



Evaluasi Pirolisis Sampah Plastik Rumah Tangga dengan Reaktor Listrik 2000 Watt dalam Kerangka Ekonomi Sirkular

Senki Desta Galuh^{1,2*}, Latifa Mirzatika Al-Rosyid¹, Itsbatun Nawafil¹, Rafli Maulana Faqi¹

¹Program Studi Teknik Lingkungan, Fakultas Teknik, Universitas Muhammadiyah Jember, Jalan Karimata No. 49, Sumbersari, Jember, Jawa Timur 68121

²Program Studi Teknik Sipil, Fakultas Teknik, Universitas Muhammadiyah Jember, Jalan Karimata No. 49, Sumbersari, Jember, Jawa Timur 68121

*Korespondensi: senkidesta@unmuhjember.ac.id

Abstrak. Produksi plastik global mencapai lebih dari 400 juta ton per tahun, dengan 40% di antaranya berupa plastik sekali pakai yang berumur pakai sangat singkat. Akumulasi limbah plastik telah menimbulkan masalah lingkungan serius, termasuk pencemaran laut, pelepasan mikroplastik, dan peningkatan beban Tempat Pembuangan Akhir (TPA). Salah satu solusi pengelolaan limbah plastik yang sejalan dengan konsep ekonomi sirkular adalah pirolisis, yaitu dekomposisi termal plastik pada suhu tinggi tanpa oksigen yang menghasilkan residu padat (*char*), minyak pirolitik, dan gas sintetis. Penelitian ini bertujuan mengevaluasi performa reaktor pirolisis berbasis listrik berdaya 2000 watt terhadap delapan jenis plastik rumah tangga yang umum dijumpai di Indonesia, yaitu LDPE, HDPE, PET (galon dan gelas), PE, PP, serta PS (styrofoam dan padat). Proses dilakukan pada suhu 450–500 °C selama 4–5 jam, dengan pengukuran residu padat, residu cair, konsumsi energi, serta biaya operasional. Hasil penelitian menunjukkan variasi signifikan: polypropylene (PP) menghasilkan residu padat tertinggi (1.600 gram) dengan residu cair 90 mL, sedangkan styrofoam (PS) menghasilkan residu cair tertinggi (130 mL) dengan residu padat hanya 90 gram. PET menghasilkan residu cair terendah (3–30 mL), sementara LDPE dan HDPE menunjukkan potensi sebagai sumber *char* (834–900 gram). Konsumsi energi bersifat linier terhadap durasi proses, yaitu 8 kWh untuk 4 jam (Rp13.596) dan 10 kWh untuk 5 jam (Rp16.995). Teknologi pirolisis listrik ini terbukti hemat energi, menghasilkan produk bernilai guna, dan relevan dalam mendukung pencapaian SDGs terkait konsumsi berkelanjutan serta mitigasi perubahan iklim.

Kata Kunci: ekonomi sirkular, pirolisis, plastik rumah tangga, residu padat, SDGs

1. PENDAHULUAN

Produksi plastik global menunjukkan tren peningkatan yang konsisten setiap tahunnya, dengan estimasi melebihi 400 juta ton per tahun, di mana lebih dari 40% di antaranya merupakan plastik sekali pakai dengan umur pakai sangat singkat (Geyer, Jambeck, & Law, 2017; Jambeck et al., 2015). Akibatnya, sebagian besar limbah plastik tersebut tidak tertangani secara memadai dan berakhir mencemari ekosistem terestrial dan akuatik. *United Nations Environment Programme* (UNEP, 2018) mencatat bahwa lebih dari 8 juta ton plastik memasuki lautan setiap tahun, menyebabkan kerusakan ekologis yang signifikan terhadap keanekaragaman hayati laut serta mengancam ketahanan pangan masyarakat pesisir (Rochman et al., 2015; Lebreton et al., 2019).

Di tingkat nasional, Indonesia menjadi salah satu penyumbang sampah plastik laut terbesar di dunia (Jambeck et al., 2015), di mana pengelolaan limbah plastik masih menghadapi tantangan struktural, seperti terbatasnya infrastruktur pengumpulan dan daur ulang, rendahnya partisipasi masyarakat, serta minimnya insentif ekonomi untuk pengurangan sampah (KLHK, 2021; Rahmadi et al., 2023). Dampaknya adalah peningkatan akumulasi limbah di Tempat Pembuangan Akhir (TPA), pencemaran lingkungan akibat pembakaran terbuka (*open burning*), serta pelepasan mikroplastik yang berpotensi masuk ke rantai makanan (Setyawati et al., 2020; Syakti et al., 2017; Willis et al., 2018).

Sebagai respons terhadap krisis tersebut, pendekatan ekonomi sirkular (*circular economy*) telah menjadi paradigma baru dalam pengelolaan sumber daya dan limbah. Pendekatan ini menekankan prinsip *design out waste*, memperpanjang siklus hidup material, serta regenerasi sistem alam (Ellen MacArthur Foundation, 2017). *Circular economy* mengupayakan sistem produksi dan konsumsi yang efisien melalui pemanfaatan ulang, daur ulang, dan konversi limbah menjadi sumber daya baru (Kirchherr, et al., 2017; Geissdoerfer et al., 2017).

Salah satu teknologi yang sesuai dengan prinsip tersebut adalah pirolisis termal, yakni proses dekomposisi termal limbah plastik pada suhu tinggi dalam kondisi tanpa oksigen, yang menghasilkan tiga produk utama: residu padat (*char*), minyak pirolitik (*pyro-oil*), dan gas sintetis (Sharuddin et al., 2016; Al-Salem et al., 2017). Tidak seperti pembakaran konvensional yang menghasilkan emisi tinggi, pirolisis menghasilkan limbah gas yang relatif minimal dan dapat dikelola dengan teknologi kontrol emisi (Sogancioglu & Ahmetli, 2017; Fakhrhoseini & Dastanian, 2013).

Pemanfaatan energi listrik sebagai sumber panas dalam pirolisis semakin relevan dalam konteks transisi energi rendah karbon. Seiring dengan peningkatan penetrasi energi terbarukan di sektor kelistrikan, pirolisis berbasis listrik dapat dikategorikan sebagai teknologi hijau yang berkontribusi terhadap mitigasi perubahan iklim (IEA, 2020; UNDP, 2022). Implementasi teknologi ini juga mendukung *Sustainable Development Goals* (SDGs), khususnya tujuan 12 (konsumsi dan produksi yang bertanggung jawab), tujuan 13 (aksi terhadap perubahan iklim), dan tujuan 11 (kota dan permukiman yang berkelanjutan) (UNEP, 2021; OECD, 2020).

Studi-studi sebelumnya menunjukkan bahwa pirolisis memiliki nilai ekonomi dan lingkungan yang tinggi, baik dalam skala industri maupun komunitas. Misalnya, Miandad et al. (2019) menegaskan potensi pirolisis sebagai teknologi desentralisasi berbasis masyarakat di negara berkembang. Produk minyak pirolitik yang dihasilkan dapat digunakan sebagai bahan bakar alternatif atau diolah menjadi bahan baku kimia (Uzoejinwa et al., 2018), sementara residu karbonnya dapat dimanfaatkan sebagai adsorben aktif untuk pengolahan limbah cair atau bahkan sebagai bahan konstruksi ringan (Kurniawan et al., 2020; Memon et al., 2022).

Penelitian ini secara khusus bertujuan untuk mengevaluasi performa teknologi pirolisis berbasis listrik berdaya 2000 watt dalam mengolah delapan jenis plastik rumah tangga yang umum dijumpai di Indonesia, meliputi LDPE, HDPE, PET, PE, PS, dan PP. Evaluasi dilakukan melalui analisis rendemen residu padat dan cair, efisiensi konversi energi, serta estimasi biaya operasional berdasarkan tarif listrik nasional tahun 2024 sebesar Rp1.699,53/kWh (ESDM, 2024). Penelitian ini diharapkan memberikan kontribusi signifikan terhadap pengembangan teknologi pengelolaan limbah plastik yang terjangkau, efisien, dan selaras dengan prinsip *circular economy*, sekaligus mendukung pencapaian *SDGs* di tingkat lokal dan nasional.

2. METODOLOGI PENELITIAN

Penelitian ini dilaksanakan secara eksperimental di Laboratorium Teknik Lingkungan Universitas Muhammadiyah Jember dengan tujuan untuk mengevaluasi efisiensi proses pirolisis terhadap berbagai jenis limbah plastik rumah tangga. Sampel yang digunakan mencakup delapan jenis plastik yang umum ditemukan dalam kehidupan sehari-hari, yakni *Low-Density Polyethylene* (LDPE), *Styrofoam* yang berbahan dasar *Polystyrene* (PS), galon Le Mineral dan gelas minum Aqua yang terbuat dari *Polyethylene Terephthalate* (PET), sedotan dari *Polyethylene* (PE), jirigen dari *High-Density Polyethylene* (HDPE), polypropylene (PP), serta *polystyrene* padat. Setiap jenis plastik terlebih dahulu mengalami tahap praproses berupa pencucian, pengeringan, dan penimbangan untuk memastikan homogenitas kondisi awal sampel sebelum perlakuan.

Proses pirolisis dilakukan menggunakan reaktor tertutup berbasis listrik berdaya 2000 watt, yang dirancang untuk melakukan pemanasan tanpa keberadaan oksigen (anaerobik). Suhu pemanasan dijaga secara konstan dalam rentang 450°C hingga 500°C, menyesuaikan dengan karakteristik termal masing-masing jenis plastik. Waktu pirolisis ditetapkan antara 4 hingga 5 jam tergantung pada titik leleh dan tingkat dekomposisi plastik yang bersangkutan. Pengukuran konsumsi energi dilakukan dengan menggunakan rumus dasar energi listrik, yaitu $E = P \times t$, di mana E adalah energi dalam kilowatt-jam (kWh), P adalah daya (2 kW), dan t adalah waktu dalam jam. Selanjutnya, biaya operasional dihitung dengan mengalikan konsumsi energi tersebut dengan tarif listrik nasional tahun 2024 sebesar Rp1.699,53 per kWh. Parameter keluaran yang diukur meliputi jumlah residu padat (*char*) dan residu cair (*oil*) yang dihasilkan dari masing-masing jenis plastik, sebagai indikator efisiensi konversi termal dan potensi manfaat residu dalam kerangka ekonomi sirkular.

3. HASIL DAN DISKUSI

Tabel di atas menyajikan hasil pirolisis termal terhadap delapan jenis plastik rumah tangga menggunakan reaktor listrik berdaya 2000 watt dengan suhu pemanasan berkisar antara 450°C hingga 500°C dan waktu proses selama 4 hingga 5 jam. Setiap jenis plastik menunjukkan karakteristik degradasi termal yang berbeda, yang ditunjukkan oleh variasi dalam jumlah residu padat dan residu cair yang dihasilkan, serta konsumsi energi dan biaya operasional yang relatif konstan.

Plastik jenis *Low-Density Polyethylene* (LDPE) dipirolisis selama 5 jam pada suhu 450°C dan menghasilkan 834 gram residu padat serta 39 mililiter residu cair, dengan total konsumsi energi sebesar 10 kWh, atau setara dengan Rp16.995. Hasil residu padat dari LDPE tergolong tinggi, mencerminkan stabilitas termal dan kecenderungan senyawa polimer untuk membentuk fraksi karbon padat dalam suhu pirolitik menengah. *Styrofoam* (PS), yang diproses pada suhu yang sama selama 4 jam, menghasilkan residu padat paling rendah (90 gram) namun residu cair tertinggi (130 ml). Hal ini menunjukkan bahwa PS lebih mudah mengalami fraksinasi termal menjadi senyawa volatil atau minyak pirolitik, yang dapat diindikasikan sebagai potensi konversi menjadi bahan bakar cair. Total energi yang digunakan sebesar 8 kWh dengan biaya sebesar Rp13.596.

Galon Le Mineral (PET) dan Gelas Aqua (PET), keduanya diproses selama 4 jam pada suhu 450°C, menghasilkan 460 gram dan 475 gram residu padat, serta 3 ml dan 30 ml residu cair secara berurutan. Meskipun berasal dari jenis plastik yang sama yaitu *Polyethylene Terephthalate* (PET), perbedaan struktur fisik dan ketebalan kemasan kemungkinan menyebabkan perbedaan hasil pirolisis. Galon menunjukkan kecenderungan menghasilkan fraksi cair yang jauh lebih rendah

dibanding gelas, dengan biaya listrik yang sama. Sedotan (PE) menghasilkan 650 gram residu padat dan hanya 5 ml residu cair, mengindikasikan bahwa jenis polyethylene yang lebih tipis dan ringan pun tetap memiliki kecenderungan tinggi terhadap pembentukan residu karbon padat. Nilai energi dan biaya tetap konsisten yakni 8 kWh dan Rp13.596.

HDPE (*High-Density Polyethylene*) yang digunakan dalam bentuk jirigen menunjukkan efisiensi termal yang baik dengan 900 gram residu padat dan 35 ml residu cair, dengan konsumsi energi sebesar 10 kWh. HDPE memiliki struktur polimer yang lebih rapat dibanding LDPE, sehingga menghasilkan lebih banyak char dalam kondisi pirolisis tertutup. *Polypropylene* (PP) merupakan plastik dengan hasil residu padat tertinggi sebesar 1600 gram, serta residu cair sebesar 90 ml, menjadikannya jenis plastik dengan efisiensi konversi massa paling tinggi dalam studi ini. Diproses pada suhu lebih tinggi yaitu 500°C selama 4 jam, PP menunjukkan kestabilan terhadap suhu dan potensi maksimal sebagai sumber padatan karbon (char), yang dapat dikembangkan menjadi briket, adsorben, atau bahan bakar padat.

Polystyrene (PS) selain styrofoam juga menunjukkan hasil yang cukup tinggi yaitu 660 gram residu padat dan 100 ml residu cair, dengan pola karakteristik termal yang mirip dengan *Styrofoam*, namun dengan proporsi padatan yang lebih besar. Hal ini menunjukkan bahwa meskipun keduanya berbasis senyawa styrene, struktur fisik dan densitas material memengaruhi output akhir. Dari sisi energi dan biaya, seluruh jenis plastik yang diproses selama 4 jam mengonsumsi energi sebesar 8 kWh dengan biaya Rp13.596, sedangkan yang diproses selama 5 jam (LDPE dan HDPE) memerlukan energi sebesar 10 kWh dengan biaya Rp16.995. Ini menunjukkan bahwa penggunaan energi relatif linier terhadap waktu proses dan tidak dipengaruhi oleh jenis plastik yang diproses, karena beban listrik mesin tetap pada 2000 Watt.

Secara umum, hasil ini menunjukkan bahwa jenis plastik sangat menentukan efisiensi hasil pirolisis, baik dalam hal kuantitas residu padat maupun cair. PP dan HDPE cenderung menghasilkan residu padat tinggi, sedangkan PS dalam bentuk Styrofoam memberikan hasil residu cair paling tinggi. Temuan ini memberikan dasar pemilihan jenis plastik untuk tujuan tertentu dalam pengelolaan limbah berbasis pirolisis, seperti produksi bahan bakar cair, briket karbon, maupun adsorben. Temuan ini memperkuat relevansi pendekatan pirolisis dalam kerangka ekonomi sirkular, karena memungkinkan pemanfaatan ulang limbah menjadi produk bernilai guna, serta mendukung pencapaian SDGs 12 terkait konsumsi dan produksi berkelanjutan, serta SDGs 13 dalam mitigasi emisi gas rumah kaca melalui teknologi rendah karbon.

4. KESIMPULAN

Berdasarkan hasil penelitian, pirolisis delapan jenis sampah plastik menggunakan mesin listrik berdaya 2000 watt menunjukkan variasi signifikan dalam hasil residu padat dan cair, serta efisiensi energi yang konsisten. Jenis plastik polypropylene (PP) menghasilkan residu padat tertinggi sebesar 1.600 gram dan residu cair sebanyak 90 mL dalam waktu 4 jam pada suhu 500°C, menjadikannya jenis plastik paling potensial untuk produksi karbon padat. Sebaliknya, styrofoam (PS) menghasilkan residu cair tertinggi sebesar 130 mL meskipun hanya menghasilkan 90 gram residu padat, menunjukkan konversi termal yang dominan ke fase cair. Plastik jenis PET dalam bentuk galon dan gelas menghasilkan residu cair terendah, masing-masing sebesar 3 mL dan 30 L, dengan residu padat 460 gram dan 475 gram. Efisiensi energi proses pirolisis bersifat linier terhadap durasi waktu, di mana proses selama 4 jam membutuhkan 8 kWh dengan biaya Rp13.596, sementara proses selama 5 jam membutuhkan 10 kWh dengan biaya Rp16.995, berdasarkan tarif

listrik Rp1.699,53 per kWh. Selain itu, plastik jenis HDPE dan LDPE juga menunjukkan hasil residu padat yang tinggi, masing-masing 900 gram dan 834 gram, serta residu cair sebesar 35 mL dan 39 mL. Seluruh proses pirolisis dilakukan tanpa emisi terbuka, bersifat hemat energi, dan menghasilkan produk sekunder yang dapat dimanfaatkan kembali sebagai bahan baku atau energi alternatif. Dengan biaya operasional di bawah Rp17.000 per perlakuan dan hasil residu yang bernilai guna, teknologi pirolisis listrik ini sangat relevan diterapkan dalam kerangka ekonomi sirkular dan berkontribusi nyata terhadap pencapaian Tujuan Pembangunan Berkelanjutan (SDGs) 12 tentang konsumsi dan produksi yang bertanggung jawab, serta SDGs 13 tentang aksi terhadap perubahan iklim.

UCAPAN TERIMA KASIH

Penulis menyampaikan terima kasih kepada para mahasiswa yang telah membantu dalam pelaksanaan penelitian ini, khususnya dalam kegiatan pengumpulan data, pengamatan lapangan, dan penyusunan hasil. Penghargaan yang sama juga penulis sampaikan kepada para laboran yang dengan penuh tanggung jawab memberikan dukungan teknis, membantu pengoperasian peralatan, serta memastikan kelancaran kegiatan di laboratorium. Dukungan dan kerja sama yang diberikan sangat berarti bagi terselesaikannya penelitian ini.

REFERENSI

- Al-Salem, S. M., Lettieri, P., & Baeyens, J. (2017). Recycling and recovery routes of plastic solid waste (PSW): A review. *Waste Management*, 29(10), 2625–2643. <https://doi.org/10.1016/j.wasman.2009.06.004>
- Ellen MacArthur Foundation. (2017). *Towards the circular economy: Economic and business rationale for an accelerated transition*. <https://ellenmacarthurfoundation.org>
- ESDM. (2024). *Harga tarif tenaga listrik tahun 2024*. Kementerian Energi dan Sumber Daya Mineral Republik Indonesia. [URL jika tersedia]
- Fakhrhoseini, S. M., & Dastanian, M. (2013). Predicting pyrolysis products of PE, PP, and PET using NRTL activity coefficient model. *Journal of Chemistry*, 2013, 1–9. <https://doi.org/10.1155/2013/487676>
- Geissdoerfer, M., Savaget, P., Bocken, N. M. P., & Hultink, E. J. (2017). The circular economy – A new sustainability paradigm? *Journal of Cleaner Production*, 143, 757–768. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2016.12.048>
- Geyer, R., Jambeck, J. R., & Law, K. L. (2017). Production, use, and fate of all plastics ever made. *Science Advances*, 3(7), e1700782. <https://doi.org/10.1126/sciadv.1700782>
- International Energy Agency (IEA). (2020). *World energy outlook 2020*. <https://www.iea.org/reports/world-energy-outlook-2020>
- Jambeck, J. R., Geyer, R., Wilcox, C., Siegler, T. R., Perryman, M., Andrady, A., Narayan, R., & Law, K. L. (2015). Plastic waste inputs from land into the ocean. *Science*, 347(6223), 768–771. <https://doi.org/10.1126/science.1260352>
- Kementerian Lingkungan Hidup dan Kehutanan (KLHK). (2021). *Statistik lingkungan hidup Indonesia 2021*. [URL jika tersedia]
- Kirchherr, J., Reike, D., & Hekkert, M. (2017). Conceptualizing the circular economy: An analysis of 114 definitions. *Resources, Conservation and Recycling*, 127, 221–232. <https://doi.org/10.1016/j.resconrec.2017.09.005>

- Kurniawan, T. A., Lo, W. H., Chan, G. Y. S., & Babel, S. (2020). Potential application of pyrolytic char from waste plastics for environmental remediation. *Bioresource Technology Reports*, 11, 100456. <https://doi.org/10.1016/j.biteb.2020.100456>
- Lebreton, L. C. M., Slat, B., Ferrari, F., Sainte-Rose, B., Aitken, J., Marthouse, R., Hajbane, S., Cunsolo, S., Schwarz, A., Levivier, A., Noble, K., Debeljak, P., Maral, H., Schoeneich-Argent, R., Brambini, R., & Reisser, J. (2019). Evidence that the Great Pacific Garbage Patch is rapidly accumulating plastic. *Scientific Reports*, 9(1), 1–15. <https://doi.org/10.1038/s41598-018-22939-w>
- Memon, M. A., Pirzada, T. J., Memon, S. A., Qureshi, L. A., & Shaikh, M. A. (2022). Valorization of waste plastic pyrolytic char in construction materials: A review. *Construction and Building Materials*, 324, 126648. <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2022.126648>
- Miandad, R., Rehan, M., Barakat, M. A., Aburizaiza, A. S., Ismail, I. M. I., & Nizami, A. S. (2019). Catalytic pyrolysis of plastic waste: Moving toward pyrolysis based biorefineries. *Frontiers in Energy Research*, 7, 27. <https://doi.org/10.3389/fenrg.2019.00027>
- Organisation for Economic Co-operation and Development (OECD). (2020). *The circular economy in cities and regions: Synthesis report*. <https://doi.org/10.1787/10ac6ae4-en>
- Rahmadi, D., Yulianti, R., & Sunarto. (2023). Challenges in municipal plastic waste management in Indonesia: Policy review and socio-cultural perspectives. *Waste Management & Research*, 41(2), 123–135. <https://doi.org/10.1177/0734242X231162679>
- Rochman, C. M., Browne, M. A., Halpern, B. S., Hentschel, B. T., Hoh, E., Karapanagioti, H. K., Rios-Mendoza, L. M., Takada, H., Teh, S., & Thompson, R. C. (2015). Policy: Classify plastic waste as hazardous. *Nature*, 494(7436), 169–171. <https://doi.org/10.1038/494169a>
- Setyawati, R., Hadiyanto, H., & Purwanto, P. (2020). The emission of open burning activity of domestic waste in Indonesia: Estimation and possible mitigation. *Environmental Pollution*, 267, 115360. <https://doi.org/10.1016/j.envpol.2020.115360>
- Sharuddin, S. D. A., Abnisa, F., Daud, W. M. A. W., & Aroua, M. K. (2016). A review on pyrolysis of plastic wastes. *Energy Conversion and Management*, 115, 308–326. <https://doi.org/10.1016/j.enconman.2016.02.037>
- Sogancioglu, M., Yel, E., & Ahmetli, G. (2017). Pyrolysis of waste high-density polyethylene (HDPE) and low-density polyethylene (LDPE) plastics and process optimization. *Journal of the Energy Institute*, 90(6), 825–837. <https://doi.org/10.1016/j.joei.2016.04.002>
- Syakti, A. D., Bouhroum, R., Hidayati, N. V., Koenawan, C. J., Boulkamh, A., Sulistyo, I., Lebarillier, S., Doumenq, P., & Pycke, B. F. G. (2017). Beach macro-litter monitoring and floating microplastic in a coastal area of Indonesia. *Marine Pollution Bulletin*, 122(1–2), 217–225. <https://doi.org/10.1016/j.marpolbul.2017.06.046>
- United Nations Development Programme (UNDP). (2022). *Sustainable development goals report 2022: Towards a resilient recovery*. <https://unstats.un.org/sdgs/report/2022/>
- United Nations Environment Programme (UNEP). (2018). *Single-use plastics: A roadmap for sustainability*. <https://www.unep.org/resources/report/single-use-plastics-roadmap-sustainability>
- United Nations Environment Programme (UNEP). (2021). *Turning off the tap: How the world can end plastic pollution and create a circular economy*. <https://www.unep.org/resources/turning-plastic-tap>

- Uzoejinwa, B. B., He, X., Wang, S., El-Fatah Abomohra, A., Hu, Y., & Wang, Q. (2018). Pyrolysis of plastic wastes for fuels. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 90, 379–408. <https://doi.org/10.1016/j.rser.2018.03.045>
- Willis, K., Maureaud, C., Wilcox, C., & Hardesty, B. D. (2018). How successful are waste abatement campaigns and government policies at reducing plastic waste into the marine environment? *Marine Policy*, 96, 243–249. <https://doi.org/10.1016/j.marpol.2018.02.012>