

TINJAUAN: PEMBUANGAN DAN PENGELOLAAN LIMBAH DI KAPAL PESIAR

REVIEW: THE DISPOSAL AND MANAGEMENT OF WASTE ON CRUISE SHIPS

Dita Romadhoni^{1*}, Salfauqi Nurma², Muhammad David¹, Thaibil Anwar²

¹Program Studi Sistem Kelistrikan Kapal, Politeknik Pelayaran Malahayati, Aceh besar, Indonesia

²Program Studi Permesianan Kapal, Politeknik Pelayaran Malahayati, Aceh besar, Indonesia

*email: ditaromadhoni@poltekpelaceh.ac.id

ABSTRAK

Perkembangan industri kapal pesiar yang pesat sebanding dengan limbah yang dihasilkan oleh kapal pesiar yang berpotensi menyebabkan masalah lingkungan jika tidak dikaji dengan baik. Penelitian ini bertujuan untuk mengidentifikasi jenis limbah dan menguraikan cara penanganan setiap jenis limbah tersebut, meninjau cara optimalisasi pengelolaan limbah, dan mengidentifikasi personil yang bertanggungjawab terhadap pengelolaan limbah yang ada di kapal pesiar. Penelitian ini dilakukan dengan menggunakan metode studi literatur menggunakan bahan kajian (pustaka) dari tahun 2007 sampai 2023 yang bersumber dari buku, laporan, jurnal nasional dan internasional. Studi ini terdiri dari tiga tahap: perencanaan, pelaksanaan, dan pelaporan. Hasil studi kajian menemukan bahwa limbah yang dihasilkan di kapal pesiar sangat beragam. Limbah cairan berminyak dapat dibuang ke laut jika telah diolah dan memenuhi level standar (<15 ppm). Limbah MCK dapat dibuang ke laut jika telah dilakukan pengolahan (fisika, biologis, dan disinfeksi) dan proses pembuangan ke laut saat kapal berada lebih dari 12 mil laut dari daratan terdekat dan kapal bergerak dengan kecepatan minimal 6 knot. Limbah bersifat padat (plastik, kaca, selulosa, sampah operasional, abu insenerator, minyak jelantah, dan sampah elektornik) tidak boleh dibuang ke laut dan harus dikumpulkan ke PRF (*port reception facilities*). Sampah makanan yang telah dihancurkan (*digiling*) menggunakan mesin penggiling (disebut *pulper*) menjadi potongan-potongan yang sangat kecil dengan ukuran ≤ 20 mm dapat dibuang ke laut saat kapal berada lebih dari 12 mil laut dari daratan terdekat dan kapal bergerak dengan kecepatan minimal 6 knot. Produksi syngas dari berbagai jenis limbah adalah metode optimalisasi limbah yang paling efektif, yang memungkinkan penghematan tertinggi sekitar 780 k€/tahun, konsumsi bahan bakar sekitar 900 ton/tahun, dan emisi CO₂ sekitar 3000 ton/tahun. Setiap personil yang ada di kapal pesiar bertanggungjawab terhadap pencegahan dan pengelolaan limbah yang ada di kapal pesiar mulai dari kapten hingga penumpang kapal pesiar.

Kata kunci: kajian; pembuangan; pengelolaan; limbah; kapal pesiar

ABSTRACT

The exponential growth of the cruise ship business is directly correlated with the amount of waste produced by cruise ships, which can create environmental issues if not thoroughly examined. This study aims to categorize the many types of garbage and provide detailed instructions on the appropriate methods for managing each type. Additionally, it intends to evaluate strategies for maximizing efficiency in waste management and determine the individuals accountable for overseeing waste management operations on cruise ships. The research was conducted through a literature review approach, utilizing study materials (literature) from 2007 to 2023 obtained from books, publications, and national and international periodicals. The study comprised three distinct phases: planning, implementation, and reporting. The review study discovered that the garbage produced on cruise ships varies. Treated oily liquid waste that fulfills regulation levels (<15 ppm) can be legally dumped into the sea. Restroom waste can be released into the water if it has undergone treatment (including physical, biological, and disinfecting processes) and is discharged while the vessel is at least 12 nautical miles away from the nearest land and is moving at a

speed of at least 6 knots. It is prohibited to dispose of solid trash (such as plastics, glass, cellulose, operational waste, incinerator ash, used cooking oil, and electronic garbage) into the water, and it must be gathered at port reception facilities (PRFs). Crushed food waste, reduced to bits smaller than or equal to 20 mm in size using a grinding machine known as a pulper, can be disposed of into the water when the vessel is at least 12 nautical miles away from the nearest land and is moving at a speed of at least 6 knots. The conversion of various waste materials into syngas is the most efficient approach for optimizing waste, resulting in significant cost savings of approximately 780 k€ per year, a reduction in fuel consumption of about 900 tonnes per year, and a decrease in CO₂ emissions of approximately 3000 tonnes per year. Every cruise ship staff member, including the captain and passengers, has a duty to prevent and manage trash on board the ship.

Keywords: review; disposal; management; waste; cruise ship

1. Pendahuluan

Pencemaran laut merupakan salah satu isu lingkungan saat ini. Berbagai jenis polutan, seperti sampah, minyak, plastik, dan bahan kimia beracun, mencemari habitat laut (Beiras, 2018). Pencemaran laut mempengaruhi ekosistem laut, kesehatan manusia, hingga perekonomian. Sebagian besar limbah di laut berasal dari daratan. Namun, persentasenya berbeda-beda di setiap wilayah. Sumber lain yang berpotensi menyumbang limbah di laut adalah aktivitas di kapal, salah satunya kapal pesiar (Kotrikla et al., 2021).

Kapal pesiar sering disebut sebagai kota terapung yang menampung antara 1000 hingga 5000 penumpang serta awak kapal yang bertugas melayani penumpang dan merawat Kapal (Cervený et al., 2020). Kapal-kapal ini menyediakan fasilitas yang setara dengan hotel resor mewah. Oleh karena itu, kapal pesiar mampu menghasilkan berbagai jenis limbah (Sanches et al., 2020).

Sebuah kapal pesiar dengan kapasitas 3000 penumpang menghasilkan 795 m³ sampah, 3785 m³ air kelabu, 95 m³ air berminyak, dan 8 ton limbah padat setiap minggunya (Copeland, 2011). Dengan perkembangan industri kapal pesiar yang pesat, diperkirakan masalah limbah yang dihasilkan oleh kapal pesiar akan semakin meningkat di masa mendatang (Toneatti et al., 2020).

Pendekatan pengelolaan limbah modern mengadopsi prinsip mencegah lebih baik daripada mengobati (Gharfalkar et al., 2015). Prinsip ini juga diterapkan pada pengelolaan sampah Kapal (Argüello, 2020), namun kepatuhan terhadap praktik berkelanjutan di atas kapal sering kali ditentukan oleh komitmen operator kapal terhadap lingkungan dan ketekunan kru kapal (Butt, 2007).

Pertumbuhan industri pariwisata dan peningkatan jumlah penumpang kapal pesiar

berkontribusi pada peningkatan jumlah sampah padat yang dihasilkan (CANARI, 2019). Pengendalian pencemaran akan mendorong pertumbuhan kegiatan ekonomi yang berkelanjutan (Diez et al., 2019). Untuk mendukung pariwisata pesisir yang berkelanjutan dan melindungi lingkungan alam pesisir, pengelolaan sampah laut sangat penting (Lukoseviciute & Panagopoulos, 2021).

Terkait pengelolaan sampah di kapal pernah ditinjau dalam beberapa penelitian sebelumnya. Manajemen pengelolaan sampah padat di kapal kargo pernah ditinjau oleh (Zakri & Anshari, 2023). Dalam sebuah tinjauan terbaru tentang pengelolaan sampah padat yang dihasilkan kapal pesiar (Sanches et al., 2020), ditemukan bahwa, meskipun ada peningkatan yang signifikan dalam artikel yang diterbitkan dari tahun 2014 dan seterusnya, yang menguraikan pertumbuhan industri kapal pesiar yang signifikan, masalah penanganan limbah secara keseluruhan jenis limbah di kapal pesiar masih jarang dibahas dan dipelajari secara akademis. Oleh karena itu, perlu dilakukan tinjauan secara komprehensif mengenai segala jenis limbah dan cara pengelolaannya di kapal pesiar.

Penelitian studi literatur ini bertujuan untuk mengidentifikasi jenis limbah dan menguraikan cara penanganan setiap jenis limbah tersebut, meninjau cara optimalisasi pengelolaan limbah, dan mengidentifikasi personil yang bertanggungjawab terhadap pengelolaan limbah yang ada di kapal pesiar.

2. Metode Penelitian

Penelitian ini dilakukan melalui kajian literatur, juga dikenal sebagai *literature review*. Metode ini mengumpulkan dan mengevaluasi penelitian sebelumnya tentang topik yang difokuskan tentang limbah dan pengelolaannya di kapal pesiar.

Proses penelitian ini terdiri dari tiga tahap: perencanaan, pelaksanaan, dan pelaporan. Tahap perencanaan dimulai dengan menentukan kebutuhan untuk tinjauan. Tahap pelaksanaan termasuk mencari bahan utama untuk tinjauan, memilih dan memilih bahan untuk tinjauan, mengumpulkan data dari bahan tersebut, menilai kualitas bahan tersebut, dan menyusun data. Informasi umum seperti penulis, tahun publikasi, jenis limbah, pengelolaan limbah, dan optimalisasi pengelolaan limbah kapal pesiar digunakan untuk memilih topik review. Terakhir, tahap pelaporan mencakup proses menulis dan mengembangkan ide gagasan untuk manuskrip.

Bahan pokok penelitian ini menggunakan literatur yang bersumber dari buku, laporan, jurnal nasional dan internasional dari tahun 2007 sampai 2023.

3. Hasil dan Pembahasan

Jenis limbah yang dihasilkan di kapal pesiar

Secara keseluruhan terkait limbah, ada tiga jenis limbah yang menyumbang lebih dari 95% volume limbah yang dihasilkan di atas kapal, yaitu sampah domestik (55%), sisa makanan (25%), dan sampah plastik (16,8%). Dalam studi Slišković et al. (2018) tentang sampah yang dihasilkan dari kapal pesiar, sampah domestik menyumbang 62%, sampah plastik 26%, dan sisanya bahan organik yang mudah membusuk dan sisa makanan sebesar 11%.

Rata-rata produksi limbah selama satu kali pelayaran penuh (selama seminggu) di kapal dengan 3600 penumpang dan kru kapal diperkirakan mencapai 2358 m³ air limbah (kategori limbah dapat diolah), 84 m³ limbah berminyak, dan 266 m³ limbah padat (Kotrikla et al., 2021).

Berdasarkan studi literatur yang telah dilakukan, jenis limbah yang dihasilkan di kapal sangat beragam yang diuraikan dan diklasifikasikan ke dalam beberapa jenis yaitu sebagai berikut:

A. Cairan berminyak

Cairan berminyak adalah kombinasi air laut dan air tawar, cairan berminyak, pelumas dan gemuk, cairan pembersih, serta limbah lain yang terakumulasi di bagian dasar kapal (lambung kapal) dari berbagai sumber, termasuk mesin (dan bagian lain dari sistem propulsi), perpipaan, serta sumber mekanis dan operasional lainnya yang terdapat di seluruh ruang mesin kapal (EPA, 2011).

B. MCK (mandi, cuci, dan kakus)

Limbah MCK terdiri dari *black water* dan *grey water*. *Black water* atau sering dikenal *sewage* adalah limbah seperti feces atau air kotor dari toilet dan urinoir yang ada di kapal. *Grey water* adalah drainase yang dihasilkan dari mesin pencuci piring, pancuran, cucian, bak mandi, dan saluran pembuangan yang ada di kapal (Kalniņa et al., 2022). Diperkirakan bahwa setiap orang di atas kapal berkontribusi menghasilkan limbah MCK 0,093 m³ per hari (Kotrikla et al., 2021). Butt (2007) melaporkan jumlah limbah MCK 0,140-0,340 m³ per orang dalam sehari. Klein (2009) melaporkan setiap orang menghasilkan limbah *grey water* 0,34 m³ dalam sehari.

C. Sampah plastik

Pembungkus, botol plastik, drum plastik, tali sintesis, dan kantong sampah plastik biasanya termasuk dalam jenis sampah plastik. Perkiraan sampah plastik yang dihasilkan oleh setiap orang dalam sehari adalah 0,0018 m³ (Kotrikla et al., 2021). Sampah plastik berjumlah sekitar 26% dari total limbah yang dihasilkan di kapal (Sanches et al., 2020).

D. Limbah kaca

Limbah kaca menyumbang sekitar 4% dari total limbah yang ada di kapal. Contoh limbah kaca tersebut adalah botol kaca bekas. Limbah kaca yang ada di kapal bersumber dari bagian *deck*, *bridge*, ruang mesin, salon, *crew cabin*, *galley*, dan *stern* (Zakri & Anshari, 2023).

E. Sampah selulosa

Karton, kertas, tisu, kardus, dan benda yang terbuat dari serat selulosa termasuk dalam jenis sampah selulosa. Sampah selulosa yang dihasilkan di atas kapal pesiar intensitasnya cukup tinggi. Intensitas limbah jenis ini untuk kapal pesiar sekitar 4.260 kg dalam sehari. Hal ini merupakan beban yang tidak dapat diabaikan selama pelayaran (Toneatti et al., 2020).

F. Sampah makanan

Buah-buahan, sayuran, produk susu, unggas, daging, dan sisa makanan adalah bagian dari sampah makanan yang dihasilkan di dapur dan di restoran. Kapal pesiar menampung ribuan penumpang, dan total limbah makanan di kapal pesiar dapat mencapai 30%, dengan sebagian besar limbah makanan berasal dari sisa makanan pada waktu makan (Li & Wang, 2020). Di kapal ini, lebih dari 1700 m³ limbah makanan dihasilkan dalam satu tahun, terhitung sekitar 22% dari total

limbah yang dihasilkan di kapal (Strazza, Magrassi, et al., 2015).

G. Minyak jelantah

Penggoresan makanan adalah sumber limbah minyak jelantah. Jumlah yang dihasilkan di kapal pesiar adalah 21,1 m³ per tahun dan estimasi limbah minyak jelantah yang dihasilkan per orang sebesar 0,000016 m³ per hari (Kotrikla et al., 2021). Delft (2017) melaporkan kisaran limbah minyak jelantah yang dihasilkan per orang 0,00001-0,00008 m³ per hari.

H. Limbah operasional

Limbah operasional terdiri dari semua limbah padat yang dikumpulkan di atas kapal selama pemeliharaan atau pengoperasian kapal secara normal. Jumlah limbah operasional yang dihasilkan di atas kapal adalah 334 m³ per tahun atau 27,8 m³ per bulan. Limbah operasional tersebut terdiri dari kain lap berminyak (49%), cat dan bahan kimia (24%) dan residu tangki limbah MCK (6,9%). Limbah operasional di kapal juga mencakup baterai, kulkas dan minyak kulkas, bahan isolasi, filter oli, penampung minyak dari bak cuci piring, lampu, limbah biomedis, korek api, jelaga karbon dan minyak dari ruang mesin dan baling-baling yang timbul selama pemeliharaan tahunan kapal (Kotrikla et al., 2021).

I. Abu insenerator

Abu insinerasi dihasilkan dari insinerator yang dipasang di beberapa kapal untuk membakar lumpur minyak, limbah domestik atau operasional (Delft, 2017). Abu tersebut mungkin mengandung logam berat dan zat berbahaya lainnya, sehingga memerlukan perlakuan khusus, dan harus ditangani di pelabuhan atau daratan (Andersson et al., 2016). Limbah abu insinerasi yang dihasilkan terutama dari insinerasi sampah domestik (kartus, bahan kemasan, dan lainnya sebesar 3248 m³) dan sampah operasional (kain lap berminyak sebesar 60 m³) di insinerator kapal. Secara total 3308 m³ sampah dibakar setiap tahunnya dan abu yang dihasilkan adalah 86 m³ atau 2,6% dari jumlah sampah. Delft (2017) mengasumsikan jumlah abu insinerasi yang dihasilkan adalah 1-2% dari jumlah sampah yang dibakar.

J. Sampah elektronik

Kategori terakhir dari limbah yang dihasilkan di kapal adalah limbah elektronik. Limbah elektronik bersumber dari peralatan listrik dan elektronik yang digunakan untuk operasi normal kapal atau di ruang akomodasi. Contohnya termasuk kartu elektronik, gawai, instrumen, peralatan, komputer, kartrid printer, dan lain-lain

(Kotrikla et al., 2021). Kotrikla et al. (2021) melaporkan bahwa jumlah limbah elektronik 43 m³ setiap tahunnya.

Penanganan limbah yang dihasilkan di kapal pesiar

Masing-masing jenis limbah yang dihasilkan di kapal pesiar memerlukan penanganan yang berbeda-beda seperti yang diuraikan berikut ini:

A. Cairan berminyak

Konsentrasi limbah cairan berminyak yang boleh dibuang ke laut tidak melebihi 15 ppm. Bahkan beberapa di beberapa negara seperti Kanada memberi aturan lebih ketat, yaitu konsentrasi maksimal limbah berminyak yang boleh dibuang ke laut sebesar 5 ppm. Limbah berminyak (seperti air lambung kapal yang berminyak) yang konsentrasinya melebihi batas yang ditetapkan (misalnya 15 ppm) diolah di atas kapal menggunakan mesin pemisah minyak dan air (*oily-water separator* atau OWS) hingga konsentrasinya turun dan sesuai standar. Kemudian, limbah berminyak yang sesuai standar dan telah diolah dibuang di laut dengan jarak 12 mil dari daratan terdekat. Dengan cara ini, industri kapal pesiar membantu menjaga status lingkungan yang baik dari lingkungan laut di sekitarnya karena laut yang bersih dan destinasi merupakan aspek utama dalam produk kapal pesiar. Hal ini juga memungkinkan pengoperasian kapal di seluruh dunia tanpa batas, terlepas dari peraturan setempat (Kotrikla et al., 2021).

Butt (2007) melaporkan bahwa air lambung kapal berminyak pada kapal pesiar mencapai rata-rata 8 ton per hari. Data yang disajikan dalam penelitian Kotrikla et al. (2021) menyatakan total limbah berminyak di kapal pesiar yang mampu diolah di OWS sekitar 65% dari 2211 m³. Limbah berminyak yang telah diolah tersebut bisa diolah hingga konsentrasinya memenuhi standar (<5 ppm) dan dapat dibuang ke laut.

B. MCK

Kategori limbah yang paling banyak dihasilkan di kapal adalah limbah MCK yang terdiri dari *black water* dan *grey water*. Pembuangan limbah jenis ini ke laut dilarang, kecuali jika kapal membuang limbah yang telah dikomunikasikan dan didesinfeksi pada jarak lebih dari 3 mil laut dari daratan terdekat, atau limbah yang tidak dikomunikasikan atau didesinfeksi pada jarak lebih dari 12 mil laut dari daratan terdekat, dengan kecepatan sedang saat kapal dalam perjalanan dan

melaju dengan kecepatan tidak kurang dari 4 knot (Kotrikla et al., 2021).

Di dalam kapal, limbah MCK yang terdiri dari *black water* dan *grey water* disalurkan ke dalam tangki penampungan yang berbeda. *Black water* diolah dengan perangkat sanitasi laut tradisional menggunakan penguraian biologis dan desinfeksi. Mula-mula air limbah diproses secara pengolahan fisika dengan cara disaring untuk menghilangkan pasir dan kotoran. Kemudian bahan biologis terlarut dan tersuspensi dari limbah dihilangkan oleh bakteri aerobik yang mendegradasi komponen organik. Limbah dari pengolahan biologis diklorinasi untuk mendisinfeksi patogen (Chen et al., 2022). *Black water* yang telah diolah digabungkan dengan *grey water* dan dibuang ke laut, lebih dari 12 mil laut dari daratan terdekat, saat kapal bergerak dengan kecepatan minimal 6 knot atau lebih besar dan sesuai dengan peraturan perundang-undangan yang berlaku. Fraksi padat *black water* yang disaring dalam pengolahan primer dan *sludge* yang tersisa sebagai residu setelah pengolahan biologis, dibuang ke fasilitas penerimaan pelabuhan (Kotrikla et al., 2021).

Limbah MCK yang telah diolah dan dibuang ke laut 122606 m³ setiap tahunnya, sedangkan *sludge* yang dibuang ke PRF (*port reception facilities*) adalah 22,9 m³.

C. Sampah plastik

Sampah plastik termasuk dalam jenis sampah di kapal pesiar yang dilarang untuk dibuang ke laut. Sampah plastik yang dihasilkan di kapal pesiar dalam setahun 2319 m³ dan dibuang ke fasilitas penerimaan pelabuhan untuk didaur ulang (Kotrikla et al., 2021). Menurut Delft (2017), sebagian besar kapal menghasilkan antara 0,001 dan 0,008 m³ sampah plastik per orang per hari.

D. Limbah kaca

Limbah kaca atau kaca bekas dipecah menjadi beberapa bagian, disimpan dalam wadah yang sesuai, dan kemudian dibongkar di pelabuhan asal untuk didaur ulang dengan mudah. Namun, sebagian besar limbah kaca yang dihasilkan di atas kapal pada dasarnya terdiri dari botol-botol dengan kapasitas yang berbeda. Jika masih utuh, botol-botol tersebut dapat digunakan kembali tanpa harus kembali ke siklus produksi (daur ulang), sehingga tidak menjadi limbah. Botol kaca setelah dikosongkan dapat dikembalikan ke pemasok untuk digunakan kembali dan diisi ulang, untuk jumlah yang hampir tak terbatas. Untuk mencapai tujuan ini, pengumpulan botol bekas di atas kapal dapat dengan mudah dilakukan

oleh kru dengan menggunakan prosedur pengumpulan terpisah (kotak pemilahan) yang sederhana. Penggunaan kembali botol kaca bertujuan untuk menghemat energi daur ulang yang dibutuhkan untuk proses penghancuran menggunakan mesin *crusher*. Dengan mempertimbangkan persentase operasi rata-rata kapal pesiar 305 hari/tahun dan konsumsi kaca sekitar 1366 ton/tahun, maka kebijakan penggunaan kembali botol kaca akan memungkinkan penghematan bahan bakar mesin *crusher* tahunan sekitar 1,26 ton/tahun. Nilai ini setara dengan 423 €/tahun dan penghematan emisi CO₂ sekitar 4000 kg/tahun (Toneatti et al., 2020).

Seperti yang terlihat, keuntungan ekonomi secara keseluruhan dari strategi ini adalah marjinal sehubungan dengan biaya operasional kapal pesiar. Namun, beroperasi dengan cara yang disarankan akan menghasilkan penghematan energi yang tidak langsung terlihat, terkait dengan kebutuhan untuk melelehkan kembali pecahan kaca untuk membuat botol baru setelah botol lama dibongkar di pelabuhan.

E. Sampah selulosa

Untuk mengurangi sampah selulosa dapat dilakukan dengan beberapa strategi. Strategi pertama adalah pengurangan kertas cetak yang digunakan di atas kapal dalam bentuk brosur, selebaran, selebaran informatif, dan sebagainya. Penggunaan kertas jenis ini diperkirakan sekitar 15 g/penumpang/hari atau setara dengan sekitar 83 kg/hari. Jumlah yang konsisten seperti itu dapat dikurangi sebesar 25 hingga 100% melalui digitalisasi yang ekstensif, monitor informatif, dan aplikasi khusus pada ponsel cerdas dan tablet. Pengurangan sebesar 50% dari kertas cetak dapat dicapai dengan menggunakan strategi digitalisasi informasi yang disebutkan di atas, yang mengarah pada penghematan sekitar 41,5 kg/hari (Toneatti et al., 2020).

Strategi pengoptimalan kedua yaitu pengurangan konsumsi tisu toilet dan tisu dengan memasang *singlecut*, distributor otomatis, yang dapat ditempatkan di area transit dan area umum yang dapat diakses oleh penumpang, serta di dalam kabin. Dengan cara ini, Strazza et al. (2015a) memperkirakan bahwa pengurangan 25% dari penggunaan kertas jenis ini dapat dicapai.

Strategi optimalisasi terakhir adalah pengembangan panduan yang didedikasikan untuk kru kapal dan bertujuan untuk mengurangi konsumsi kertas mereka sendiri (terutama lembar A3 dan A4 untuk pemberitahuan harian, komunikasi internal, dan sebagainya) selama

kegiatan tugas. Dengan cara ini, penghematan kertas yang diperkirakan sekitar 50%. Dengan mempertahankan persentase ini untuk kapal model kami, berarti ada kemungkinan untuk beralih dari konsumsi sekitar 102 kg/hari menjadi sekitar 51 kg/hari (Toneatti et al., 2020).

Dengan merangkum ketiga strategi pengoptimalan limbah kertas, (Toneatti et al., 2020) memperkirakan penghematan konsumsi kertas di kapal pesiar sekitar 137,5 kg/hari. Hal ini setara dengan penghematan ekonomi sekitar 1560,00 €/hari atau sekitar 475.000 €/tahun. Berdasarkan data yang dilaporkan oleh (Strazza et al., 2015a), jumlah kertas yang dihemat ini setara dengan emisi CO₂ yang dapat dihindari untuk sekitar 251 kg/hari pelayaran.

Solusi yang memungkinkan untuk mengurangi atau menghilangkan limbah selulosa yang tersisa setelah optimasi konsumsi kertas yang dibahas di atas adalah dengan mencacah dan membakarnya di insinerator. Hal ini akan menghasilkan eliminasi limbah secara instan. Di sisi lain, bahan selulosa memiliki kandungan energi yang cukup tinggi, yang dapat dimanfaatkan kembali dengan peralatan yang sesuai.

F. Sampah makanan

Sampah makanan merupakan jenis limbah yang dapat dibuang ke laut dengan syarat dan kondisi tertentu.

Sampah makanan dihancurkan (digiling) menggunakan mesin penggiling (disebut *pulper*) menjadi potongan-potongan yang sangat kecil dengan ukuran ≤ 20 mm. Mikroorganisme laut lebih mudah mengurai potongan-potongan kecil bahan organik karena area permukaan yang tersedia untuk penguraian meningkat. Sebelum proses tersebut, bagian makanan yang lunak dipisahkan dari bagian yang keras (seperti tulang, cangkang makanan laut, dan sebagainya) dan alat makan untuk melindungi mesin *pulper*. Personel dapur bertanggung jawab atas pemisahan dan pengoperasian sistem yang tepat secara keseluruhan. Makanan yang sudah dihaluskan dibuang ke laut, lebih dari 12 mil laut dari daratan terdekat, sementara kapal bergerak dengan kecepatan minimal 6 knot (Kotrikla et al., 2021).

Sampah makanan keras dikumpulkan dalam kantong dan tempat sampah dan dibuang ke fasilitas penerimaan pelabuhan. Sampah makanan tersebut disimpan di ruang dingin dengan suhu minimal 4° Celcius untuk mencegah pembusukan dan bau yang tidak sedap. Sampah makanan disimpan di ruang dingin dengan suhu minimal 4

°C untuk mencegah pembusukan dan bau yang tidak sedap (Kotrikla et al., 2021).

Secara total limbah makanan yang dihasilkan 3442 m³ setiap tahunnya, 75% dibuang ke laut setelah dihancurkan dan 25% dibuang ke PRF. Perkiraan jumlah limbah makanan harian per orang adalah 0,0026 m³ (Kotrikla et al., 2021). Strazza et al. (2015b) melaporkan bahwa jumlah limbah makanan harian per orang adalah 0,0013 m³.

G. Minyak jelantah

Minyak jelantah yang berasal dari dapur kapal dikumpulkan setiap malam dan dipindahkan ke ruang dingin dalam tangki khusus. Ketika tangki sudah penuh, minyak jelantah dikirim ke fasilitas penerimaan pelabuhan untuk didaur ulang (Kotrikla et al., 2021).

H. Limbah operasional

Limbah operasional dibakar di atas kapal dan sisanya dibuang ke PRF. Sebanyak 37% dari kain lap berminyak dibakar dan sisanya bersama dengan limbah operasional lainnya dibuang ke PRF (*port reception facilities*) untuk dikelola lebih lanjut di unit pengelola limbah yang ada di daratan setelah kapal berlabuh di pelabuhan (Kotrikla et al., 2021).

I. Abu insenerator

Insinerasi, terutama untuk bahan berbahaya (misalnya cat yang dikerok, kayu yang diresapi) dan beberapa jenis plastik (misalnya plastik berbahan dasar PVC atau plastik lain yang mengandung bahan kimia berbahaya) memerlukan tindakan pencegahan khusus karena potensi dampak lingkungan dan kesehatan dari gas beracun yang dihasilkan dari aliran gas buang, termasuk asam klorida (HCl) dan asam hidrosianat (HCN) yang diuapkan (MEPC, 2017). Insinerator yang dipasang di atas kapal harus memiliki Type Approved sesuai dengan resolusi MEPC.244 (66) (MEPC, 2014). Penggunaan insinerator mengurangi biaya pengiriman limbah ke PRF (MEPC, 2017). Namun, jika kapal berlayar di daerah pesisir, penggunaan insinerator dibatasi sehingga limbah yang biasanya dibakar harus dikirim ke PRF (Delft, 2017). Abu insenerator dikumpulkan dan dimasukkan ke PRF (*port reception facilities*) yang akan dibuang di daratan saat sudah di pelabuhan.

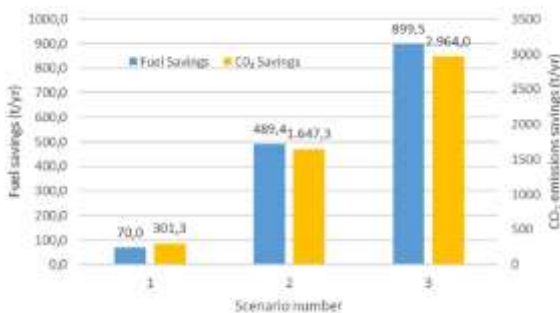
J. Sampah elektronik

Jenis sampah elektronik termasuk jenis sampah pengelolaannya di kapal dengan cara dibuang atau

dimasukkan ke PRF (*port reception facilities*) yang akan dikirim ke unit pengelolaan khusus (lebih lanjut) di daratan saat sudah di pelabuhan (Kotrikla et al., 2021).

Optimalisasi pengelolaan limbah yang dihasilkan di kapal pesiar

Jenis sampah seperti sampah plastik, sampah selulosa, sampah operasional, sampah elektronik, dan jenis sampah lainnya, masih memungkinkan untuk dilakukan penanganan dan pengelolaan secara optimal. Tiga skenario yang berbeda berdasarkan opsi pemulihan atau pemanfaatan kembali energi yang berbeda (Toneatti et al., 2020), yaitu pemulihan energi termal dari asap buangan insinerator (Skenario 1), pemulihan energi termal campuran dari insinerator dan pembangkit *syngas* atau *synthetic gases* (Skenario 2) dan produksi *syngas* maksimum dari sampah berbagai jenis sampah (Skenario 3). Keuntungan dari tiga skenario yang diusulkan diilustrasikan pada Gambar 1 dalam hal penghematan ekonomi (dihitung berdasarkan biaya yang dapat dihindari untuk bahan bakar yang dihemat), jumlah bahan bakar yang dihemat, dan jumlah emisi CO₂ yang dapat dihindari.



Gambar 1. Perbandingan berbagai skenario optimalisasi pengelolaan limbah di kapal pesiar (Toneatti et al., 2020)

Pada skenario 1, biasanya kapal pesiar yang dirancang memanfaatkan dua insinerator kecil (masing-masing < 2 MW). Idealnya, energi panas yang terbuang dari hasil insenerasi dapat digunakan kembali sebagai energi listrik, dengan menggunakan peralatan yang tepat, seperti turbin uap. Penggunaan sistem ini memungkinkan untuk memulihkan energi panas dari gas buang, dengan keuntungan penghematan dalam penggunaan energi listrik kapal secara keseluruhan, serta konsumsi bahan bakar. Utilisasi sebesar 75% atau penggunaan limbah sekitar 590,982 kg per tahun mampu menghemat bahan bakar 103,166 kg per tahun, nilai ekonomi 34,767 € per tahun, dan

reduksi emisi CO₂ 331,164 kg per tahun (Toneatti et al., 2020).

Skenario 3 adalah yang paling efektif, yang memungkinkan penghematan tertinggi dalam hal uang (sekitar 780 k€/tahun), konsumsi bahan bakar (sekitar 900 ton/tahun) dan emisi CO₂ (sekitar 3000 ton/tahun). Dua skenario lainnya memberikan keuntungan yang lebih rendah, dengan nomor 1 sebagai skenario yang paling tidak efektif (Toneatti et al., 2020). Keuntungan dari penggunaan *syngas* di atas kapal bahkan lebih jelas lagi ketika mempertimbangkan skenario 3, di mana semua limbah selulosa (termasuk limbah kertas yang tersedia setelah langkah optimasi konsumsi kertas) diumpankan ke pabrik *syngas* untuk menghasilkan bahan bakar gas untuk mesin kapal. Dalam hal ini, lebih dari 2.800 t/tahun emisi CO₂ dapat dihindari, sekitar 900 t/tahun bahan bakar dapat dihemat, dan juga sejumlah uang yang luar biasa, berkisar sekitar 300 k€/tahun. Hasil yang terakhir ini bahkan lebih menarik lagi jika dibandingkan dengan penghematan sekitar 500 k€/tahun yang telah dipertimbangkan dari strategi optimalisasi kaca/kertas (Toneatti et al., 2020).

Peran edukasi dan pelatihan guna minimalisasi limbah di kapal pesiar

Mengurangi limbah kapal adalah hal yang paling penting. Untuk mencapai hal ini, sangat penting untuk memberikan pelatihan dan pendidikan kepada semua orang yang mungkin terlibat, baik penumpang maupun awak kapal. Edukasi dan pelatihan penumpang dan awak kapal adalah langkah pertama menuju pencegahan pencemaran. Proses ini memiliki dua tujuan: meningkatkan kesadaran masyarakat tentang pentingnya menjaga lingkungan bagi industri kapal pesiar dan tujuan pelayaran, dan mengajarkan mereka cara mengurangi dan menghindari limbah. Petugas lingkungan sangat penting untuk mencapai tujuan ini karena mereka bertanggung jawab untuk melatih awak kapal tentang peraturan tersebut. Setiap awak kapal harus menghadiri seminar pelatihan lingkungan yang berkonsentrasi pada kebijakan lingkungan perusahaan, termasuk peraturan dan jenis limbah yang dihasilkan di atas kapal, serta pengelolaannya (Kotrikla et al., 2021).

Selama pertemuan dengan penumpang, petugas lingkungan menjelaskan pentingnya menjaga lingkungan. Larangan membuang sampah di laut sesuai dengan MARPOL, serta praktik sehari-hari untuk menghemat air dan energi. Pemilahan bahan yang dapat didaur ulang adalah prioritas utama. Berikut adalah beberapa

praktik pencegahan pencemaran lainnya yang dapat diterapkan di kapal pesiar:

- Larangan membawa peralatan makan, sedotan, piring, dan gelas berbahan plastik ke dalam kapal.
- Kesepakatan dengan pemasok untuk mengembalikan sampah botol kaca dan bahan lainnya.
- Barang-barang yang sudah tidak terpakai tetapi masih dalam kondisi baik dapat disumbangkan kepada organisasi tertentu, yang kemudian akan membagikannya kepada orang-orang yang kurang beruntung.
- Memasang tanda/petunjuk di geladak kapal tentang larangan bagi penumpang dan kru kapal untuk membuang limbah ke laut.

Personel yang bertanggung jawab atas pengelolaan limbah di atas kapal pesiar

Kebijakan lingkungan, komitmen perusahaan pengoperasian kapal, dan partisipasi awak sangat penting untuk pengelolaan limbah kapal yang berkelanjutan (Wilewska-Bien et al., 2016). Dalam mengelola sampah setiap hari, semua elemen ini harus terlibat. Setiap awak kapal memiliki peran yang sesuai dengan persyaratan lokal, kebijakan lingkungan perusahaan, dan MARPOL (Mănoiu & Antonescu, 2017). MARPOL merupakan konvensi pencemaran laut internasional yang bertujuan untuk mencegah pencemaran lingkungan laut oleh kapal. Awak kapal mengurangi sampah (seperti makanan dan sampah dapat didaur ulang), menghemat air dan energi, dan sangat berhati-hati agar penumpang dan awak kapal tidak membuang sampah ke laut. Kegagalan untuk mematuhi peraturan dan memenuhi tanggung jawab dapat mengakibatkan teguran disiplin atau bahkan pemutusan hubungan kerja (Kotrikla et al., 2021).

Insinyur kapal bertugas mengoperasikan dan merawat sistem pengolahan limbah, seperti alat pemadat limbah, penghancur sampah, pemisah minyak dan air, serta memastikan setiap pembuangan limbah ke laut sesuai dengan peraturan yang berlaku. Petugas anjungan akan memberi tahu insinyur jika kondisi jarak dari daratan terdekat dan kecepatan kapal memungkinkan untuk pembuangan limbah cair ke laut (Kotrikla et al., 2021).

Melapor langsung kepada kapten kapal, petugas lingkungan membantu kapten, kepala insinyur, dan kepala departemen lainnya terkait kebijakan dan prosedur kepatuhan lingkungan. Salah satu tanggung jawabnya adalah memastikan bahwa seluruh awak kapal mematuhi peraturan,

peraturan, dan kebijakan lingkungan perusahaan pelayaran. Petugas lingkungan juga melatih awak kapal dan memberi tahu penumpang tentang perlindungan lingkungan. Selain itu, mereka bertanggung jawab untuk memastikan bahwa semua dokumen lingkungan, termasuk buku catatan minyak dan sampah, dan penanganan limbah sanitasi, akurat dan lengkap. Kapten kapal bertanggung jawab atas prosedur lingkungan dan bekerja sama dengan petugas lingkungan untuk menyelesaikan masalah (Kotrikla et al., 2021).

Karyawan perusahaan di darat bertanggung jawab untuk meningkatkan, memeriksa, dan menyetujui prosedur manajemen lingkungan kapal. Mereka juga bertanggung jawab untuk membantu petugas lingkungan dalam hal masalah yang tidak dapat diselesaikan (Kotrikla et al., 2021).

4. Simpulan

Jenis limbah yang dihasilkan di kapal pesiar antara lain cairan berminyak, MCK, sampah plastik, limbah kaca, sampah selulosa, sampah makanan, minyak jelantah, limbah operasional, abu insenerator, dan sampah elektronik.

Limbah cairan berminyak dapat dibuang ke laut jika telah diolah dan memenuhi level standar (<15 ppm). Limbah MCK dapat dibuang ke laut jika telah dilakukan pengolahan (fisika, biologis, dan disinfeksi) dan proses pembuangan ke laut saat kapal berada lebih dari 12 mil laut dari daratan terdekat dan kapal bergerak dengan kecepatan minimal 6 knot. Limbah bersifat padat (plastik, kaca, selulosa, sampah operasional, abu insenerator, minyak jelantah, dan sampah elektornik) tidak boleh dibuang ke laut dan harus dikumpulkan ke PRF (*port reception facilities*). Sampah makanan yang telah dihancurkan (digiling) menggunakan mesin penggiling (disebut pulper) menjadi potongan-potongan yang sangat kecil dengan ukuran ≤ 20 mm dapat dibuang ke laut saat kapal berada lebih dari 12 mil laut dari daratan terdekat dan kapal bergerak dengan kecepatan minimal 6 knot.

Produksi syngas dari berbagai jenis limbah adalah metode optimalisasi limbah yang paling efektif, yang memungkinkan penghematan tertinggi sekitar 780 k€/tahun, konsumsi bahan bakar sekitar 900 ton/tahun, dan emisi CO₂ sekitar 3000 ton/tahun.

Setiap personil yang ada di kapal pesiar bertanggungjawab terhadap pencegahan dan pengelolaan limbah yang ada di kapal pesiar mulai dari kapten hingga penumpang kapal pesiar.

Daftar Pustaka

- Andersson, K., Baldi, F., Brynolf, S., Lindgren, J. F., Granhag, L., & Svensson, E. (2016). Shipping and the Environment. In K. Andersson, S. Brynolf, J. F. Lindgren, & M. Wilewska-Bien (Eds.), *Shipping and the Environment* (pp. 3–27). Springer Berlin Heidelberg. https://doi.org/10.1007/978-3-662-49045-7_1
- Argüello, G. (2020). Environmentally sound management of ship wastes: Challenges and opportunities for European ports. *Journal of Shipping and Trade*, 5(1), 12. <https://doi.org/10.1186/s41072-020-00068-w>
- Beiras, R. (2018). *Marine pollution: Sources, fate and effects of pollutants in coastal ecosystems*. Elsevier.
- Butt, N. (2007). The impact of cruise ship generated waste on home ports and ports of call: A study of Southampton. *Marine Policy*, 31(5), 591–598. <https://doi.org/10.1016/j.marpol.2007.03.002>
- CANARI. (2019). *Ecosystem Profile, the Caribbean Islands Biodiversity Hotspot*. Available at. *Caribbean Natural Resources Institute*. <https://www.cepf.net/sites/default/files/cepf-caribbean-islands-ecosystem-profile-december-2020-english.pdf>
- Cervený, L. K., Miller, A., & Gende, S. (2020). Sustainable cruise tourism in marine world heritage sites. *Sustainability*, 12(2), 611.
- Chen, Q., Wu, W., Guo, Y., Li, J., & Wei, F. (2022). Environmental impact, treatment technology and monitoring system of ship domestic sewage: A review. *Science of The Total Environment*, 811, 151410.
- Copeland, C. (2011). Cruise Ship Pollution: Background, Laws and Regulations, and Key Issues, Maritime Law: Issues, Challenges and Implications. *Resources and Environmental Policy*, 155–183.
- Delft, C. E. (2017). *The management of ship-generated waste on-board ships*. European Maritime Safety Agency.
- Diez, S. M., Patil, P. G., Morton, J., Rodriguez, D. J., Vanzella, A., Robin, D. V., Maes, T., & Corbin, C. (2019). *Marine pollution in the Caribbean: Not a minute to waste*. DC: World Bank Group.
- EPA. (2011). *Oily bilgewater separators*. https://www3.epa.gov/npdes/pubs/vgp_bilge.pdf
- Gharfalkar, M., Court, R., Campbell, C., Ali, Z., & Hillier, G. (2015). Analysis of waste hierarchy in the European waste directive 2008/98/EC. *Waste Management*, 39, 305–313. <https://doi.org/10.1016/j.wasman.2015.02.007>
- Kalniņa, R., Demjanenko, I., Drunka, R., & Smilgainis, K. (2022). Photocatalytic Disinfection: Direction for the Treatment of Ship “Greywater” from Pathogens and Difficult-to-Degrade Organic Compounds. *Transport Means*, 282–287.
- Klein, B. K. (2009). *Getting a Grip on Cruise Ship Pollution*. D.C. Friends of the Earth.
- Kotrikla, A. M., Zavantias, A., & Kaloupi, M. (2021). Waste generation and management onboard a cruise ship: A case study. *Ocean & Coastal Management*, 212, 105850. <https://doi.org/10.1016/j.ocecoaman.2021.105850>
- Li, N., & Wang, J. (2020). Food waste of Chinese cruise passengers. *Journal of Sustainable Tourism*, 28(11), 1825–1840. <https://doi.org/10.1080/09669582.2020.1762621>
- Lukoseviciute, G., & Panagopoulos, T. (2021). Management priorities from tourists’ perspectives and beach quality assessment as tools to support sustainable coastal tourism. *Ocean & Coastal Management*, 208, 105646. <https://doi.org/10.1016/j.ocecoaman.2021.105646>
- Mănoiu, V.-M., & Antonescu, M. (2017). Disney cruise line environmental management. Part I: Environmental policy and waste management on cruise itineraries. *Lucrările Seminarului Geografic “Dimitrie Cantemir,”* 45, 89–108. <https://doi.org/10.15551/lsgdc.v45i0.08>
- MEPC. (2014). *Standard specification for shipboard incinerators—Resolution MEPC 244 (66)* (MEPC 66/21 Annex 3; pp. 1–17). [https://wwwcdn.imo.org/localresources/en/OurWork/Documents/Res_MEPC_244\(66\).pdf](https://wwwcdn.imo.org/localresources/en/OurWork/Documents/Res_MEPC_244(66).pdf)
- MEPC. (2017). *Guidelines for the Implementation of MARPOL Annex V - Resolution MEPC 295* (pp. 1–30). [https://www.lisr.com/sites/default/files/lisr_imo_resolutions/Res%20MEPC.295\(71\)%20-%20Guidelines%20MARPOL%20Annex%20V_0.pdf](https://www.lisr.com/sites/default/files/lisr_imo_resolutions/Res%20MEPC.295(71)%20-%20Guidelines%20MARPOL%20Annex%20V_0.pdf)
- Sanches, V. L., Aguiar, M. R. D. C. M., De Freitas, M. A. V., & Pacheco, E. B. A. V. (2020). Management of cruise ship-generated solid waste: A review. *Marine Pollution Bulletin*, 151, 110785. <https://doi.org/10.1016/j.marpolbul.2019.110785>

- Slišković, M., Ukić Boljat, H., Jelaska, I., & Jelić Mrčelić, G. (2018). Review of Generated Waste from Cruisers: Dubrovnik, Split, and Zadar Port Case Studies. *Resources*, 7(4), 72. <https://doi.org/10.3390/resources7040072>
- Strazza, C., Del Borghi, A., Gallo, M., Manariti, R., & Missanelli, E. (2015a). Investigation of green practices for paper use reduction onboard a cruise ship-a life cycle approach. *The International Journal of Life Cycle Assessment*, 20(7), 982–993. <https://doi.org/10.1007/s11367-015-0900-0>
- Strazza, C., Magrassi, F., Gallo, M., & Del Borghi, A. (2015b). Life Cycle Assessment from food to food: A case study of circular economy from cruise ships to aquaculture. *Sustainable Production and Consumption*, 2, 40–51.
- Toneatti, L., Deluca, C., Fraleoni-Morgera, A., & Pozzetto, D. (2020). Rationalization and optimization of waste management and treatment in modern cruise ships. *Waste Management*, 118, 209–218. <https://doi.org/10.1016/j.wasman.2020.08.018>
- Wilewska-Bien, M., Lindgren, J. F., Magnusson, M., Zetterdahl, M., Salo, K., Gabriellii, C., Granhag, L., & Brynolf, S. (2016). Measures to reduce discharges and emissions. In *Shipping and the Environment* (pp. 341–396). Springer.
- Zakri, Y., & Anshari, A. I. (2023). Solid Waste Handling Techniques on Board Cargo Ships. *Indonesian Journal of Contemporary Multidisciplinary Research*, 2(6), 1321–1330.