif dalam pembersihan dan pengelolaan sampah.

Adapun konsep / TOR singkat mengenai kegiatan ini adalah:

Aplikasi Seluler: Aplikasi seluler merupakan perangkat lunak yang dapat diunduh dan diinstal di smartphone pengguna. Aplikasi ini memungkinkan pengguna untuk berinteraksi dengan sistem melalui antarmuka yang mudah digunakan, seperti mengirim laporan, melihat informasi, dan berpartisipasi dalam aktivitas tertentu.

Sistem Pemantauan Terpadu: Sistem pemantauan terpadu merujuk pada platform yang mengintegrasikan data dari berbagai sumber untuk menghasilkan pemahaman komprehensif tentang masalah tertentu. Dalam hal ini, sistem pemantauan terpadu menggabungkan laporan pengunjung pantai dengan data lain, seperti peta aliran

sampah dan informasi cuaca, untuk membantu mengkoordinasikan respons terhadap masalah sampah laut.

Fungsi Aplikasi:

- **Pelaporan Lokasi Sampah:** Pengguna aplikasi dapat dengan mudah mengambil foto lokasi sampah yang terlihat di pantai dan mengunggahnya ke aplikasi bersama dengan informasi tambahan.
- **Geotagging:** Aplikasi dapat menggunakan *geotagging* untuk menandai lokasi laporan pengguna secara akurat pada peta digital.
- **Analisis Data:** Data yang dikumpulkan dari laporan pengguna dapat dianalisis untuk mengidentifikasi pola dan tren dalam penumpukan sampah di berbagai area pantai.
- **Pemberitahuan dan Tindakan:** Pihak berwenang, petugas pembersihan, atau organisasi lingkungan dapat menerima pemberitahuan langsung tentang laporan sampah dan mengambil tindakan yang diperlukan untuk membersihkan area tersebut.
- **Pemantauan Perkembangan:** Aplikasi juga dapat memberikan pembaruan kepada pengguna tentang perkembangan pembersihan dan tindakan yang diambil.

Partisipasi Masyarakat: Melalui aplikasi ini, masyarakat, termasuk pengunjung pantai, memiliki peran aktif dalam menjaga kebersihan pesisir. Ini membangun kesadaran, tanggung jawab bersama, dan keterlibatan dalam pelestarian lingkungan.

Kerjasama Pihak Terkait: Pengembangan aplikasi dan sistem pemantauan memerlukan kerjasama antara pemerintah daerah, lembaga lingkungan, dan mungkin juga sektor swasta untuk mendukung pengembangan, peluncuran, dan operasionalisasi aplikasi.

Keuntungan: Pengembangan sistem pemantauan sampah laut terpadu dengan aplikasi seluler memiliki banyak manfaat, seperti:

- Memfasilitasi pelaporan cepat dan akurat tentang sampah laut.
- Meningkatkan koordinasi dalam pembersihan dan pengelolaan sampah.
- Mendorong partisipasi masyarakat dan kesadaran tentang polusi plastik.
- Memungkinkan analisis data untuk pengambilan keputusan yang lebih baik.

b. Rekomendasi di Bidang Sumberdaya Manusia

2.1. Peningkatan Frekuensi Pembersihan Pesisir Pantai Ketika Musim Angin Barat (Jangka Pendek (5 – 10 Tahun)).

Peningkatan frekuensi pembersihan pesisir pantai barat Kabupaten Badung saat musim angin barat adalah tindakan yang diambil untuk mengatasi peningkatan aliran sampah dan limbah plastik ke pantai selama periode musim angin barat. Kabupaten Badung menghadapi masalah polusi plastik yang signifikan di pesisir pantainya.

Kerjasama dengan Pihak Terkait: Peningkatan frekuensi pembersihan pesisir pantai dapat melibatkan kerjasama dengan lembaga pemerintah, organisasi non-pemerintah, komunitas lokal, dan sektor swasta. Ini dapat membantu dalam mobilisasi sumber daya yang diperlukan untuk melakukan pembersihan secara efektif.

Edukasi dan Kesadaran: Selain pembersihan fisik, penting juga untuk meningkatkan kesadaran masyarakat tentang dampak negatif polusi plastik dan pentingnya menjaga kebersihan lingkungan. Kampanye edukasi dapat membantu mengubah perilaku masyarakat dalam hal penggunaan plastik sekali pakai dan pengelolaan sampah yang lebih baik.

Pengurangan Sumber Sampah: Upaya untuk mengurangi masalah polusi plastik dan limbah perlu melibatkan langkah-langkah pencegahan. Ini termasuk menggalakkan pengurangan penggunaan plastik sekali pakai, mempromosikan daur ulang, dan meningkatkan infrastruktur pengelolaan sampah di darat.

Monitoring dan Evaluasi: Selama periode musim angin barat, penting untuk melakukan pemantauan terhadap kondisi pesisir pantai secara berkala. Ini akan membantu dalam menilai efektivitas langkah-langkah yang diambil dan memungkinkan penyesuaian jika diperlukan.

2.2. Pelatihan Kepada *Local Eco-Warrior* Mengenai Pengelolaan dan Pemantauan Sampah Berbasis Sumber (Jangka Pendek – Menengah).

Pelatihan kepada "*local eco-warrior*" mengenai pengelolaan dan pemantauan sampah berbasis sumber adalah upaya pendidikan dan pemberdayaan individu atau kelompok yang peduli terhadap lingkungan (disebut "*eco-warrior*" atau pejuang

lingkungan) di tingkat lokal untuk mengembangkan pemahaman dan keterampilan dalam mengatasi masalah sampah dengan pendekatan yang berfokus pada pencegahan dari sumbernya. Ini bertujuan untuk mengurangi jumlah sampah yang dihasilkan dan meminimalkan dampak negatifnya terhadap lingkungan.

Adapun hal – hal yang menyangkut tentang pelatihan tersebut meliputi:

Pengertian Pengelolaan Sampah Berbasis Sumber: Pengelolaan sampah berbasis sumber adalah pendekatan yang berfokus pada mencegah atau mengurangi produksi sampah sejak awal, daripada hanya mengelola dampaknya setelah sampah terbentuk. Ini melibatkan langkah-langkah seperti pengurangan penggunaan plastik sekali pakai, mendaur ulang, komposisi, dan penggunaan produk yang lebih ramah lingkungan.

Tujuan Pelatihan: Pelatihan ini bertujuan untuk memberikan pemahaman tentang konsep pengelolaan sampah berbasis sumber kepada "*eco-warrior*" lokal. Mereka akan diajarkan mengenai pentingnya pengurangan sampah, teknik penggunaan dan daur ulang yang tepat, serta cara mempromosikan praktik berkelanjutan di komunitas mereka.

Isi Pelatihan: Konsep Pengelolaan Sampah Berbasis Sumber: Pengenalan konsep dan prinsip pengelolaan sampah berbasis sumber, termasuk mengapa pendekatan ini lebih efektif dalam mengatasi masalah sampah.

Pencegahan dan Pengurangan Sampah: Cara mengurangi produksi sampah melalui penggunaan alternatif yang lebih ramah lingkungan dan menghindari penggunaan plastik sekali pakai.

Mendaur Ulang dan Komposisi: Teknik daur ulang yang benar dan pengelolaan kompos untuk mengurangi jumlah sampah yang berakhir di tempat pembuangan akhir.

Pemantauan dan Pelaporan: Cara memantau dan melacak dampak dari usaha pengelolaan sampah, serta cara melaporkan hasilnya kepada pihak yang berkepentingan.

Advokasi dan Pendidikan Masyarakat: Bagaimana menjadi agen perubahan dengan mengedukasi masyarakat tentang praktik pengelolaan sampah yang berkelanjutan.

Metode Pelatihan: Pelatihan dapat diselenggarakan dalam bentuk lokakarya, seminar, atau program pelatihan berkelanjutan. Ini dapat melibatkan presentasi, diskusi kelompok, studi kasus, demonstrasi, dan kegiatan praktis, seperti kegiatan pembersihan sampah bersama di lokasi yang relevan.

Kolaborasi dan Jaringan: Pelatihan ini juga dapat membantu membangun jaringan antara "*eco-warrior*" lokal, organisasi lingkungan, pemerintah daerah, dan lembaga terkait lainnya. Kolaborasi ini dapat memperkuat usaha pengelolaan sampah berkelanjutan di tingkat komunitas.

Keberlanjutan: Penting untuk melanjutkan pelatihan dan memberikan dukungan berkelanjutan kepada "*eco-warrior*" setelah pelatihan selesai. Ini dapat termasuk pemantauan perkembangan proyek, memberikan sumber daya tambahan, dan menjaga semangat dan motivasi mereka.

2.2.1. Memberikan Pelatihan Mengenai Pengelolaan Sampah Berbasis Digital Pada Tingkat Banjar dan Desa (Jangka Pendek – Menengah).

Memberikan pelatihan mengenai pengelolaan sampah berbasis digital pada tingkat banjar dan desa di Kabupaten Badung adalah upaya untuk memanfaatkan teknologi informasi dan digitalisasi dalam mengelola sampah dengan lebih efisien dan efektif di tingkat lokal. Kabupaten Badung, yang terletak di Bali, Indonesia, menghadapi tantangan dalam pengelolaan sampah, dan pendekatan berbasis digital dapat membantu dalam meningkatkan pemantauan, pengumpulan, dan pengelolaan sampah. Adapun penjabaran/TOR singkat mengenai kegiatan ini adalah:

Pengertian Pengelolaan Sampah Berbasis Digital: Pengelolaan sampah berbasis digital melibatkan penggunaan teknologi seperti perangkat lunak, aplikasi, sensor, dan pemantauan jarak jauh untuk mengoptimalkan proses pengelolaan sampah. Ini meliputi pencatatan data, pemantauan arus sampah, analisis data, pelaporan, dan kolaborasi melalui platform digital.

Tujuan Pelatihan: Pelatihan ini bertujuan untuk memberdayakan tingkat banjar dan desa di Kabupaten Badung dalam mengadopsi solusi digital untuk mengelola sampah dengan lebih baik. Ini mencakup pengumpulan data yang lebih akurat, analisis yang lebih efektif, serta pelaporan yang lebih transparan dan tepat waktu.

Isi Pelatihan:

Konsep Pengelolaan Sampah Berbasis Digital: Pengenalan tentang apa itu pengelolaan sampah berbasis digital, manfaatnya, dan bagaimana dapat diterapkan pada tingkat banjar dan desa.

Aplikasi dan Perangkat Lunak: Pengenalan tentang berbagai aplikasi dan perangkat lunak yang dapat digunakan untuk pemantauan dan pelaporan sampah, serta cara mengoperasikannya.

Pemantauan dan Analisis: Bagaimana menggunakan sensor atau perangkat pemantauan lainnya untuk melacak aliran sampah, serta analisis data untuk mengidentifikasi tren dan pola.

Pelaporan dan Kolaborasi: Cara membuat laporan mengenai pengelolaan sampah, berbagi informasi dengan pihak terkait, dan kolaborasi dalam mengatasi masalah sampah bersama-sama.

Pengelolaan Data: Pentingnya menjaga data sampah yang akurat, aman, dan teratur, serta langkah-langkah untuk melakukan pengelolaan data yang baik.

Manfaat Pengelolaan Sampah Berbasis Digital: Menggunakan solusi digital dapat membantu dalam:

- Pemantauan dan perencanaan yang lebih efisien.
- Pengurangan kesalahan manusia dalam pencatatan dan pelaporan.
- Pelaporan yang lebih transparan kepada pihak berkepentingan.
- Mengidentifikasi area-area yang membutuhkan perhatian lebih untuk pengelolaan sampah.

Implementasi dan Tindak Lanjut: Setelah pelatihan, penting untuk memastikan bahwa peserta memiliki pemahaman yang kuat dan dapat mengimplementasikan konsep-konsep yang telah dipelajari. Pemerintah daerah dan organisasi lingkungan juga dapat memberikan dukungan teknis dan sumber daya tambahan.

Keberlanjutan: Teknologi dan platform digital terus berkembang. Oleh karena itu, pelatihan ini juga harus membantu peserta dalam terus memperbarui pengetahuan mereka dan mengadopsi perkembangan teknologi yang relevan.

2.3. Edukasi Lingkungan

2.3.1. Perumusan Kurikulum Lingkungan pada Pendidikan Formal dari Tingkat TK Hingga SMA (Jangka Menengah – Panjang).

Perumusan kurikulum lingkungan mengenai sampah laut pada pendidikan formal dari tingkat TK hingga SMA merupakan upaya penting untuk mengintegrasikan pemahaman dan kesadaran tentang isu sampah laut ke dalam sistem pendidikan. Hal ini bertujuan untuk membekali generasi muda dengan pengetahuan, sikap, dan keterampilan yang diperlukan untuk mengatasi masalah polusi plastik dan sampah laut. Adapun TOR singkat dalam merumuskan kurikulum lingkungan mengenai sampah laut:

- **Identifikasi Tujuan Pembelajaran:** Menentukan tujuan pembelajaran yang jelas, yang mencakup pengetahuan tentang dampak sampah laut, pemahaman tentang prinsip-prinsip ekonomi sirkular, serta keterampilan dalam mengurangi dan mengelola sampah.
- **Integrasi ke dalam Mata Pelajaran:** Merencanakan cara untuk mengintegrasikan isu sampah laut ke dalam berbagai mata pelajaran, seperti ilmu pengetahuan alam, geografi, biologi, ilmu sosial, dan bahasa. Hal ini dapat dilakukan melalui pemberian kasus studi, diskusi, penugasan, dan proyek-proyek.
- **Pengembangan Materi Pengajaran:** Perancangan modul pembelajaran yang sesuai dengan tingkat usia dan pemahaman siswa. Materi harus disajikan dengan cara yang menarik dan interaktif, termasuk penggunaan gambar, video, cerita, dan contoh nyata.
- **Keterlibatan Praktisi dan Ahli:** Melibatkan praktisi, ilmuwan, dan ahli lingkungan dalam pengembangan kurikulum dapat memberikan wawasan yang lebih mendalam dan memastikan bahwa materi yang diajarkan adalah akurat dan relevan.
- **Penekanan pada Solusi dan Tindakan:** Selain memahami masalah, siswa juga perlu diajak untuk merumuskan solusi dan mengambil tindakan nyata dalam mengurangi sampah laut, seperti mengorganisir pembersihan pantai, kampanye pengurangan plastik, atau mendaur ulang.
- **Pengembangan Keterampilan Kritis:** Fokus pada pengembangan keterampilan berpikir kritis, analitis, dan pemecahan masalah, sehingga siswa dapat memahami dampak lingkungan dari tindakan manusia dan merancang solusi yang berkelanjutan.

- **Pengenalan Konsep Ekonomi Sirkular:** mengajarkan konsep ekonomi sirkular kepada siswa, sehingga mereka memahami pentingnya meminimalkan limbah dan memaksimalkan nilai dari bahan-bahan yang ada.
- **Pengalaman Langsung:** Menyertakan pengalaman lapangan, seperti kunjungan ke pantai atau pabrik daur ulang, untuk memberikan pemahaman praktis tentang dampak sampah laut dan upaya pengelolaannya.
- **Evaluasi dan Penilaian:** merancang metode evaluasi yang memungkinkan pengukuran pemahaman dan keterampilan siswa terkait isu sampah laut. Dapat berupa tugas tertulis, presentasi, proyek, atau diskusi kelompok.
- **Kontinuitas:** memastikan bahwa isu sampah laut diintegrasikan secara konsisten dari tingkat pendidikan yang lebih rendah hingga lebih tinggi, sehingga siswa dapat mengembangkan pemahaman yang mendalam seiring dengan perkembangan usia dan kematangan kognitif.
- **Pelatihan Guru:** Selain merumuskan kurikulum, berikan pelatihan kepada guru tentang materi dan pendekatan pembelajaran yang efektif untuk mengajarkan isu sampah laut.
- **Partisipasi Masyarakat:** melibatkan masyarakat dalam upaya pendidikan ini, seperti mengundang ahli atau aktivis lingkungan untuk memberikan ceramah atau sesi diskusi dengan siswa.
- **Monitoring dan Pembaruan:** Terus monitor dan evaluasi efektivitas kurikulum ini serta memperbarui sesuai dengan perkembangan ilmu pengetahuan dan kebutuhan masyarakat.

2.3.2. Peningkatan Literasi Lingkungan Bagi Masyarakat Umum Melalui Konten Edukasi Lingkungan di Media Sosial (Jangka Menengah (5 – 20 Tahun)).

Peningkatan literasi lingkungan bagi masyarakat umum melalui konten edukasi mengenai sampah laut di media sosial adalah strategi yang efektif dalam meningkatkan kesadaran dan pemahaman masyarakat tentang masalah polusi plastik dan sampah laut. Media sosial adalah platform yang luas digunakan oleh berbagai kalangan, dan konten edukasi dapat mencakup informasi, fakta, statistik, infografis, gambar, dan video yang mengedukasi masyarakat tentang dampak negatif sampah laut dan langkah-langkah yang dapat diambil untuk mengatasi masalah ini.

Konsep atau TOR singkat dari kegiatan ini adalah:

Konten Edukasi: Konten yang dibuat harus informatif, jelas, dan relevan dengan isu sampah laut. Hal ini dapat mencakup informasi tentang asal-usul sampah laut, dampaknya terhadap lingkungan dan kehidupan laut, serta peran masyarakat dalam mengatasi masalah ini.

Akses Media Sosial: Media sosial memberikan akses mudah dan cepat bagi masyarakat untuk mendapatkan informasi. Konten harus dirancang agar mudah dibaca, menarik, dan dapat berbicara langsung kepada pendengar.

Format Konten: Konten edukasi dapat berupa teks, gambar, infografis, foto, video pendek, atau bahkan penggunaan *live streaming* untuk sesi tanya jawab atau diskusi dengan para ahli.

Konten Edukasi: Konten edukasi sebaiknya direncanakan dengan baik, termasuk dalam hal frekuensi posting, waktu yang tepat, dan variasi tema. Ini akan membantu mempertahankan minat audiens dan memaksimalkan dampak edukatif.

Pelibatan Partisipasi Masyarakat: Masyarakat dapat diundang untuk berpartisipasi dengan memberikan pertanyaan, berbagi pengalaman, atau mengajukan ide mengenai bagaimana mengurangi penggunaan plastik sekali pakai. **Kolaborasi dengan Ahli:** Kolaborasi dengan ahli lingkungan, ilmuwan, dan organisasi yang berfokus pada pelestarian laut dapat meningkatkan kepercayaan dan kredibilitas konten edukasi.

Penggunaan Hashtag: Penggunaan *hashtag* yang relevan dan mudah diingat dapat membantu konten menjadi lebih terlihat dan mudah dicari.

Kewajiban Tim Media Sosial: Tim yang mengelola media sosial harus berinteraksi dengan audiens, menjawab pertanyaan, memberikan penjelasan lebih lanjut, dan merespon tanggapan positif maupun kritik.

Pemantauan dan Evaluasi (Monev): Penting untuk memantau kinerja konten edukasi, termasuk melihat jumlah tampilan, interaksi, dan tanggapan dari masyarakat. Evaluasi ini dapat membantu dalam penyempurnaan strategi ke depan.

Pemberian Solusi Konkret: Selain menjelaskan masalah, konten edukasi juga harus memberikan solusi konkret yang dapat diimplementasikan oleh individu dalam kehidupan sehari-hari, seperti pengurangan penggunaan plastik sekali pakai, partisipasi dalam aksi pembersihan pantai, atau mendukung upaya daur ulang.

c. **Rekomendasi di Bidang Pendanaan**

3.1. **Penambahan Alat dan Fasilitas Pengangkutan dan Pengolahan Sampah**

3.1.1. **Investasi Dalam Teknologi Pengolahan Sampah Terbaru, Seperti Mesin Pemadat, Pemilah Otomatis, dan Teknologi Daur Ulang yang Efisien (Jangka Menengah (5 – 20 Tahun)).**

Investasi dalam teknologi pengolahan sampah terbaru merupakan langkah penting dalam mengatasi masalah polusi dan pengelolaan sampah secara berkelanjutan. Teknologi ini mencakup berbagai inovasi yang bertujuan untuk meningkatkan efisiensi dalam pengumpulan, pemilahan, pengolahan, dan daur ulang sampah. Beberapa contoh teknologi yang bisa diinvestasikan adalah mesin pemadat, pemilah otomatis, dan teknologi daur ulang yang efisien. Penjabaran atau TOR singkat mengenai kegiatan ini adalah sebagai berikut:

Mesin Pemadat (*Compactor Machines*): Mesin pemadat dirancang untuk mengurangi volume sampah dengan menerapkan tekanan atau kompresi pada sampah. Ini membuat sampah menjadi lebih padat, mengurangi ruang yang dibutuhkan untuk penyimpanan dan transportasi. Mesin pemadat sering digunakan di tempat-tempat yang menghasilkan sampah dalam volume besar, seperti pusat perbelanjaan, kawasan komersial, dan fasilitas industri. Keuntungan investasi dalam mesin pemadat meliputi pengurangan biaya transportasi dan pengelolaan sampah serta pengurangan dampak lingkungan dari akumulasi sampah.

Pemilah Otomatis (*Automated Sorting*): Teknologi pemilah otomatis menggunakan sensor, kamera, dan perangkat lunak cerdas untuk memilah sampah secara otomatis berdasarkan jenisnya. Ini membantu dalam meningkatkan efisiensi dalam proses daur ulang, karena sampah dapat dipilah dengan lebih akurat. Teknologi ini sangat berguna dalam mengidentifikasi dan memilah plastik, kertas, logam, dan bahan daur ulang lainnya dari campuran sampah.

Teknologi Daur Ulang yang Efisien: Investasi dalam teknologi daur ulang yang efisien melibatkan penggunaan metode dan peralatan yang lebih canggih untuk mengubah sampah menjadi produk yang dapat digunakan kembali. Ini dapat termasuk penggunaan mesin daur ulang plastik yang canggih, teknologi untuk

mendaur ulang elektronik, atau metode daur ulang organik yang lebih efektif. Teknologi ini membantu mengurangi kebutuhan akan bahan baku baru dan mengurangi dampak lingkungan dari produksi.

Manfaat dari investasi dalam teknologi pengolahan sampah terbaru meliputi:

Peningkatan Efisiensi: Teknologi modern memungkinkan proses pengolahan sampah menjadi lebih cepat dan efisien, mengurangi biaya operasional dan menghemat waktu.

- **Peningkatan Daur Ulang:** Pemilahan dan pengolahan otomatis dapat meningkatkan tingkat daur ulang dan memastikan bahan yang dapat didaur ulang tidak terkontaminasi oleh sampah lain.
- **Reduksi Dampak Lingkungan:** Pengolahan dan daur ulang yang lebih efisien dapat mengurangi emisi gas rumah kaca dan penggunaan sumber daya alam.
- **Penurunan Volume Sampah:** Mesin pemadat mengurangi volume sampah, mengurangi kebutuhan akan tempat pembuangan akhir dan biaya transportasi.
- **Penciptaan Peluang Kerja:** Pengoperasian dan pemeliharaan teknologi ini menciptakan peluang kerja baru dalam bidang pengelolaan sampah yang lebih canggih.

3.1.2. Penguatan Pendanaan Pengelolaan Sampah Darat dan Laut Secara Nasional Dan Internasional (Jangka Menengah – Panjang).

Penguatan pendanaan pengelolaan sampah darat dan laut, terutama di Kabupaten Badung, adalah langkah krusial dalam mengatasi masalah polusi sampah dan menjaga keberlanjutan lingkungan. Kabupaten Badung, yang berlokasi di Bali, Indonesia, adalah tujuan pariwisata yang populer dan memiliki masalah pengelolaan sampah yang signifikan karena tingginya jumlah kunjungan wisatawan. Berikut adalah cara penguatan pendanaan dapat dijelaskan untuk Kabupaten Badung:

Pada Tingkat Kabupaten Badung:

- **Alokasi Anggaran:** Pemerintah Kabupaten Badung dapat meningkatkan alokasi anggaran untuk pengelolaan sampah darat dan laut. Ini mencakup pendanaan untuk pemeliharaan fasilitas pengolahan sampah, pengumpulan sampah, dan kampanye kesadaran lingkungan.

- **Pengenalan Pajak Lingkungan:** Kabupaten Badung dapat mempertimbangkan pengenalan pajak atau bea lingkungan pada produk-produk yang menyebabkan masalah sampah, seperti plastik sekali pakai. Pendapatan dari pajak ini dapat dialokasikan khusus untuk program pengelolaan sampah.
- **Program Daur Ulang dan Pengembangan Infrastruktur:** Investasi dalam fasilitas daur ulang dan infrastruktur pengelolaan sampah yang modern adalah langkah penting. Pendanaan ini dapat berasal dari anggaran pemerintah pusat atau melalui kemitraan dengan sektor swasta.
- **Pemantauan dan Evaluasi:** Kabupaten Badung dapat mengalokasikan dana untuk pemantauan dan evaluasi berkala terhadap program pengelolaan sampah yang ada untuk memastikan efektivitasnya dan membuat perbaikan jika diperlukan.
- **Kemitraan dengan Sektor Swasta:** Kabupaten Badung dapat menjalin kemitraan dengan perusahaan-perusahaan lokal atau internasional untuk mendukung inisiatif pengelolaan sampah yang berkelanjutan. Ini dapat mencakup investasi finansial atau teknologi.

Pada Tingkat Internasional:

- **Mengajukan Pendanaan Internasional:** Kabupaten Badung dapat mengajukan proposal proyek ke berbagai organisasi internasional yang mendukung program pengelolaan sampah dan perlindungan lingkungan.
- **Partisipasi dalam Inisiatif Global:** Kabupaten Badung dapat bergabung dengan inisiatif global, seperti *Clean Seas Campaign* oleh Perserikatan Bangsa-Bangsa, yang bertujuan mengurangi polusi plastik di lautan.
- **Kolaborasi Regional:** Kabupaten Badung dapat berkolaborasi dengan kabupaten/kota lain dalam kawasan Bali atau Indonesia untuk berbagi sumber daya dan pengalaman dalam mengatasi masalah pengelolaan sampah.
- **Mendorong Investasi Asing:** Kabupaten Badung dapat mencari investasi dari investor asing yang peduli terhadap isu lingkungan untuk mendukung proyek-proyek pengelolaan sampah yang berkelanjutan.

3.1.3. Investasi Pengembangan Produk Alternatif Pengganti Plastik yang Ramah Lingkungan (Jangka Menengah – Panjang).

Investasi pengembangan produk alternatif pengganti plastik yang ramah lingkungan adalah upaya pemerintah Kabupaten Badung untuk mendukung penelitian, pengembangan, dan produksi barang-barang yang dapat menggantikan plastik konvensional dengan bahan yang lebih ramah lingkungan. Tujuan utamanya adalah mengurangi polusi plastik, mendukung keberlanjutan lingkungan, dan mempromosikan kesadaran akan pentingnya mengurangi penggunaan plastik sekali pakai. Berikut adalah TOR singkat yang bisa dijadikan acuan oleh Kabupaten Badung:

- **Pendanaan Riset dan Inovasi:** Kabupaten Badung dapat mengalokasikan dana untuk mendukung riset dan inovasi dalam pengembangan produk alternatif. Ini termasuk penelitian untuk mengembangkan bahan-bahan baru yang ramah lingkungan dan proses produksi yang efisien.
- **Dukungan pada Usaha Lokal:** Kabupaten Badung dapat memberikan dukungan finansial kepada usaha lokal yang berfokus pada pengembangan produk alternatif. Ini dapat berupa hibah, pinjaman berbunga rendah, atau insentif pajak untuk perusahaan yang berinvestasi dalam produksi produk ramah lingkungan.
- **Infrastruktur dan Fasilitas Produksi:** Investasi dapat digunakan untuk membangun atau meningkatkan infrastruktur dan fasilitas produksi yang dibutuhkan untuk menghasilkan produk alternatif dalam jumlah yang memadai.
- **Pelatihan Tenaga Kerja:** Dukungan dapat diberikan untuk pelatihan tenaga kerja dalam industri produk alternatif, termasuk pelatihan tentang teknologi produksi yang ramah lingkungan.
- **Pemasaran dan Edukasi:** Kabupaten Badung dapat menginvestasikan dalam kampanye pemasaran dan edukasi kepada masyarakat dan pelaku bisnis lokal tentang manfaat produk alternatif dan dampak positifnya terhadap lingkungan.
- **Regulasi dan Kebijakan Pendukung:** Pemerintah Kabupaten Badung dapat mengembangkan regulasi dan kebijakan yang mendukung penggunaan produk alternatif dan membatasi penggunaan plastik sekali pakai.

- **Kemitraan dan Kolaborasi:** Kabupaten Badung dapat berkolaborasi dengan sektor swasta, organisasi lingkungan, dan lembaga nirlaba dalam pengembangan produk alternatif yang berkelanjutan.
- **Monitoring Dampak Lingkungan:** Kabupaten Badung dapat menginvestasikan dalam pemantauan dampak lingkungan dari produk alternatif untuk memastikan bahwa produk tersebut memenuhi standar keberlanjutan yang diharapkan.
- **Dukungan Hukum:** Pemerintah dapat memberikan dukungan hukum kepada perusahaan yang berinvestasi dalam pengembangan produk alternatif, termasuk perlindungan hak kekayaan intelektual.

3.1.4. Investasi pada Pengembangan Sumberdaya Manusia dan Teknologi Pengelolaan Sampah yang Efektif Dan Efisien (Jangka Menengah – Panjang).

Investasi dalam pengembangan sumber daya manusia dan teknologi pengelolaan sampah yang efektif dan efisien adalah langkah penting dalam upaya untuk mengatasi masalah sampah dan polusi lingkungan secara holistik. Investasi semacam ini memungkinkan Kabupaten Badung untuk meningkatkan kemampuan pengelolaan sampahnya, mengurangi dampak lingkungan, dan menciptakan lingkungan yang lebih bersih dan sehat. TOR singkat mengenai kegiatan ini adalah:

- **Pendidikan dan Pelatihan:** pelatihan bagi petugas pengelolaan sampah, pekerja daur ulang, dan tenaga kerja yang terlibat dalam manajemen sampah. Pelatihan ini dapat mencakup pengenalan terhadap praktik-praktik terbaik, keamanan kerja, dan pemahaman tentang pengelolaan sampah yang berkelanjutan.
- **Teknologi Pengelolaan Sampah:** pengembangan dan penerapan teknologi canggih untuk pemilahan, daur ulang, dan pengolahan sampah. Contohnya adalah mesin pemadat, pemisah otomatis, dan teknologi pengolahan biologis.
- **Pengumpulan Sampah yang Tepat dan Logistik:** Investasi dapat digunakan untuk meningkatkan sistem pengumpulan sampah yang efisien dan terjadwal. Ini melibatkan pembelian kendaraan pengangkut sampah yang modern dan perencanaan rute pengumpulan yang efisien.

- **Fasilitas Daur Ulang:** Kabupaten Badung dapat menginvestasikan dalam fasilitas daur ulang yang modern dan canggih untuk mengelola sampah yang dapat didaur ulang, seperti kertas, plastik, dan logam.
- **Kampanye Kesadaran Masyarakat:** Investasi dalam kampanye kesadaran masyarakat adalah bagian penting dalam mengajak warga setempat untuk berpartisipasi dalam pengelolaan sampah yang lebih baik. Ini mencakup edukasi tentang pemilahan sampah, penggunaan kantong belanja yang ramah lingkungan, dan pengurangan plastik sekali pakai.
- **Pengembangan Infrastruktur Pengelolaan Sampah:** Investasi juga dapat digunakan untuk mengembangkan dan memperbaiki infrastruktur pengelolaan sampah, termasuk tempat pembuangan akhir yang aman dan fasilitas pengolahan limbah.
- **Monitoring dan Pemantauan:** Kabupaten Badung dapat menginvestasikan dalam sistem pemantauan dan pelaporan yang efektif untuk memantau kinerja pengelolaan sampah dan mengidentifikasi area-area yang memerlukan perbaikan.
- **Pendanaan Berkelanjutan:** Investasi harus dipadukan dengan sumber pendanaan berkelanjutan untuk menjaga operasi pengelolaan sampah yang efektif dan efisien dari waktu ke waktu

d. Rekomendasi di Bidang Kebijakan

4.1. Penyusunan Program Kolaboratif Lintas Kabupaten dan Provinsi

4.1.1. Inisiasi (JPB): Jaringan Pantai Bersih: Membentuk Jaringan Pantai Bersih Lintas Provinsi yang Melibatkan Partisipasi Masyarakat, Sukarelawan, dan Pihak Swasta (Jangka Menengah – Panjang).

Inisiasi "JPB: Jaringan Pantai Bersih" adalah pembentukan jaringan lintas provinsi yang bertujuan untuk menjaga kebersihan pantai dan melibatkan partisipasi masyarakat, sukarelawan, dan sektor swasta dalam upaya ini. Tujuannya adalah untuk mengurangi polusi plastik dan sampah di pantai-pantai, serta meningkatkan kesadaran akan pentingnya menjaga kebersihan pantai. Kabupaten Badung, sebagai bagian dari inisiasi ini, dapat berperan aktif dalam berbagai cara:

- **Partisipasi dalam Pembentukan Jaringan:** Kabupaten Badung dapat menjadi salah satu anggota pendiri Jaringan Pantai Bersih dan berperan dalam pembentukan struktur organisasi dan tujuan jaringan ini. Hal ini akan memungkinkan Kabupaten Badung untuk berkolaborasi dengan entitas lain yang memiliki perhatian serupa terhadap kebersihan pantai.
- **Organisasi Acara Pembersihan Pantai:** Kabupaten Badung dapat mengatur dan mengorganisir acara-acara pembersihan pantai yang melibatkan masyarakat setempat, sukarelawan, dan pihak swasta. Acara ini dapat dijadwalkan secara teratur dan mencakup pantai-pantai di wilayah Kabupaten Badung.
- **Kampanye Kesadaran Masyarakat:** Kabupaten Badung dapat meluncurkan kampanye kesadaran masyarakat untuk mengedukasi penduduk setempat tentang pentingnya menjaga pantai bersih dan mengurangi penggunaan plastik sekali pakai. Ini dapat dilakukan melalui penyuluhan di sekolah, workshop, atau kampanye media sosial.
- **Kemitraan dengan Sektor Swasta:** Kabupaten Badung dapat mencari kemitraan dengan perusahaan-perusahaan swasta dalam rangka mendukung kegiatan pembersihan pantai dan pengurangan polusi plastik. Perusahaan-perusahaan ini dapat memberikan dukungan finansial atau sumber daya lainnya.
- **Pengelolaan Sampah yang Tepat:** Kabupaten Badung dapat meningkatkan infrastruktur pengelolaan sampah di sepanjang pantai, termasuk penempatan tong sampah yang strategis dan program pengumpulan dan pengelolaan sampah yang efektif.
- **Pemantauan Dampak Lingkungan:** Kabupaten Badung dapat melakukan pemantauan dan penilaian dampak lingkungan dari aktivitas pembersihan pantai dan pengelolaan sampah. Ini akan membantu dalam memahami efektivitas upaya tersebut dan membuat perbaikan yang diperlukan.
- **Penghargaan dan Pengakuan:** Kabupaten Badung dapat memberikan penghargaan atau pengakuan kepada individu, kelompok, atau perusahaan yang berperan aktif dalam menjaga kebersihan pantai dan berkontribusi dalam upaya pengurangan polusi plastik.

- **Kolaborasi Lintas Provinsi:** Kabupaten Badung dapat berkolaborasi dengan kabupaten/kota lain dalam jaringan ini untuk berbagi pengalaman, pelajaran, dan praktik terbaik dalam menjaga pantai bersih.

4.2. **Penegakan Penerapan Ekonomi Sirkular (Jangka Menengah (5 – 20 Tahun)).**

Penegakan penerapan ekonomi sirkular untuk meminimalisir sampah laut merujuk pada langkah-langkah konkret yang diambil untuk mengurangi polusi plastik dan sampah laut dengan menerapkan prinsip-prinsip ekonomi sirkular. Tujuan utamanya adalah mengurangi jumlah sampah plastik yang masuk ke laut, meminimalkan dampak negatifnya terhadap lingkungan laut, dan mengoptimalkan penggunaan sumber daya alam. Berikut adalah beberapa langkah yang dapat diambil dalam penegakan penerapan ekonomi sirkular untuk meminimalisir sampah laut:

- **Desain Produk yang Ramah Lingkungan:** Mendorong perusahaan untuk merancang produk dengan mempertimbangkan masa pakai yang lebih lama, kemudahan perbaikan, dan kemampuan untuk didaur ulang atau diuraikan dengan mudah setelah digunakan.
- **Pengurangan Penggunaan Plastik Sekali Pakai:** Melalui regulasi atau insentif, mengurangi penggunaan plastik sekali pakai seperti kantong plastik, sedotan, dan wadah makanan yang sulit didaur ulang.
- **Daur Ulang dan Penggunaan Kembali:** Mendorong praktik daur ulang dan penggunaan kembali bahan-bahan, termasuk plastik, untuk mengurangi permintaan akan bahan baku baru.
- **Sistem Pengelolaan Limbah yang Efisien:** Meningkatkan sistem pengelolaan limbah yang mencakup pengumpulan, pemilahan, daur ulang, dan disposisi akhir yang tepat untuk menghindari limbah masuk ke laut.
- **Kolaborasi dan Kemitraan:** Mengajak kolaborasi antara pemerintah, industri, organisasi lingkungan, dan masyarakat untuk menciptakan solusi bersama dalam mengurangi sampah laut.
- **Inovasi Teknologi:** Mendorong pengembangan teknologi daur ulang canggih untuk mengatasi plastik sulit daur ulang dan teknologi tangkap sampah di perairan.

- **Edukasi dan Kesadaran Masyarakat:** Mengedukasi masyarakat tentang dampak polusi plastik terhadap laut dan mengajak mereka berpartisipasi dalam mengurangi penggunaan plastik sekali pakai.
- **Pajak atau Bea Plastik:** Menerapkan pajak atau bea tambahan pada produk plastik sekali pakai untuk mendorong pengurangan penggunaan.
- **Label Ramah Lingkungan:** Mendorong penggunaan label atau sertifikasi produk ramah lingkungan untuk membantu konsumen memilih produk yang lebih berkelanjutan.
- **Pemantauan dan Pelaporan:** Menerapkan sistem pemantauan dan pelaporan terhadap upaya ekonomi sirkular dan dampaknya terhadap polusi laut.
- **Peraturan Penggunaan Mikroplastik:** Mengatur penggunaan mikroplastik dalam produk-produk seperti produk perawatan pribadi dan produk-produk pembersih.
- **Inisiatif Pengumpulan dan Pembersihan:** Mendorong inisiatif pengumpulan sampah dan pembersihan pantai oleh masyarakat, organisasi, dan instansi terkait.
- **Pengembangan Industri Daur Ulang:** Mendorong pertumbuhan industri daur ulang untuk menciptakan nilai ekonomi dari limbah plastik.
- **Stimulasi Inovasi Bisnis:** Memberikan insentif kepada bisnis yang mengembangkan inovasi dalam pengurangan limbah dan pengelolaan sumber daya

4.3. **Komitmen Seluruh *Stakeholder* dalam Hal Penegakan, Implementasi dan Pemantauan Kebocoran Sampah dari Tingkat Daerah Hingga Nasional (Jangka Panjang (>25 Tahun)).**

Komitmen seluruh *stakeholder*, terutama Kabupaten Badung dalam hal penegakan, implementasi, dan pemantauan kebocoran sampah dari tingkat daerah hingga nasional merupakan langkah penting dalam upaya mengatasi masalah serius polusi plastik dan dampaknya pada lingkungan. Komitmen ini mencerminkan kesediaan pihak-pihak terkait untuk bekerja sama dan bertanggung jawab dalam mencegah dan mengatasi masalah kebocoran sampah. TOR singkat mengenai kegiatan ini adalah sebagai berikut:

- **Pengawasan dan Penegakan Hukum:** Pihak berwenang di tingkat daerah, seperti Badan Lingkungan Hidup Kabupaten Badung, harus secara aktif mengawasi dan menegakkan aturan pengelolaan sampah khususnya implementasi produk hukum seperti Perda Kabupaten Badung No. 7 Tahun 2013 tentang Pengelolaan Sampah dan Peraturan Bupati Badung Nomor 48 Tahun 2018 Tentang Pedoman Pelaksanaan 3R (*Reduce, Reuse* dan *Recycle*) melalui Bank Sampah. Ini mencakup pemantauan operasi tempat pembuangan akhir (TPA), fasilitas daur ulang, dan aktivitas pengumpulan sampah.
- **Pengurangan Sampah di Sumbernya:** Kabupaten Badung, bersama dengan pihak swasta dan masyarakat, harus berkomitmen untuk mengurangi penggunaan plastik sekali pakai dan mengedukasi masyarakat tentang praktik-praktik yang lebih berkelanjutan.
- **Pengembangan Infrastruktur Pengelolaan Sampah:** Kabupaten Badung harus berinvestasi dalam infrastruktur pengelolaan sampah yang memadai, termasuk fasilitas daur ulang dan pengolahan yang modern. Infrastruktur yang baik membantu mencegah kebocoran sampah ke lingkungan.
- **Kemitraan Stakeholder:** Kabupaten Badung perlu berkolaborasi dengan sektor swasta, organisasi lingkungan, dan masyarakat sipil untuk merumuskan solusi bersama dan melaksanakan program pengelolaan sampah yang efektif.
- **Kampanye Kesadaran Masyarakat:** Kabupaten Badung dapat mendukung kampanye kesadaran masyarakat yang menekankan pentingnya membuang sampah dengan benar, mengurangi penggunaan plastik sekali pakai, dan berpartisipasi dalam pembersihan pantai dan wilayah.
- **Pemantauan dan Pelaporan:** *Stakeholder*, termasuk Kabupaten Badung, harus aktif dalam pemantauan dampak lingkungan dari kegiatan pengelolaan sampah. Data yang diperoleh melalui pemantauan ini dapat digunakan untuk perbaikan berkelanjutan.
- **Kebijakan Nasional:** Kabupaten Badung juga dapat mendukung dan mendorong pengembangan kebijakan nasional yang mendukung pengelolaan sampah yang berkelanjutan, termasuk peraturan yang ketat terkait penggunaan plastik dan pengelolaan limbah.

- **Kerjasama Antar Daerah:** Kabupaten Badung dapat berkolaborasi dengan kabupaten/kota lain di tingkat regional atau nasional untuk berbagi pengalaman dan sumber daya dalam mengatasi masalah kebocoran sampah.
- **Edukasi dan Pelatihan:** Investasi dalam edukasi dan pelatihan terkait pengelolaan sampah yang baik dan berkelanjutan dapat meningkatkan pemahaman dan keterampilan seluruh *stakeholder*.

DAFTAR PUSTAKA

- Adibhusana, M. N., Hendrawan, I. G., and Karang, I. W. G. A., 2016. Model Hidrodinamika Pasang Surut di Perairan Pesisir Barat Kabupaten Badung, Bali. *Journal of Marine and Aquatic Sciences*, 2(2), 54-59. [DOI:10.24843/jmas.2016.v2.i02.54-59](https://doi.org/10.24843/jmas.2016.v2.i02.54-59)
- Allsopp M., Walters A., Santillo D., Johnston P. 2006. Plastic Debris in the World's Oceans. Greenpeace Netherland
- Bali Partnership, 2019. Workshop kerjasama pengelolaan sampah plastik pesisir dan laut. Kantor Gubernur Bali.
- Baztan, J., Carrasco, A., Chouinard, O., Cleaud, M., Gabaldon, J. E., Huck, T., ... & Vanderlinden, J. P. (2014). Protected areas in the Atlantic facing the hazards of micro-plastic pollution: First diagnosis of three islands in the Canary Current. *Marine Pollution Bulletin*, 80(1-2), 302-311.
- Beritagar. (2023). Musim Sampah di Pesisir Pulau Dewata. [online] Tersedia di: <https://beritagar.id/media/galerifoto/musim-sampah-di-pesisir-pulau-dewata> [diakses: 17 Juli 2023].
- Bradley, P., & Yee, S. 2015. *Using the DPSIR Framework to Develop a Conceptual Model: Technical Support Document*. www.epa.gov/ord
- Brasika, I. B. M., Hendrawan, I. G., Karang, I. W. G. A., Pradnyaswari, I. G. A. I., Pratiwi, N. P. O. M. K., & Wiguna, I. G. M. (2023). Evaluating the collection and composition of plastic waste in the digital waste bank and the reduction of potential leakage into the ocean. *Waste Management and Research*, 41(3), 676–686. <https://doi.org/10.1177/0734242X221123490>
- Chen, C., Beardsley, R. C., dan Cowles, G., 2006. An Unstructured Grid, Finite Volume Coastal Ocean Model (FVCOM) User Manual. SMAST/UMASSD-06-0602
- Coe, J.M. and Rogers, D.B. (1997) *Marine Debris: Sources, Impacts, and Solutions*. Springer, New York, 161-170. <http://dx.doi.org/10.1007/978-1-4613-8486-1>.
- Diastomo, H., Suprijo, T. and Radjawane, I.M. 2021. Simulasi Gerak Sampah Laut Terapung Menggunakan Model Numerik di Selat Bali Floating Marine Debris Trajectory Simulation Using Numerical Modelling in the Bali Strait. [DOI: 10.5614/j.tl.2020.27.1.3](https://doi.org/10.5614/j.tl.2020.27.1.3)
- Federigi, I., Balestri, E., Castelli, A., De Battisti, D., Maltagliati, F., Menicagli, V., Verani, M., Lardicci, C., & Carducci, A. 2022. Beach pollution from marine litter: Analysis with the

- DPSIR framework (driver, pressure, state, impact, response) in Tuscany, Italy. *Ecological Indicators*, 143. <https://doi.org/10.1016/j.ecolind.2022.109395>
- Gall, S. C. & R.C. Thompson. 2015. The impact of debris on marine life. *Marine Pollution Bulletin* 92(1–2): 170–179. <https://doi.org/10.1016/j.marpolbul.2014.12.041>.
- Gari, S. R., Newton, A., & Icely, J. D. 2015. A review of the application and evolution of the DPSIR framework with an emphasis on coastal social-ecological systems. *Ocean and Coastal Management*, 103, 63–77. <https://doi.org/10.1016/j.ocecoaman.2014.11.013>
- Giupponi, C 2002, From the DPSIR reporting framework to a system for a dynamic and integrated decision making process. Paper presented at the MULINO International Conference on “Policies and tools for sustainable water management in the EU. Venice, Italy.
- Hardesty, B. D., & Wilcox, C. 2011. Understanding the types, sources and at-sea distribution of marine debris in Australian waters. *Hobart: CSIRO*.
- Hartley, J. M., Stevenson, K. T., Pereira, S. R., Peterson, M. N., Lawson, D. F., & Martinez, B. 2023. How a marine debris environmental education program plays to strengths of linguistically diverse learners. *Frontiers in Education*, 7. <https://doi.org/10.3389/educ.2022.1058864>
- Husrin, S., Wishu, U.J., Prasetyo, R., Putra, A. and Attamimi, A., 2017. Characteristics of marine litters in the west coast of Bali. *Jurnal Segara*, 13(2). DOI: <http://dx.doi.org/10.15578/segara.v13i2.6449>
- Lebreton, L. C., Van Der Zwet, J., Damsteeg, J. W., Slat, B., Andrady, A., & Reisser, J. (2017). River plastic emissions to the world’s oceans. *Nature communications*, 8(1), 15611.
- Li, D., L. Zhao, Z. Guo, X. Yang, W. Deng, H. Zhong, P. Zhou. 2021. Marine Debris in The Beilun Estuary Mangrove Forest: Monitoring, Assessment and Implications. *Int. J. Environ. Res. Public Health* 18, 10826. <https://doi.org/10.3390/ijerph182010826>.
- Maharta, I. P. R. F., Radjawane, I. M., & Hendrawan, I. G. (2020). Study of Debris Movement in South and West Coast of Sumatra and Java and Its Impact on Bali Strait during Western Monsoon. *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*, 618(1), 012009. <https://doi.org/10.1088/1755-1315/618/1/012009>
- Maharta, I.P.R.F., Radjawane, I.M., Suprijo, T., Park, H. and Hendrawan, I.G., 2021. Identification of Marine Debris Sources in Kuta Beach, Bali, Indonesia. *Journal of Coastal Research*, pp.594-598. <https://doi.org/10.2112/JCR-SI114-120.1>.

- Miranda, M. N., Silva, A. M. T., & Pereira, M. F. R. 2020. Microplastics in the environment: A DPSIR analysis with focus on the responses. *Science of The Total Environment*, 718, 134968. <https://doi.org/10.1016/J.SCITOTENV.2019.134968>
- NOAA. 2013. Marine Debris Shoreline Survey Field Guide. NOAA Marine Debris Program.
- Nor, N. H. M., & Obbard, J. P., 2014. Microplastics in Singapore's coastal mangrove ecosystems. *Marine pollution bulletin* 79(1-2): 278-283
- Oecd.1993. Decision Support System and Expert Systems: Management Support Systems. 4th Ed. Prentice Hall international, Inc.
- Pawar, P. R., Shirgaonkar, S. S., & Patil Authors' Affiliations, R. B. 2016. Plastic marine debris: Sources, distribution and impacts on coastal and ocean biodiversity. *PENCIL Publication of Biological Sciences*, 3(1), 40–54. www.pencilacademicpress.org/ppbs
- Póvoa A. A., de Araújo F. V., Skinner L. F. (2022). Macroorganisms fouled in marine anthropogenic litter (rafting) around a tropical bay in the southwest Atlantic. *Mar. pollut. Bull.* 175, 113347. doi: 10.1016/J.MARPOLBUL.2022.113347.
- Pratama, I. G. P. Y., & Christiawan, P. I. (2019). Pemetaan sampah musiman di wilayah pesisir Kecamatan Kuta. *Jurnal Pendidikan Geografi Undiksha*, 7(2).
- Rahmayanti, F., F. Diana, N. Najmi, E. Riani, G. Yulianto, Munandar. 2020. Analisis Kelimpahan, Komposisi dan Sumber Sampah Laut: Studi Kasus Pada Pantai Kuala Batu Desa Pulau Kayu Kabupaten Aceh Barat Daya. *Jurnal Laot Ilmu Kelautan* 2(1): 49-59.
- Ratnawati, D. P., Hendrawan, I. G., & Brasika, I. B. M.2022. Potensi Sampah Masuk ke Laut dari Aktivitas Darat di Kabupaten Badung, Provinsi Bali. *Journal of Marine Research And Technology* 5(1):5-9. <https://doi.org/10.24843/JMRT.2022.v05.i01.p02>.
- Ribeiro et al. (2011). Non-pharmacological Treatment of Hypertension in Primary Health Care: A Comparative Clinical Trial of Two Education Strategies in Health and Nutrition. *BMC Public Health* 2011, 11:637. <http://www.biomedcentral.com/1471-2458/11/637>.
- Rochman C. M., A. Tahir, S.L. Williams, D.V. Baxa, R. Lam, J.T. Miller, F.C. Teh, S. Werorilangi & Teh., S.J., 2015. Anthropogenic debris in seafood: Plastic debris and Fibers from textiles in fish and bivalves sold for human consumption. *Scient. Repor.*
- Schmidt, C., Krauth, T., & Wagner, S. (2017). Export of plastic debris by rivers into the sea. *Environmental science & technology*, 51(21), 12246-12253.

- Sheavly, S. B., & Register, K. M. 2007. Marine Debris & Plastics: Environmental Concerns, Sources, Impacts and Solutions. *Journal of Polymers and the Environment* 2007 15:4, 15(4), 301–305. <https://doi.org/10.1007/S10924-007-0074-3>
- Smeets, E., & Weterings, R 1999, Environmental indicators: Typology and overview, European Environment Agency Copenhagen.
- Tesfaldet, Y. T., & Ndeh, N. T. 2022. Assessing face masks in the environment by means of the DPSIR framework. In *Science of the Total Environment* (Vol. 814). Elsevier B.V. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2021.152859>
- Thoyyibah, S., & Warmadewanthi, I. D. A. A. (2023). Pengaruh Faktor Sosial Ekonomi terhadap Laju Timbulan dan Komposisi Sampah Rumah Tangga di Kecamatan Jombang. *Jurnal Teknik ITS (SINTA: 4, IF: 1.1815)*, 12(1), C42-C47.
- UNEP (United Nations Environment Programme).2005. Solid Waste Management. Vol.http://www.unep.or.jp/ietc/publications/spc/solid_waste_management/Vol_I/Binder1.pdf.
- Utama, P. B. A., Hendrawan, I. G., Karang, I. W. G., & Pamungkas, P. B. P. 2023. Distribusi Pencemaran Sampah Plastik pada Sempadan Sungai di Bali yang Bermuara di Perairan Selat Bali dengan Analisis Generalized Additive Models (GAM). *Journal of Marine Research and Technology*, 6(1), 69–77.
- Utama, P. B. A., Hendrawana, I. G., Karanga, I. W. G. A., & Panji, P. B. Distribusi Pencemaran Sampah Plastik pada Sempadan Sungai di Bali yang Bermuara di Perairan Selat Bali dengan Analisis Generalized Additive Models (GAM).
- Vethaak, A. D., & Leslie, H. A. 2016. Plastic Debris Is a Human Health Issue. *Environmental Science & Technology*, 50, 6825–6826. <https://doi.org/10.1021/acs.est.6b02569>
- Vidal, A.S., M. Canals, W.P. de Haan, J. Romero, M. Veny. 2021. Seagrass Provide a Novel Ecosystem Service by Trapping Marine Plastics. *Sci Reports* 11:254. <https://doi.org/10.1038/s41598-020-79370-3>.
- Wyrtki, K. (1961). Physical oceanography of the Southeast Asian waters (Vol. 2). University of California, Scripps Institution of Oceanography.
- Yonkos, L. T., Friedel, E. A., Perez-Reyes, A. C., Ghosal, S., & Arthur, C. D. (2014). Microplastics in four estuarine rivers in the Chesapeake Bay, USA. *Environmental science & technology*, 48(24), 14195-14202.

- Yosafat, F.C., 2012. Pergerakan Sampah Lautan dengan Pendekatan Model Trajektori Partikel di Perairan Selat Bali (Doctoral dissertation, Tesis. Institut Teknologi Bandung. Bandung).
- Yuliasuti, I. A. N., Yasa, I. N. M., & Jember, I. M. 2013. Partisipasi masyarakat dalam pengelolaan sampah di Kabupaten Badung. *E-Jurnal Ekonomi dan Bisnis Universitas Udayana*, 2(6), 374-393.
- Yunanto, Agung. 2023. Sampah kiriman Pantai Kuta antara berkah dan bencana.<http://bpol.litbang.kkp.go.id/27-berita-penelitian/323sampahkiriman-pantai-kuta-antara-berkah-dan-bencana> (diakses pada tanggal 17 Juli 2023 pukul 15.26 WITA)



**FAKULTAS KELAUTAN DAN PERIKANAN
UNIVERSITAS UDAYANA**

Jalan Raya Kampus Unud, Jimbaran, Kec. Kuta Sel., Kabupaten Badung, Bali 80361

Telp/Fax: (0361) 702802, e-mail: fkp@unud.ac.id



**BADAN RISET DAN INOVASI DAERAH
KABUPATEN BADUNG**

Jalan Raya Sempidi, Kecamatan. Mengwi, Kab. Badung, Bali 80351

Tlp. (0361) 9009255, e-mail: bridabadungkab@gmail.com