

Analisis dan Pemodelan Pencemaran Timbulan Sampah Menggunakan Aplikasi *Integrated Waste Management 2 (IWM2)* di Kawasan Pesisir Waha Raya, Kabupaten Wakatobi

Muhammad Irpan Sejati Tassakka¹⁾, Alfi Kusuma Admaja²⁾, Indah Alsita³⁾, Kezia Gloria Apriliana Runtu⁴⁾, Martina Rahmadani⁵⁾

^{1,2,3,4}Akademi Komunitas Kelautan dan Perikanan Wakatobi

⁵World Wide Fund Southern-Eastern Sulawesi Subseascape

*email : ¹⁾sejatiirpan@gmail.com ²⁾admaja.k@gmail.com ³⁾indahalsitas@gmail.com

⁴⁾keziaruntu@gmail.com ⁵⁾m.rahmadani@wwf.id

Diterima : Mei 2019 Disetujui : Juni 2019

ABSTRAK

Penelitian ini bertujuan untuk mengestimasi jumlah timbulan sampah, memodelkan dampak pencemaran pada air dan udara akibat timbulan sampah, serta merekomendasikan alternatif sistem pengolahan sampah berkelanjutan di Kawasan Pesisir Waha Raya. Metode pengambilan dan pengukuran contoh timbulan dan komposisi sampah menggunakan metode SNI 19-3964-1994, sedangkan metode analisis sistem pengelolaan sampah menggunakan aplikasi *Integrated Wasted Management 2 (IWM2)*. Hasil penelitian menunjukkan rata-rata timbulan sampah yang dihasilkan di Waha Raya yaitu 1,875 ton/hari atau 0,72 kg/orang/hari. Setelah memodelkan dampak pencemaran pada air dan udara dalam 4 skenario, ditemukan bahwa skenario ke-4 mampu mereduksi zat pencemar partikulat di udara sebanyak 104,8 kg/tahun; CO₂ sebesar 102.6 kg/tahun; CH₄ 36.0 kg/tahun; dan GWP 861.3 kg/tahun. Skenario ke- 4 juga mampu mereduksi tingkat pencemaran air yaitu BOD sebesar 146 kg/tahun, COD sebesar 437 kg/tahun, SS sebesar 24 kg/tahun, dan Fe²⁺ sebesar 42 kg/tahun. Hasil tersebut mengindikasikan bahwa penerapan skenario 4 di Kawasan Waha Raya dapat menjadi alternatif pengolahan sampah berkelanjutan.

KATA KUNCI: Manajemen sampah; timbulan sampah; pesisir; Wakatobi.

ABSTRACT

*The aims of this paper are to estimate the total of waste generation, modeling the impact of pollution on water and air due to waste generation, and recommend the alternative sustainable waste management system in Waha Raya Coastal Area. The method of taking and measuring the sample of waste generation based on SNI 19-3964-1994, while method of analyzing waste management systems use the application of *Integrated Wasted Management 2 (IWM2)*. After modeling the effects of pollution on water and air in 4 scenarios, it was found that the 4th scenario was able to reduce airborne particulate pollutants amount 104.8 kg/year; CO₂ of 102.6 kg year; CH₄ 36.0 kg/year; and 861.3 kg/year GWP. The 4th scenario is also able to reduce the level of water pollution those are BOD amount 146kg/year, COD amount 436 kg/year, SS 34 kg/year and Fe²⁺ 42 kg/year. The results indicate that the application of 4th scenario is able to be the alternative sustainable of waste management.*

KEYWORDS: waste management; waste generation; coastal; Wakatobi

PENDAHULUAN

Wakatobi merupakan salah satu kabupaten kepulauan di Sulawesi Tenggara yang terletak di bagian selatan garis khatulistiwa, secara geografis memanjang dari utara ke selatan di antara $5.00^0 - 6.25^0$ LS (sepanjang ± 160 km) dan membentang dari Barat ke Timur diantara $123.34^0 - 124.64^0$ BT (sepanjang ± 120 km). Nama Wakatobi berasal dari nama empat pulau besarnya yaitu Wa untuk Pulau Wangi-Wangi; Ka untuk Pulau Kaledupa; To untuk Pulau Tomia; Bi untuk Pulau Binongko. Ibu kotanya sendiri berada di Pulau Wangi-Wangi. Kepulauan Wakatobi ditetapkan sebagai kawasan taman nasional laut dan cagar biosfir (UNESCO, 2012; BPS Wakatobi, 2018). Selain itu, Kepulauan Wakatobi juga merupakan pusat dari segitiga karang dunia dengan kekayaan biodiversitas kelautannya (Veron *et al.*, 2011; Foale *et al.*, 2013) dan telah ditetapkan menjadi salah satu dari 10 destinasi wisata prioritas Indonesia. Berbagai hal tersebut menjadikan Wakatobi memiliki peranan penting dan strategis di kawasan timur Indonesia khususnya, dan juga bagi Dunia, baik secara ekologis, sosial, maupun ekonomi.

Kabupaten Wakatobi sebagai kawasan konservasi sekaligus destinasi kunjungan wisata dituntut untuk dapat mengelola dan menjaga kualitas lingkungannya (Firmansyah, F., Musthofa, A., Estradivari, Damora, A., Handayani, C. Ahmadi, & G. Jill Haris., 2016). Salah satu tantangan dalam upaya menjaga kualitas lingkungan yang umumnya dijumpai di daerah adalah pengelolaan sampah. Jumlah penduduk Kabupaten Wakatobi pada tahun 2017 mencapai 95.386 jiwa dengan kepadatan penduduk 116 jiwa/km² (BPS Wakatobi, 2018) merupakan penyumbang utama produksi timbulan sampah. Hal ini belum termasuk sampah-sampah laut kiriman yang dibawa oleh arus laut masuk dan terdampar ke pesisir Wakatobi. Sampah-sampah kiriman ini

banyak ditemukan di pesisir pantai terutama pada musim barat.

Paradigma lama pengelolaan sampah yang masih banyak diaplikasikan saat ini adalah kumpul, angkut lalu buang (Suryani, 2014), dan andalan utama sebuah kota dalam menyelesaikan masalah sampah adalah pemusnahan dengan *landfilling* pada sebuah TPA (Damanhuri & Padmi, 2010). Sayangnya, hal tersebut juga yang berlangsung di Kabupaten Wakatobi dimana masih menerapkan pengelolaan sampah yang tidak sesuai dengan Undang-Undang Nomor 18 Tahun 2008 tentang Pengelolaan Sampah dan Peraturan Pemerintah No. 81 Tahun 2012 tentang Pengelolaan Sampah Rumah Tangga dan Sampah Sejenis Sampah Rumah Tangga. Selain itu, perilaku masyarakat yang membuang sampahnya ke pesisir laut masih banyak ditemukan yang dapat mengakibatkan polusi dan mengancam ekosistem laut.

Belum adanya fasilitas pengelolaan sampah yang memadai mengakibatkan volume sampah yang dapat dikelola oleh Dinas Lingkungan Hidup masih terbatas. Hal ini menjadikan pengelolaan sampah sebagai salah satu permasalahan utama di Kabupaten Wakatobi (Firmansyah, F., Musthofa, A., Estradivari, Damora, A., Handayani, C. Ahmadi, & G. Jill Haris., 2016). Sampah yang tidak dikelola dengan baik akan menjadi bahan pencemar yang berdampak pada penurunan kualitas dan estetika lingkungan yang akan membahayakan kesehatan manusia, serta hewan dan tumbuhan yang hidup didalamnya. Beberapa wilayah bahkan belum terjangkau layanan pengangkutan sampah dari dinas terkait. Padahal daerah-daerah tersebut juga belum memiliki fasilitas pengelolaan sampah yang memadai, diantaranya adalah Desa Waha, Desa Koroe Onawa dan Wapia-pia yang lebih dikenal sebagai Kawasan Pesisir Waha Raya.

Kawasan Pesisir Waha Raya merupakan salah satu kawasan pesisir di Kecamatan Wangi-Wangi yang menjadi prioritas kawasan

wisata bahari Wakatobi, khususnya karena adanya Komunitas Wisata Waha (*Waha Tourism Community*) yang mengelola salah satu kawasan pantai di wilayah tersebut. Luas Kawasan Pesisir Waha Raya mencapai 63,62 km², dengan jumlah penduduk 1407 2893 dan kepadatan penduduk 45,5 jiwa/km² (BPS Wakatobi, 2018b). Sebagai desa wisata bahari, keindahan pantai dan terumbu karang bawah laut menjadi daya tarik utama wisatawan. Keindahan alami tersebut berpotensi terganggu dengan adanya timbulan sampah yang belum dikelola dengan baik oleh masyarakat.

Beberapa studi mengenai jumlah timbulan sampah yang dihasilkan di lokasi desa wisata telah dilakukan (Putri, I. T. E., Mardani, N. K., & Pujaastawa, I. B. G., 2012; Komala, P. S., Aziz, R., & Wahyudi, B., 2013; Wibowo, 2015; Sahil, J., Al Muhdar, M. H. I., Rohman, F., & Syamsuri, I., 2016; Masjhoer, 2018). Sayangnya publikasi penelitian serupa di Kabupaten Wakatobi masih sangat terbatas atau bahkan belum pernah dilakukan. Olehnya itu, penelitian ini bertujuan untuk mengetahui jumlah timbulan dan komposisi sampah yang dihasilkan di Kawasan Pesisir Waha Raya, sebagai salah satu desa prioritas wisata di Kabupaten Wakatobi, yang kemudian akan dimodelkan menggunakan aplikasi *Integrated Waste Management 2* (IWM2) untuk menganalisis dampak pencemarannya, khususnya pencemaran air dan pencemaran udara. Penelitian ini diharapkan dapat menjadi masukan bagi stakeholder dan pengambil kebijakan dalam pengelolaan sampah di Desa Waha khususnya, serta Kabupaten Wakatobi secara umum.

BAHAN DAN METODE

Alat dan bahan yang digunakan antara lain, (1) Timbangan gantung dengan kapasitas 100 kg, 25 kg dengan merk Moritz dan timbangan duduk kapasitas 5 kg dengan merk Camry. Timbangan 100 kg diperlukan untuk menimbang sampah kotak pengukur.



Gambar 1. Lokasi Wilayah Pesisir Waha Raya di Peta Tata Guna Lahan Pulau Wangi-Wangi (BPS, 2018).

Sedangkan timbangan 25 kg dan 5 kg diperlukan untuk mengukur sampah yang telah dipilah berdasarkan komposisinya. (2) Kotak sampling berukuran 0,5 m x 0,5 m x 0,5 m. Kotak sampling digunakan untuk mengukur volume sampah. (3) Terpal berukuran 3 m x 5 m sebanyak 1 buah. Terpal digunakan sebagai alas saat melakukan pemilahan masing-masing sumber. (4) Wadah plastik sebanyak 10 buah berukuran 65 cm x 40 cm. Wadah plastik digunakan untuk menampung sampah yang telah dipilah berdasarkan komposisinya.

Metode pengambilan dan pengukuran contoh timbulan dan komposisi sampah menggunakan metode SNI 19-3964-1994. Sedangkan Metode analisis sistem pengelolaan sampah menggunakan aplikasi IWM2. Model IWM2 merupakan perangkat lunak yang memberikan kemudahan bagi pengelola limbah dalam menentukan konsep pengelolaan sampah padat terpadu. Pemilihan sistem pengelolaan sampah dilakukan beberapa aspek yaitu tingkat pencemaran air, tingkat pencemaran udara, analisis ekonomi, analisis energi, dan total limbah yang dihasilkan. Pemodelan sampah di Waha Raya dilakukan dengan menggunakan 4 (empat) skenario untuk membandingkan jenis sistem pengelolaan yang paling efektif dan efisien. Klasifikasi skenario yang digunakan adalah Skenario 1 dengan cara sampah yang

dikumpulkan langsung di kirim ke TPA tanpa proses pengolahan sebelumnya (sama dengan sistem pengelolaan saat ini); Skenario 2 dengan cara sistem pengelolaan sampah terdapat pemilahan yang terdiri dari 25% kertas dan 50% bahan organik untuk proses pengomposan dan sisanya akan langsung di kirim ke TPA; Skenario 3 dengan cara timbulan sampah yang dihasilkan seluruhnya akan di kirim ke TPA sama seperti *Skenario 1*, tetapi material yang dapat didaur ulang akan dikelola melalui pengelolaan sistem TPS3R; dan Skenario 4 dimana pada sistem pengelolaan sampah sudah terdapat kegiatan pemilahan dan penyortiran limbah, limbah yang masih dapat digunakan akan dilakukan kegiatan daur ulang. Selain itu pada *Skenario 4* ini terdapat proses pengolahan secara biologis melalui kegiatan pengomposan, sedangkan residu yang dihasilkan akan diolah di TPA.

HASIL DAN PEMBAHASAN

Diskripsi Lokasi Penelitian

Wakatobi adalah kabupaten kepulauan di Sulawesi Tenggara yang memiliki 90 desa pesisir dari 100 total jumlah desa. Wakatobi tersusun atas beberapa pulau, 4 di antaranya adalah pulau besar yaitu Wangi-Wangi, Kaledupa, Tomia dan Binongko. Kawasan Pesisir Waha Raya, yang terdiri atas Desa Wapia-pia, Desa Waha dan Desa Koroe Onowa termasuk dalam 3 desa pesisir dengan luas total 52,39 km² dan terletak di Pulau Wangi-Wangi seperti yang ditampilkan pada Gambar 1 (BPS, 2018). Kawasan Pesisir Waha Raya memiliki beberapa titik destinasi wisata bahari dan pesisir, seperti spot selam, pantai, dan mangrove. Persentase tutupan karang hidup di lokasi ini mencapai 60% (Yulius, Novianti, N., Arifin, T., Salim, H.L., Ramdhan, M., & Purbani, D., 2015). Berdasarkan potensi yang dimiliki kawasan tersebut, Desa Waha pun ditunjuk sebagai salah satu Desa Wisata di Kabupaten Wakatobi pada tahun 2012. Sebagai desa

pesisir, masyarakat tentunya banyak melakukan aktivitas yang dapat mempengaruhi ekosistem pesisir. Salah satu aktivitas masyarakat yang dapat menjadi permasalahan di Kawasan Pesisir Waha Raya adalah pengelolaan sampahnya yang belum optimal.

Timbulan Sampah

Timbulan sampah rata-rata yang dihasilkan oleh Kawasan Pesisir Waha Raya yaitu 1,875 ton/hari dan/atau 0,72 kg/o/hari. Jumlah timbulan sampah ini tergolong tinggi, bahkan termasuk dalam kategori timbulan sampah kota sedang dengan rentang 0,70-0,80 kg/o/h (SNI 19-3983-1995). Jumlah timbulan sampah yang dihasilkan di Kawasan Pesisir Waha Raya tergolong sangat tinggi jika dibandingkan dengan rata-rata timbulan sampah daerah permukiman di wilayah pesisir Indonesia yaitu 0,47 kg/o/h (Eriksen, M., Lebreton, M., Carson, H., Thiel, M., Moore, C., Borerro, J., Galgani, F., Ryan, P., Raiser, J., 2014). Timbulan sampah yang tinggi di Kawasan Pesisir Waha Raya disebabkan oleh ketergantungan masyarakat terhadap produk kemasan.

Pengelolaan sampah saat ini di Kawasan Pesisir Waha Raya dilakukan dengan pengolahan di TPA, pembakaran (*open burning*), ditimbun, dan dibuang ke laut. Pengolahan sampah di TPA Wambuamale,



Gambar 2. Kondisi TPA Wambuamale di Kabupaten Wakatobi

Kabupaten Wakatobi tidak berjalan dengan baik seperti yang terlihat pada Gambar 2.

Pengelolaan sampah menggunakan TPA yang tidak optimal dapat menimbulkan risiko penyebaran penyakit misalkan melalui bakteri *Escherichia coli*, pencemaran air tanah, dan pencemaran air permukaan (Smith & Almquist, 2014).

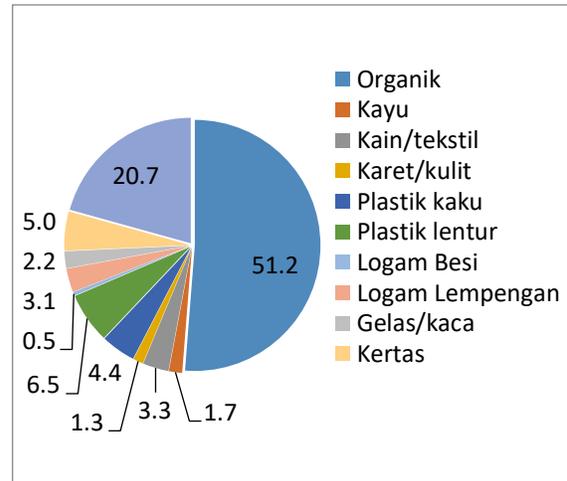
Komposisi Sampah

Komposisi sampah di kawasan pesisir Waha Raya mempunyai keunikan jika dibandingkan dengan rata-rata komposisi sampah permukiman di Indonesia. Secara lengkap, komposisi sampah di kawasan pesisir Waha Raya dilihat pada **Error! Reference source not found.**

Komposisi sampah organik di Kawasan Pesisir Waha Raya sebesar 51,2% tergolong lebih kecil dibandingkan dengan komposisi sampah rata-rata di Indonesia yaitu 60,5% Aprilia, A., Tezukaa, T., & Spaargarenb, G., (2013); dan 68,5% Dhokhikaha, Y., Trihadiningruma, Y., & Sunaryo, S., (2015). Komposisi sampah pada **Error! Reference source not found.** menunjukkan bahwa Kawasan Pesisir Waha Raya memiliki potensi untuk melakukan daur ulang sampah karena hanya memiliki sampah residu termasuk di dalamnya limbah B3 sebesar 20,7%. Sampah residu yang dimaksud meliputi sampah popok, styrofoam, produk B3, dan jenis sampah yang tidak dapat dimanfaatkan kembali. Jenis komposisi sampah yang juga tinggi di Kawasan Pesisir Waha Raya yaitu sampah plastik lentur (6,5%). Hal ini menunjukkan pola hidup masyarakat di Kawasan Pesisir Waha Raya sangat bergantung pada produk kemasan.

Pemodelan Konsentrasi Emisi Udara dan Pencemaran Air Pengelolaan Sampah

Pengelolaan sampah saat ini di Kawasan Pesisir Waha Raya masih mengandalkan TPA yang belum optimal, sehingga penelitian ini juga membandingkan dampak yang dihasilkan dari pengelolaan saat ini dengan rekomendasi sistem pengelolaan

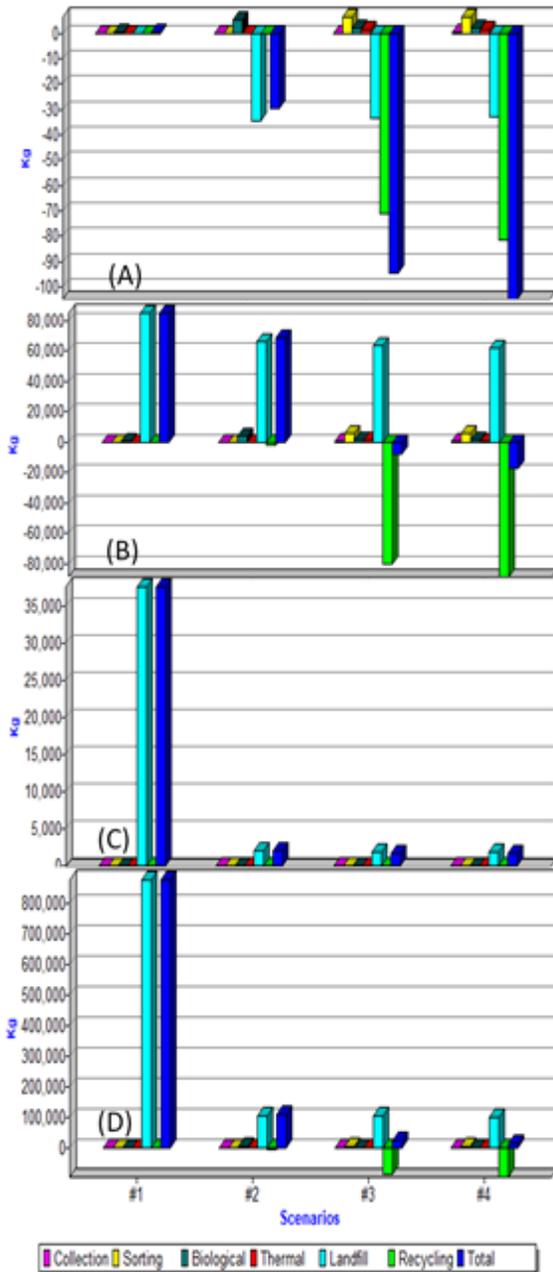


Gambar 3. Komposisi Sampah di Kawasan Pesisir Waha Rava

sampah yang optimal. Rekomendasi sistem pengelolaan sampah disesuaikan dengan skenario sesuai yang dipaparkan pada bagian metode. Dampak yang dihasilkan dari masing-masing skenario ditinjau berdasarkan indikator pencemaran udara seperti partikulat, Karbon Dioksida (CO₂), Metana (CH₄), *Global Warming Potential (GWP)*, Asam Sulfida (H₂S) dan indikator pencemaran air seperti *Biological Oxygen Demand (BOD)*, *Chemical Oxygen Demand (COD)*, *Suspended Solids (SS)*, dan Ferrous (Fe²⁺). Pemodelan pencemaran udara merepresentasikan konsentrasi jenis gas pencemar yang dihasilkan tiap-tiap skenario pengelolaan sistem persampahan di kawasan pesisir Waha Raya. Sedangkan, pemodelan pencemaran air merepresentasikan konsentrasi jenis zat pencemar cair yang dihasilkan tiap-tiap skenario pengelolaan sistem persampahan. Secara lengkap perbandingan hasil pencemaran udara dan pencemaran air sampah ditampilkan pada Gambar 4 dan Gambar 5.

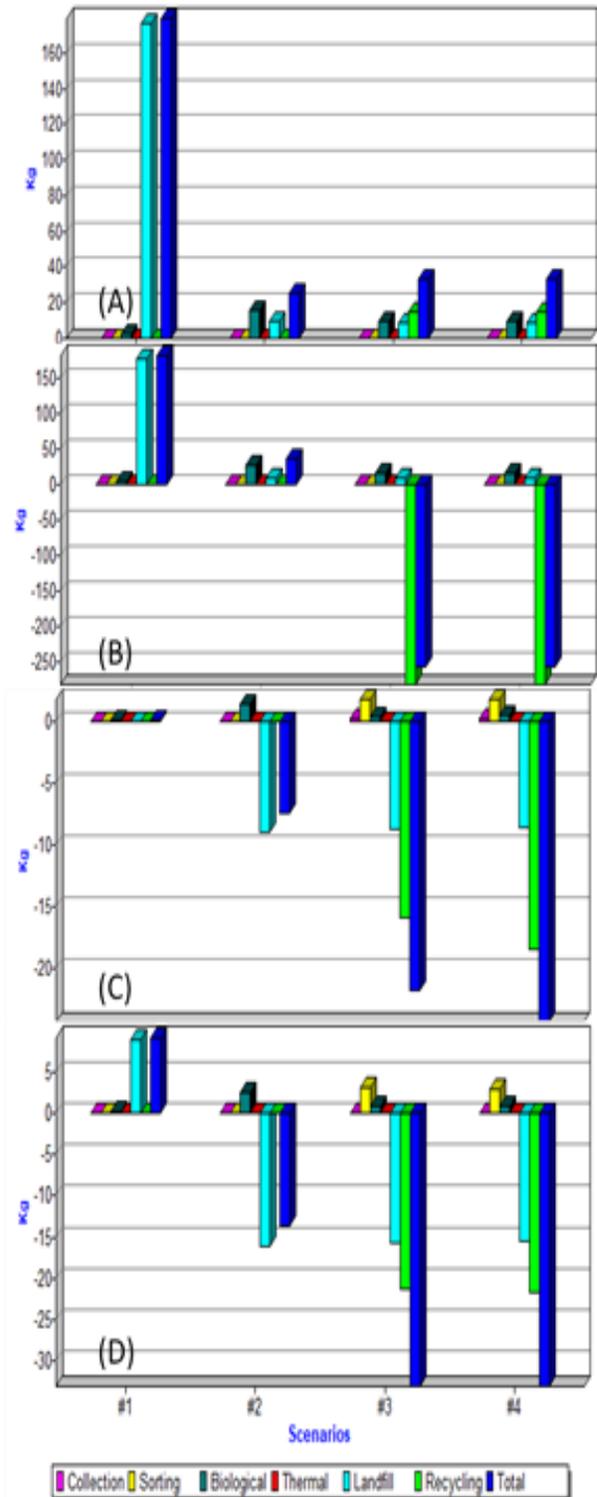
Berdasarkan analisis dengan menggunakan aplikasi IWM2 (Gambar 4) maka pengelolaan sampah yang tepat di Kawasan Pesisir Waha Raya yaitu dengan menerapkan Skenario 4. Pengelolaan sampah di Kawasan Pesisir Waha Raya saat ini mengaplikasikan skenario 1 dengan tingkat pencemaran udara berdasarkan indikator

masing-masing CO₂ sebesar 85.142 kg/tahun; CH₄ sebesar 37.673 kg/tahun; dan GWP sebesar 876.286 kg/tahun. Skenario 1 merupakan skenario dengan tingkat emisi udara yang paling tinggi dibandingkan dengan skenario lainnya (Gambar 4).



Gambar 4. Konsentrasi emisi udara dari Pengelolaan Sampah di Kawasan Pesisir Waha Raya (A) Partikulat, (B) Gas Karbon Dioksida, (C) Gas Metana, (D)

Global Warming Potential



Gambar 5. Konsentrasi Pencemaran Air dari Pengelolaan Sampah di Kawasan

Pesisir Waha Raya (A) BOD; (B); COD; (C) SS; dan (D) Fe²⁺

Tingkat pencemaran air berdasarkan Gambar 5 juga menunjukkan bahwa skenario 1 menghasilkan tingkat pencemaran air yang paling tinggi dengan masing-masing indikator konsentrasi BOD sebesar 179 kg/tahun, COD 181 kg/tahun, tidak menghasilkan SS, dan Fe²⁺ sebesar 9 kg/tahun. Dengan demikian sistem pengelolaan saat ini di Wilayah Pesisir Waha Raya tidak sesuai diterapkan berdasarkan indikator emisi udara dan tingkat pencemaran air.

Rekomendasi Sistem Pengelolaan Sampah di Kawasan Pesisir Waha Raya

Setiap skenario pengelolaan sampah menghasilkan tingkat emisi berbeda-beda. Perbandingan reduksi emisi udara secara lengkap ditampilkan pada **Error! Reference source not found.**

Tabel 1 Perbandingan Reduksi Emisi Udara

Skenario	Konsentrasi Emisi Udara (kg/tahun)			
	PM	CO ₂	CH ₄	GWP
1	0	0	0	0
2	30	16,507	35,723	768,685
3	95	93,116	36,003	850,894
4	105	102,698	36,039	861,283

Berdasarkan **Error! Reference source not found.** skenario yang paling baik diterapkan di Wilayah Pesisir Waha Raya yaitu Skenario 4. Skenario 4 mampu mereduksi zat pencemar partikulat sebanyak 105 kg/tahun; CO₂ sebesar 102.698 kg/tahun; CH₄ 36.039 kg/tahun; dan GWP sebesar 861.283 kg/tahun. Meskipun demikian, pengelolaan sampah menggunakan Skenario 4 tetap menimbulkan emisi pencemar misalnya dalam produksi 1 kg kompos dapat melepas CO₂ sebesar 0,522 kg sehingga diperlukan penanganan CO₂ yang dihasilkan (Arafat, H. A., Jijakli, K., & Ahsan, A., 2013).

Skenario 4 juga mampu mereduksi pencemaran air yang paling baik dibandingkan dengan skenario lainnya, secara lengkap reduksi konsentrasi pencemaran air ditampilkan pada Tabel 2 sebagai berikut.

Tabel 2. Perbandingan Reduksi Pencemaran Air

Skenario	Konsentrasi Pencemaran Air (kg/tahun)			
	BOD	COD	SS	FE ²⁺
1	0	0	0	0
2	154	145	7	23
3	146	437	22	42
4	146	437	24	42

Skenario mampu mereduksi tingkat pencemaran masing-masing sebesar BOD sebesar 146 kg/tahun, COD sebesar 437 kg/tahun, SS sebesar 24 kg/tahun, dan Fe²⁺ sebesar 42 kg/tahun. Dengan demikian, sistem pengelolaan sampah yang paling sesuai berdasarkan karakteristik dan komposisi di Kawasan Pesisir Waha Raya adalah skenario 4 yaitu dengan proses daur ulang, pengolahan biologis, dan membawa residu ke TPA. Selain itu, dengan menerapkan skenario 4 maka mampu mengurangi timbulan sampah ke TPA sebesar 54,6%.

SIMPULAN

Jumlah timbulan sampah rata-rata yang dihasilkan oleh Kawasan Pesisir Waha Raya tergolong tinggi yaitu 1,875 ton/hari dan/atau 0,72 kg/o/hari. Rekomendasi sistem pengelolaan sampah yang tepat untuk Desa Pilot (Desa Wapiapia, Desa Waha, dan Desa Koroe Onowa) menurut aplikasi IWM2 lebih efektif menggunakan skenario 4 yaitu dengan proses daur ulang, pengolahan biologis, dan membawa residu ke TPA. Skenario ini mampu mengurangi jumlah sampah yang dibawa ke TPA sebesar 54,6%, mereduksi zat pencemar partikulat di udara sebanyak 104,8 kg/tahun; CO₂ sebesar 102.6 kg/tahun; CH₄ 36.0 kg/tahun; dan GWP 861.3 kg/tahun. Skenario ke- 4 juga mampu mereduksi tingkat

pencemaran air yaitu BOD sebesar 146 kg/tahun, COD sebesar 437 kg/tahun, SS sebesar 24 kg/tahun, dan Fe^{2+} sebesar 42 kg/tahun. Disisi lain hal tersebut mampu menghasilkan nilai ekonomi yang mengubah paradigma pengelolaan sampah dari “masalah” menjadi “potensi”. Sistem saat ini pengelolaan sampah di Wakatobi khususnya Kawasan Pesisir Waha Raya apabila dilanjutkan dapat terus menimbulkan permasalahan lingkungan karena tidak sesuai berdasarkan indikator pencemaran udara dan pencemaran air.

DAFTAR PUSTAKA

- Aprilia, A., Tezkaa, T., & Spaargarenb, G. (2013). Inorganic and hazardous solid waste management: Current status and challenges for Indonesia. *Procedia Environmental Sciences*, 640-647.
- Arafat, H. A., Jijakli, K., & Ahsan, A. (2013). Environmental performance and energy recovery potential of five processes for municipal solid waste treatment. *Journal of Cleaner Production*, 1-8.
- BPS Kabupaten Wakatobi. (2018a). Kabupaten Wakatobi dalam Angka 2018. Wakatobi: Badan Pusat Statistik Kabupaten Wakatobi.
- BPS Kabupaten Wakatobi. (2018b). Kecamatan Wangi-Wangi dalam Angka 2018. Wakatobi: Badan Pusat Statistik Kabupaten Wakatobi.
- Damanhuri, E. & T. Padmini. (2010). Diklat Kuliah Pengelolaan Sampah Program Studi Teknik Lingkungan Fakultas Teknik Sipil dan Lingkungan Intitut Teknologi Bandung. Bandung. 30 hal.
- Dhokhikaha, Y., Trihadiningruma, Y., & Sunaryo, S. (2015). Community participation in household solid waste reduction in Surabaya, Indonesia. *Resources, Conservation and Recycling*, 153-162.
- Eriksen, M., Lebreton, M., Carson, H., Thiel, M., Moore, C., Borerro, J., Galgani, F., Ryan, P., Raiser, J., (2014). Plastic Pollution in the World's Oceans: More than 5 Trillion Plastic Pieces Weighing over 250,000 Tons Afloat at Sea. *Plos One*, 12.
- Firmansyah, F., Musthofa, A., Estradivari, Damora, A., Handayani, C. Ahmadia, & G. Jill Haris. (2016). Satu dekade pengelolaan Taman Nasional Wakatobi: Keberhasilan dan tantangan konservasi laut. WWF-ID, Jakarta, Indonesia.
- Foale, S., Adhuri, D., Aliño, P., Allison, E. H., Andrew, N., Cohen, P., Evans, L., Fabinyi, M., Fidelman, P., Gregory, C., Stacey, N., Tanzer, J., & Weeratunge, N. (2013). Food security and the Coral Triangle Initiative. *Marine Policy*. 38. 174-183.
- Komala, P. S., Aziz, R., & Wahyudi, B. (2013). Studi Timbulan dan Karakteristik Sampah Kota Padang Panjang. *Teknika*, 20 (1).
- Masjhoer, J. M. (2018). Partisipasi Pelaku Usaha Pariwisata dalam Pengelolaan Sampah di Pantai Pulang Sawal, Kabupaten Gunungkidul, Yogyakarta. *Jurnal Pariwisata Terapan*, 2(2), 122-133.
- Putri, I. T. E., Mardani, N. K., & Pujaastawa, I. B. G. (2012). Studi Sistem Pengelolaan Sampah Berbasis Komunitas Adat Di Desa Adat Seminyak Kecamatan Kuta Kabupaten Badung. *Ecotrophic: Jurnal Ilmu Lingkungan (Journal of Environmental Science)*, 5(1).
- Sahil, J., Al Muhdar, M. H. I., Rohman, F., & Syamsuri, I. (2016). Sistem pengelolaan dan upaya penanggulangan sampah di Kelurahan Dufa-Dufa Kota Ternate. *Bioedukasi*, 4(2).
- Smith, D. B., & Almquist, C. B. (2014). The anaerobic co-digestion of fruit and vegetable waste and horse manure mixtures in a bench-scale, two-phase

- anaerobic digestion system. *Environmental Technology*, 859-867.
- Suryani, A.S. (2014). Peran bank sampah dalam efektivitas pengelolaan sampah (studi kasus bank sampah malang). *Aspirasi*, 5: 71-84.
- UNESCO. (2012). Ecological Sciences for Sustainable Development [Online]. United Nations Educational, Scientific and Cultural Organization. Available: <http://www.unesco.org/new/en/natural-sciences/environment/ecologicalscience/s/biosphere-reserves/asia-and-the-pacific/indonesia/wakatobi/> [Accessed 3 April 2019]
- Veron, J. C. E., DeVantier, L. M., Turak, E., Green, A. L., Kininmonth, S., Stafford-Smith, M., & Peterson, N. (2011). The coral triangle. In *Coral reefs: an ecosystem in transition* (pp. 47-55). *Springer*, Dordrecht.
- Wibowo, R. (2015). Arahana Perencanaan Infrastruktur Lingkungan di Kawasan Wisata Jungkat Beach, Desa Jungkat, Kecamatan Siantan, Kabupaten Pontianak, Kalimantan Barat. *Jurnal Teknologi Lingkungan Lahan Basah*, 1(1).
- Yulius, Novianti, N., Arifin, T., Salim, H.L., Ramdhan, M., & Purbani, D. (2015). Distribusi Spasial Terumbu Karang di Perairan Pulau Wangi-Wangi Wakatobi. *Jurnal Ilmu dan Teknologi Kelautan Tropis*. (7) 56-69.