

# Perencanaan Pengelolaan Limbah Padat di Terminal Jamrud Surabaya

Daniel Imanuel Tangkau, Raja Oloan Saut Gurning  
Teknik Sistem Perkapalan, Institut Teknologi Sepuluh Nopember (ITS)  
e-mail: sautgurning2@gmail.com

**Abstrak**—Penelitian ini mengambil Terminal Jamrud, salah satu dari tiga terminal yang dimiliki Pelabuhan Tanjung Perak di Surabaya di Provinsi Jawa Timur sebagai studi kasus. Pilihan ini diambil dengan mempertimbangkan aktivitas terminal ini yang dermaga-dermaganya beroperasi terus-menerus tiada henti sehingga dapat dipastikan bahwa terminal ini sangat berkontribusi berkontribusi terhadap pencemaran lingkungan baik di wilayah perairan maupun daratannya. Analisa dilakukan terhadap kebijakan otoritas pelabuhan dan dampak dari kebijakan tersebut, termasuk teknologi yang digunakan, terhadap pengelolaan limbah padat di terminal tersebut, baik dari aktivitas kapal yang bersandar maupun kegiatan-kegiatan yang terjadi di lingkungan pelabuhan. Dari penelitian ini, dalam satu minggu saja, didapati bahwa Terminal Jamrud menghasilkan paling tidak 46,69 ton limbah padat dari kapal dan 237,74 ton dari kawasan pelabuhan. Bagaimana sebaiknya limbah padat yang dihasilkan tersebut dikelola dipresentasikan dalam makalah ini, berikut biaya yang harus dikeluarkan. Dengan pula melihat studi kasus di negara-negara lain, sejumlah simulasi dan analisa dilakukan terhadap empat jenis fasilitas pengelolaan limbah padat yang kelak dapat dipertimbangkan untuk ditempatkan di Terminal Jamrud. Kerugian dan keuntungan penggunaan masing-masing fasilitas tersebut dihitung, termasuk dalam hal efisiensi energi dan manfaat yang dihasilkan dari pengolahan limbah menggunakan fasilitas-fasilitas tersebut. Dari hasil analisa tersebut, didapati kemudian bahwa fasilitas pengomposan dan fasilitas pemisahan material spesifik dapat dipertimbangkan penggunaannya karena yang paling menguntungkan dari segi biaya yang dikeluarkan, efisiensi energi dan manfaat yang diperoleh kelak.

**Kata Kunci**—Fasilitas Pengelolaan, Limbah Padat, Sampah.

## I. PENDAHULUAN

TERMINAL Jamrud adalah salah satu pelabuhan di Indonesia yang memberikan layanan bongkar-muat domestik dan internasional bagi barang-barang umum dan curah kering. Selain itu, terminal ini juga berfungsi sebagai dermaga pusat logistik untuk komoditi bukan peti kemas. Terminal ini sangat sibuk, tidak henti-hentinya bekerja selama 24 jam sehari, tujuh hari seminggu. Dari tahun ke tahun, kesibukannya bahkan kian meningkat dengan semakin intensifnya aktivitas bongkar-muatnya. Kesibukan yang makin meningkat tersebut dipastikan memberikan sumbangan terhadap pencemaran lingkungan yang tidak saja terjadi di wilayah perairan atau daratan pelabuhan, tapi juga di lingkungan di luar tetapi masih di sekitar pelabuhan. Secara tidak langsung, hal ini tentu akan memberikan pengaruh terhadap kehidupan warga yang tinggal di sekitar kawasan pelabuhan. Lembaga-lembaga internasional dan para aktivis lingkungan hidup kian memberikan perhatian terhadap aktivitas pelayaran dan buangan limbah yang dihasilkan oleh sektor tersebut yang dianggap makin mencemari laut sehingga membunuh biota-biota di dalamnya. Selain di laut, ketersediaan tanah di darat semakin lama semakin berkurang. Dengan

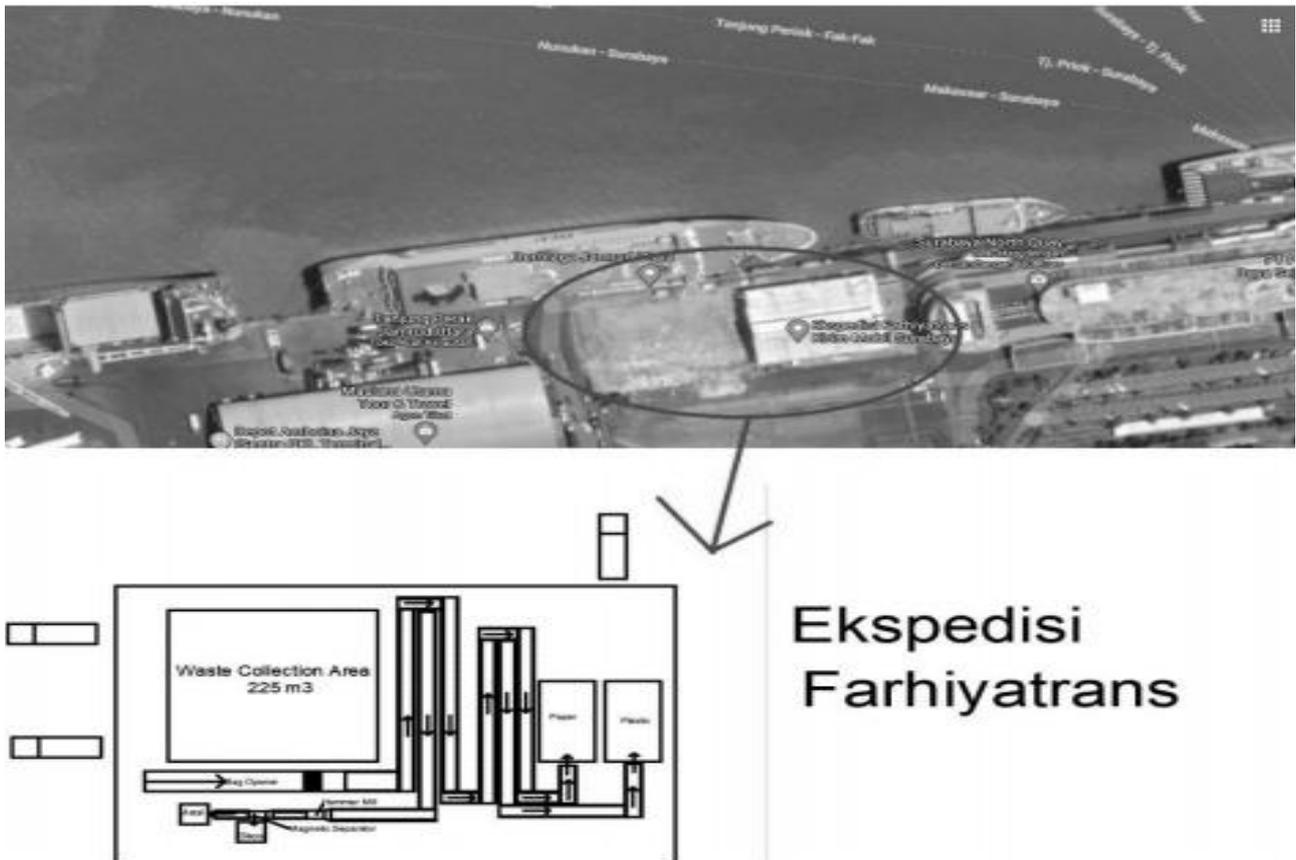
melakukan manajemen limbah padat, limbah yang dibuang ke tempat pembuangan sampah akhir menjadi berkurang. Manajemen limbah juga dapat menambah keuntungan karena melestarikan sumber daya alam dan mengurangi biaya dan energi yang dibutuhkan. Teknologi pelabuhan hijau sesungguhnya telah diperkenalkan di terminal ini, mengikuti desakan masyarakat internasional tersebut. Kendati demikian, dalam pelaksanaan dan sistemnya yang sekarang, sebagai bagian dari Pelabuhan Tanjung Perak, Terminal Jamrud ternyata bahkan belum memisahkan limbah padatnya antara yang organik dan anorganik. Terminal ini juga tidak memiliki fasilitas pemilahan sampah yang termasuk fasilitas paling mendasar dalam alur pengelolaan limbah yang dibuang dari kapal dan dihasilkan oleh instalasi-instalasi di kawasan pelabuhan.

Dalam penelitian ini, dilakukan perhitungan terhadap jumlah limbah padat yang dihasilkan oleh kapal-kapal yang bersandar atau melakukan persinggahan di dermaga-dermaga Terminal Jamrud. Perhitungan juga dilakukan terhadap aktivitas-aktivitas yang dilakukan di kawasan pelabuhan, seperti dari kantin pelabuhan, area perkantoran, toilet dan toko-toko yang menyewa atau menempati sejumlah area di terminal ini. Hasil perhitungan tersebut digunakan untuk menentukan apa yang harus dilakukan untuk mengelola limbah padat tersebut. Fasilitas-fasilitas yang terkait dengan pembuangan limbah di pelabuhan ditinjau. Fasilitas apa yang sebaiknya digunakan untuk mendukung pengelolaan limbah di terminal tersebut dianalisa dan dipertimbangkan untuk melihat apakah fasilitas tersebut dapat mengurangi tingkat pencemaran. Dari analisa yang dilakukan, sejumlah rekomendasi diberikan kepada pihak pelabuhan untuk membantu meminimalkan pencemaran di terminal tersebut, termasuk usulan menerapkan pungutan terhadap kapal-kapal yang bersandar sebagaimana yang telah dilakukan di sejumlah pelabuhan di banyak negara lain. Simulasi pengelolaan limbah yang diusulkan dilakukan dengan mempertimbangkan faktor-faktor untung-rugi dari penggunaan fasilitas-fasilitas tertentu. Diharapkan, sampah yang dikelola dapat bermanfaat tidak saja untuk otoritas pelabuhan, tetapi juga masyarakat yang tinggal di sekitar pelabuhan.

## II. URAIAN PENELITIAN

### A. Tahap Telaah

Dalam tahap awal penelitian, kajian dilakukan terhadap sejumlah peraturan perundang-undangan yang terkait pelabuhan dan penanganan limbah padat di kawasan pelabuhan, baik peraturan pemerintah Indonesia maupun panduan internasional, juga manajemen penanganan limbah di pelabuhan dan sejumlah teknologi penanganan limbah padat yang banyak digunakan.



Gambar 1. Usulan lokasi fasilitas pemilahan sampah.

Penelitian juga diawali dengan mempelajari sejumlah studi kasus di sejumlah negara untuk mengidentifikasi sumber utama limbah padat di kawasan operasional pelabuhan. Sebagian besar studi kasus tersebut menyebutkan bahwa limbah padat di pelabuhan, utamanya berasal dari kapal atau dari aktivitas industri dan fasilitas di pelabuhan, sehingga area penelitian harus mencakup seluruh instalasi daratan yang didapati di pelabuhan, selain kapal-kapal yang bersandar atau melakukan persinggahan [1][2]. Aktivitas yang beragam di atas kapal membuat jenis limbah padat yang dihasilkan kapal juga berbeda-beda. Limbah padat yang dihasilkan umumnya adalah sampah umum dan sampah yang berpotensi berbahaya, seperti sampah dapur/galian dan tumpahan kargo yang juga berpotensi membahayakan kesehatan manusia. Selain itu, ada pula limbah padat dari instalasi pelabuhan dan limbah yang masuk ke pelabuhan melalui sungai dan aliran air. Limbah tersebut diklasifikasikan dalam Lampiran V Konvensi MARPOL 1973/1978 [3].

Penelitian lapangan dilakukan langsung di Terminal Jamrud dengan melakukan pengamatan terhadap kapal-kapal yang bersandar dan meninggalkan dermaga. Pengamatan juga dilakukan terhadap kapal-kapal yang membuang limbah. Sejumlah wawancara dilakukan dengan coordinator lapangan di dermaga-dermaga Terminal Jamrud, juga salah satu anak buah kapal pesiar yang sedang bertugas menangani sampah dari kapalnya.

Proses perhitungan dilakukan untuk memperoleh jumlah limbah padat yang dihasilkan baik oleh kapal niaga maupun kapal penumpang. Volume dan jenis limbah padat yang dihasilkan dan dibuang oleh kapal bergantung pada jenis, ukuran, rute, gros tonase, lama pelayaran dan kecepatan kapal, juga jarak yang ditempuh kapal sejak persinggahan

terakhir hingga bersandar di Terminal Jamrud, jumlah orang di atas kapal dan lamanya kapal bersandar di pelabuhan. Di kapal niaga, limbah padat yang paling banyak ditemui adalah limbah organik. Sementara itu, di kapal penumpang, didapati bahwa lebih dari separuh limbah padat yang dihasilkan terdiri dari plastik dan kertas. Volume limbah plastik bahkan mencapai lebih dari 50% dari total limbah padatnya [4] [5],[2]. Sementara itu, limbah padat yang dihasilkan oleh kawasan pelabuhan biasanya berasal dari bangunan-bangunan yang berada di lingkungan pelabuhan, seperti kantin, pasar, perkantoran atau terminal bus dan separuh dari limbah padat tersebut adalah limbah organik [6]. Dalam penelitian ini, analisa dilakukan terhadap lima jenis limbah padat, yaitu limbah plastik, kertas, limbah organik, kaca dan logam.

Faktor utama dihasilkannya limbah padat dari sebuah kapal adalah jumlah orang di atasnya. Dari sejumlah referensi, dapat diperkirakan bahwa satu orang di atas kapal menghasilkan sekitar 2 kg limbah padat per hari. Oleh karena itu, jumlah orang yang berada di atas kapal harus diperkirakan. Di kapal penumpang, orang-orang yang berada di atas kapal terdiri dari penumpang dan awak kapal. Sementara itu, di kapal niaga, hanya ada awak kapal saja. Namun, selama berlangsungnya proses bongkar-muat di kapal niaga, sebagian besar anak buah kapalnya tetap tinggal di atas kapal untuk berjaga atau mengoperasikan keran angkat kapal. Oleh karena itu, mereka tetap menghasilkan limbah [7]. Jumlah awak kapal baik di kapal niaga maupun kapal penumpang mengacu kepada Keputusan Menteri Perhubungan Nomor 70 Tahun 1998 yang mengklasifikasikan jumlah awak kapal niaga berdasarkan gros tonase kapal. Sementara itu, jumlah penumpang kapal

Tabel 1.  
Volume limbah padat yang dibuang di pelabuhan

Skenario	Limbah padat dari kapal (kg/minggu)	Limbah padat dari area pelabuhan
Tinggi	53.818,39	274.054
Sedang	46.686,46	237.736,8
Rendah	30.704,09	156.351,4

Tabel 2.  
Persentase efisiensi fasilitas pengolahan limbah padat ( $\eta$ )

Jenis limbah padat	PMS	FI	FP	DA
Kertas	70	89	35	25
Organik	-	99	65	55
Plastik	70	98	0	0
Logam	70	3	0	0
Kaca	70	2	0	0
Lain-lain	-	75	0	0

Tabel 3.  
Keuntungan/kerugian berdasarkan fasilitas dan jenis limbah padat

Jenis limbah	FP (US\$)	PMS (US\$)	DA (US\$)	FI (US\$)
Plastik	0	665,55	0	1.176,910387
Kertas	419,888	231,84	-380,2029168	-28,6559392
Organik	2.551,384	0	-966,9160697	-947,0168734
Kaca	0	9,585	0	0
Logam	0	83,84	0	0
Total	2.971,272	990,815	-1347,118986	201,2375746

bukan awak diasumsikan 5% dari total jumlah orang di atas kapal [8]. Umur kapal tidak mempengaruhi berapa jumlah limbah padat yang dihasilkan, tetapi dapat digunakan sebagai pendekatan atau untuk memperkirakan teknologi kapal. Menurut Konferensi Perserikatan Bangsa-Bangsa mengenai Perdagangan dan Pembangunan (UNCTAD = *United Nations Conference on Trade and Development*), usia rata-rata kapal niaga adalah 21 tahun. Sejumlah studi mengindikasikan bahwa jumlah limbah padat yang dibakar menjadi abu di atas kapal untuk dibuang kemudian ke laut atau di pelabuhan saat bersandar, bergantung pada usia dan instalasi kapal. Sementara itu, jarak yang ditempuh sejak persinggahan terakhir mempengaruhi volume limbah yang dibuang [7]. Secara umum diduga bahwa semakin jauh jarak yang ditempuh, semakin banyak pula limbah yang dihasilkan. Namun, kendati MARPOL 73/78 melarang pembuangan limbah di laut, konvensi ini tidak mendefinisikan secara spesifik situasi seperti apa yang memberlakukan larangan tersebut. Ini berarti bahwa jumlah sampah yang dibuang di pelabuhan bisa jadi lebih sedikit dari yang diperkirakan. Hal ini dikarenakan adanya kemungkinan bahwa limbah sudah dibuang ke laut dalam pelayaran dari satu pelabuhan ke pelabuhan persinggahan berikutnya. Oleh karena itu, hubungan antara jarak tempuh dan jumlah limbah yang dihasilkan berbanding terbalik. Semakin panjang rutenya, semakin besar pula kemungkinan bahwa kapal membuang limbah ke laut kendati dengan memenuhi ketentuan umum yang berlaku secara internasional.

Dalam menghitung volume limbah padat, kapasitas Terminal Jamrud diperhitungkan untuk mengetahui perkiraan berapa jumlah kapal yang dapat bersandar di dermaga-dermaganya. Namun, karena data spesifik mengenai kapasitas sesungguhnya dari Terminal Jamrud tidak tersedia, untuk mengetahui kapasitasnya, sebuah tata letak (*layout*) mengenai posisi kapal acuan perlu digambarkan pada sketsa Terminal Jamrud. Dalam penelitian ini, kapasitas Terminal Jamrud diperkirakan dengan menggunakan skenario sedang

dengan asumsi bahwa setiap hari di Terminal Jamrud, terdapat kapal yang sesuai dengan gambaran dari skenario tersebut. Berdasarkan skenario tersebut, diperkirakan bahwa dermaga-dermaga di Terminal Jamrud dapat menampung paling tidak dua kapal penumpang berukuran 10.500 GT, dua kapal penumpang berukuran 5.000 GT, dua kapal niaga berukuran 12.000 GT, dua kapal niaga berukuran 9.000 GT, empat kapal niaga berukuran 6.000 GT dan dua kapal niaga berukuran 3.000 GT. Selain itu, tidak semua kapal membuang limbah padat mereka di pelabuhan karena sejumlah faktor. Dari total kapal yang bersandar, hanya 14% yang membuang limbah padat mereka di pelabuhan [9].

Limbah padat yang dihasilkan di kawasan pelabuhan perlu mendapat perhatian khusus karena setiap tahun, volumenya 9,43 kali lebih besar daripada volume limbah padat yang dibuang oleh kapal. Namun, dari total volumenya, sekitar 46% adalah limbah hijau sehingga tidak perlu diproses. Tabel 1 memperlihatkan hasil perhitungan volume limbah padat yang dihasilkan oleh kapal dan kawasan pelabuhan per minggu berdasarkan skenario tinggi, sedang dan rendah.. Limbah tersebut terdiri dari 54,79 ton plastik, 45,22 ton kertas, 12,17 ton limbah organik, 14,89 ton kaca, 9,18 ton logam dan 3,98 ton limbah lain. Limbah lain yang dimaksud adalah limbah tambahan, seperti limbah botol dan kaleng, limbah berbahaya dan limbah operasional. Limbah botol dan kaleng hanya terdapat pada kapal penumpang. Sementara itu, yang disebut limbah operasional adalah limbah perawatan minor pada kapal, seperti penggantian instalasi listrik, pengecatan kamar dan reparasi kecil di atas dek kapal. Ada pula yang disebut limbah muatan. Limbah muatan adalah residu kargo. Biasanya limbah ini muncul pada saat dilakukannya proses bongkar-muat. Pada umumnya, residu kargo dibersihkan oleh operator penanganan kargo (*cargo handling*) atau pihak kapal yang bersangkutan. Berdasarkan pengamatan dan wawancara yang dilakukan sepanjang survei lapangan, residu kargo biasanya langsung dibersihkan dengan dibuang ke laut oleh petugas di lapangan. Limbah muatan tersebut beragam jenisnya, tergantung muatan apa yang dibongkar muat oleh kapal.

### B. Prediksi Trafik Kapal

Trafik kapal perlu dipertimbangkan karena, sebagai contoh, peningkatan trafik di Laut Baltik memainkan peran dalam meningkatnya dalam meningkatnya volume limbah [1]. Data tahunan yang dipublikasikan oleh Badan Pusat Statistik menunjukkan bahwa dari tahun 2014 hingga 2018, jumlah kapal bersandar di Terminal Jamrud dari luar negeri tidak menunjukkan kenaikan atau penurunan secara signifikan. Dari perhitungan dengan skenario sedang, didapat bahwa jumlah kunjungan kapal di Terminal Jamrud pada tahun 2020 adalah 3.328 kunjungan kapal domestik dan 156 kunjungan kapal internasional. Jumlah gros tonase di Terminal Jamrud pada tahun 2020 adalah 50,44 juta gros tonase untuk kunjungan domestik dan 15,6 juta gros tonase untuk kunjungan internasional.

Namun, lalu-lintas kapal-kapal domestik yang bersandar berfluktuasi dari tahun ke tahun. Gros tonase kapal-kapal domestik, menurut data tersebut, juga meningkat 0,0592% setiap tahun, sementara gros tonase kapal-kapal internasional meningkat 0,0595% per tahun. Kunjungan kapal-kapal dari luar negeri terhitung stabil, meningkat 0,0148% per tahun.

Sementara itu, kunjungan kapal-kapal domestik menurun 0,0439% setiap tahunnya. Berdasarkan persentase-persentase tersebut, jumlah kapal bersandar dan gros tonase di masa mendatang dapat dirumuskan sebagai berikut:

$$T = I (1 + r)^n$$

dimana

T = total volume limbah padat pada tahun n

I = volume limbah padat pada tahun 2020

r = persentase kenaikan atau penurunan

n = tahun T (n = 0 pada tahun 2020; n = 1 pada tahun 2021;

n = 2 pada tahun 2022, dan seterusnya).

Kenaikan limbah padat di Terminal Jamrud setiap tahun dapat dirumuskan kemudian sebagai berikut:

$$T_n = \frac{((a_n / a_{n-1}) + (b_n / b_{n-1}) + (c_n / c_{n-1}) + (d_n / d_{n-1})) / 4}{T_{n-1}}$$

Berdasarkan perhitungan-perhitungan di atas, total volume limbah padat yang dihasilkan per minggu pada tahun 2030 diprediksikan mencapai 47,266 ton, lalu 48,946 ton pada tahun 2040 dan 51,852 ton pada tahun 2050.

Selain itu, peningkatan jumlah kunjungan kapal paling signifikan dalam setahun biasanya terjadi pada hari-hari menjelang hari raya Idul Fitri dan akhir tahun, utamanya kunjungan kapal-kapal penumpang. Tidak ada data yang pasti mengenai ini. Tetapi sebagai ilustrasi, menurut Dinas Komunikasi dan Informasi Jawa Timur, pada musim mudik Idul Fitri tahun 2019, Pelabuhan Tanjung Perak dilayani oleh 195 kapal penumpang, termasuk kapal-kapal tambahan dari TNI Angkatan Laut untuk mengangkut pemudik. Sebagai perbandingan, saat penulis melakukan survei selama 26 hari dari tanggal 3 Juli 2020 sampai dengan 28 Juli 2020, jumlah kunjungan kapal yang terjadi adalah sebanyak 211 kapal. Karena itu, pada waktu-waktu tertentu, seperti menjelang Idul Fitri, akhir tahun, atau mungkin pula pada masa liburan sekolah di pertengahan tahun, volume limbah padat dari kapal-kapal yang bersandar pasti lebih besar dibandingkan pada hari-hari biasa. Hal ini bisa menjadi pertimbangan bagi pelabuhan untuk mengambil strategi terkait peningkatan jumlah limbah pada masa Idul Fitri.

### III. HASIL DAN DISKUSI

#### A. Pemilahan Sampah

Karena Terminal Jamrud berada di Surabaya, perencanaan pengelolaan limbah padat di terminal tersebut harus pula mempertimbangkan peraturan pengelolaan limbah padat di kota tersebut untuk mensinergikan prosesnya. Salah satu peraturan pemerintah kota Surabaya mencakup kawasan pelabuhan sebagai fasilitas umum yang wajib menyediakan fasilitas pemilahan. Fasilitas tersebut memisahkan limbah padat dalam lima kategori – limbah berbahaya dan beracun, limbah yang dapat didaur ulang, limbah yang dapat digunakan kembali, limbah yang dapat diurai dan limbah lainnya. Pelabuhan juga diwajibkan menyediakan alat pengumpulan limbah, titik-titik penerimaan limbah sementara dan titik-titik pemrosesan sampah yang menerapkan prinsip-prinsip 3R – *reduce*, *reuse* dan *recycle* [10]. Dalam penelitian ini, dirancang dan diusulkan sebuah

sistem pengolahan limbah padat, dengan pemilahan limbah padat termasuk di antaranya. Pemilahan limbah padat perkotaan mutlak penting untuk menciptakan pengelolaan limbah padat perkotaan yang efektif [11]. Usulan ini dibuat karena kurangnya kesadaran di kalangan masyarakat, dan bahkan juga di antara para awak kapal, tentang pentingnya memisahkan limbah padat organik dan anorganik. Saat ini, Terminal Jamrud tidak memisahkan limbahnya sama sekali.

Proses pemilahan dan pengolahan limbah diawali dengan membawa semua limbah padat dari kapal di dalam kantong-kantong sampah ke tempat pengumpulan sampah. Kantong-kantong untuk limbah organik dan anorganik dipisahkan melalui proses prapenyortiran untuk memilah sampah yang berpotensi merusak mesin. Sebuah gerobak sampah kemudian membawa limbah dari kapal niaga, sementara sebuah truk sampah membawa limbah dari kapal penumpang. Berdasarkan perhitungan, hanya satu truk dan satu gerobak dibutuhkan untuk membawa sampah dari dermaga. Bak-bak sampah, yang ditempatkan di dermaga, digunakan jika limbah tidak dibawa langsung ke fasilitas pemilahan sampah. Bak-bak tersebut juga digunakan jika fasilitas pemilahan sampah berada di luar kawasan pelabuhan. Truk sampah digunakan untuk mengangkut limbah padat dari bak-bak sampah atau fasilitas pemilahan sampah. Duabelas kali perjalanan dibutuhkan truk dalam sehari untuk mengangkut limbah padat.

Volume produksi sampah harian di Surabaya adalah 9.475,21 m<sup>3</sup> pada tahun 2015, 9.710,61 m<sup>3</sup> pada tahun 2016 dan 9.896,78 m<sup>3</sup> pada tahun 2017. Untuk mengangkut sampah, anggaran sebesar Rp41.397.202.610 dialokasikan pada tahun 2019 [12]. Berdasarkan data tersebut, diasumsikan kemudian bahwa volume sampah yang dihasilkan per hari pada tahun 2019 adalah 10,327 m<sup>3</sup> dan anggaran harian untuk mengangkut sampah pada tahun yang sama adalah Rp113.416.993,5. Oleh karena itu, biaya untuk mengangkut sampah adalah Rp10.982/m<sup>3</sup>. Berdasarkan biaya tersebut, untuk mengangkut sampah dengan truk yang berkapasitas 8 m<sup>3</sup>, Rp87.860 sekali jalan per truk harus dikeluarkan. Biaya angkut untuk truk dengan kapasitas 14 m<sup>3</sup> adalah Rp153.755 sekali jalan per truk sampah.

#### B. Pengolahan Sampah

Berdasarkan ukuran mesin pemilahan, dibutuhkan ruangan yang memiliki panjang 40 meter dan lebar 28 meter. Dalam hal ini, area parkir Terminal Jamrud yang berada di kawasan dermaga penumpang utara adalah tempat yang paling cocok. Lokasinya strategis dengan jarak yang hampir sama ke semua dermaga. Lokasi tersebut juga memiliki akses keluar masuk untuk truk sampah dan tempat pemasangan fasilitas pemilahan tidak akan menghalangi truk-truk yang akan masuk ke kapal (Lihat Gambar 1). Namun, jika kelak fasilitas pemilahan dibangun, hal ini harus didiskusikan dengan para pemangku kepentingan terkait karena Rencana Induk Pelabuhan Tanjung Perak ditentukan oleh pemerintah, dalam hal ini otoritas pelabuhan. Dan pada kenyataannya, rencana induk tersebut kerap berubah, sehingga pembangunan fasilitas pemilahan harus menyesuaikan dengan revisi terakhir rencana induk tersebut.

Analisa dilakukan terhadap empat fasilitas pemilahan limbah padat. Fasilitas pemilahan material spesifik (PMS) dapat menerima material keras yang sudah dipilah secara

manual. Fasilitas ini dapat mendaur ulang sampah sehingga memiliki nilai jual. Fasilitas insinerator (FA) dapat membakar sampah. Fasilitas pengomposan (FP) dapat mengubah sampah organik menjadi limbah yang dapat digunakan kembali. Sementara itu, fasilitas digesti anaerobik (DA) dapat mengubah sampah menjadi gas metana ( $CH_4$ ). Setiap fasilitas memiliki efisiensinya masing-masing, tergantung dari jenis sampah yang diproses. Berdasarkan hasil analisa, didapati bahwa FA adalah yang paling tidak efisien dalam memproses logam dan kaca karena jenis-jenis limbah tersebut sangat sulit terbakar. Limbah organik cocok diproses oleh FP dan DA. Namun, jenis limbah ini tidak dapat digunakan kembali sehingga tidak dapat diproses di fasilitas PMS. Sementara itu, FP dan DA hanya dapat memproses limbah organik dan kertas karena fasilitas-fasilitas tersebut tidak dapat mengurai material-material lain, seperti logam dan kaca (Lihat Tabel 2)

Berdasarkan sejumlah parameter, simulasi dilakukan untuk menentukan fasilitas pengolahan yang mana yang cocok untuk Terminal Jamrud. FA dapat membakar limbah padat. Panas yang dihasilkan selama proses dapat digunakan untuk tenaga listrik. Fasilitas DA dapat mengubah limbah padat menjadi biogas yang dapat memproduksi listrik. Energi listrik yang dihasilkan oleh FI dan DA that will produce electricity. FP dapat mengubah limbah organik menjadi pupuk.

Fasilitas PMS dapat memisahkan limbah padat yang dapat didaur ulang dari yang lain. Setelah dikurangi dengan biaya operasional, diketahui kemudian bahwa fasilitas yang paling menguntungkan adalah fasilitas pengomposan dengan keuntungan US\$2.971,27 per hari. Tingginya keuntungan dikarenakan rendahnya biaya operasional dan tingginya harga jual pupuk kompos. Fasilitas paling menguntungkan berikutnya adalah PMS dengan keuntungan US\$990,82 dan FI dengan keuntungan US\$201,24 per hari. Fasilitas DA menghasilkan kerugian karena rendahnya efisiensi energinya sehingga harga jual listrik tidak mampu menutupi biaya operasionalnya. Keuntungan /kerugian berdasarkan fasilitas dan jenis limbah pada dapat dilihat pada Tabel 3.

#### IV. KESIMPULAN/RINGKASAN

Penelitian dan analisa tentang pengelolaan limbah padat yang dihasilkan oleh kapal dan kawasan pelabuhan, dan juga mengenai bagaimana kota Surabaya menangani masalah sampahnya, memberikan gambaran bagaimana limbah padat di pelabuhan seharusnya ditangani. Limbah padat yang berada di kawasan Terminal Jamrud dapat ditangani oleh pihak pelabuhan sendiri dan tidak memerlukan perusahaan luar untuk melakukannya. Berdasarkan perhitungan yang dilakukan, limbah padat dari kapal niaga membutuhkan sekali perjalanan oleh truk untuk mengumpulkan sampah. Namun, supaya lebih praktis, dua kali perjalanan dalam sehari dibutuhkan, pada siang dan malam hari. Sementara itu, 8 hingga 12 kali perjalanan per hari dibutuhkan untuk mengangkut sampah dari dermaga-dermaga penumpang. Hal ini juga dapat dilakukan sendiri oleh pihak pelabuhan dengan memberdayakan satu truk dan satu gerobak.

Fasilitas pemrosesan paling menguntungkan adalah fasilitas pengomposan dan fasilitas pemilahan material spesifik. Jika dioperasikan, kedua fasilitas tersebut dapat

memberikan manfaat. Fasilitas pengomposan hanya dapat memproses limbah padat organik dan kertas. Oleh karena itu, fasilitas tersebut perlu disertai dengan fasilitas pemilahan material spesifik untuk mengolah plastic, kaca dan logam.

Dalam laporannya pada Juni 2017, Komisi Eropa menyebutkan beragam pilihan untuk mendorong perilaku ramah lingkungan dalam industri pelayaran (European Commission, 2017). Termasuk di antaranya adalah memberikan insentif kepada industri pelayaran yang dalam operasi maritimnya mengedepankan langkah-langkah yang lebih ramah lingkungan untuk mengurangi atau membatasi dampak negatif transportasi laut.

Baik Organisasi Maritim Internasional (IMO) dan Uni Eropa sepakat bahwa pencemaran di laut dapat dikurangi dengan menyediakan fasilitas pembuangan limbah di pelabuhan [13],[3]. Dalam konteks ini, semua kapal yang bersandar di pelabuhan-pelabuhan Eropa diwajibkan membuang limbah mereka, kecuali mereka dapat membuktikan bahwa mereka memiliki fasilitas penyimpanan sampah yang memadai hingga tiba di persinggahan berikutnya. Namun, setiap kapal yang bersandar di sebuah pelabuhan di Eropa harus membayar pungutan sebagai kontribusi untuk perawatan fasilitas pengepulan/penerimaan limbah tanpa memandang apakah mereka membuang limbah di pelabuhan [14]. Di sebagian besar pelabuhan, pungutan diterapkan ke segala jenis limbah. Namun, karena jenis limbah bergantung pada berbagai macam faktor, akan lebih baik bila faktor-faktor tersebut dipertimbangkan dalam menentukan jumlah pungutan. Dalam upaya meningkatkan pengelolaan limbah padat di Terminal Jamrud, sangat direkomendasikan kepada Pelabuhan Tanjung Perak untuk menerapkan pungutan seperti yang dilakukan sejumlah pelabuhan di negara-negara lain, terutama di Uni Eropa. Tanjung Perak dapat memperkirakan volume limbah padat yang dihasilkan saat kapal bersandar dengan mempertimbangkan ukuran, usia dan kecepatan rata-rata kapal, juga jarak yang ditempuh kapal sejak dari persinggahan terakhir dan jumlah orang di atas kapal. Dengan mempertimbangkan factor-faktor tersebut, Pelabuhan Tanjung Perak dapat menerapkan pungutan untuk pengumpulan sampah di pelabuhan. Pungutan semacam itu diharapkan dapat memberikan manfaat baik untuk pihak otoritas pelabuhan maupun operator kapal. Jumlah pungutannya sebaiknya berbeda untuk kapal-kapal yang memilah limbah padat organik dan anorganiknya dan kapal-kapal yang mencampur sampahnya.

Dalam mempertimbangkan untuk membangun fasilitas pengepulan/penerimaan limbah, pihak otoritas pelabuhan kadangkala berpikir bahwa biayanya tidaklah murah. Oleh karena itu, sebuah sistem yang terintegrasi harus dibangun. Otoritas pelabuhan dapat mempertimbangkan untuk bekerja sama dengan industri-industri terkait. Bekerja sama dengan perusahaan-perusahaan angkutan mungkin dapat mengurangi biaya. Bilamana mungkin, fasilitas pemilahan ini dipasang di kawasan pelabuhan untuk mengurangi biaya angkut sampah. Namun, karena Rencana Induk Tanjung Perak kerap berubah, direkomendasikan untuk tidak membangun fasilitas pengepulan dan pemilahan limbah padat secara permanen. Pembangunan fasilitas yang tidak permanen akan membuat fasilitas tersebut kelak mudah dipindahkan bilamana keberadaannya dapat mengganggu kawasan operasional

pelabuhan, khususnya kawasan untuk kapal=kapal penumpang. Fasilitas pemrosesan limbah padat dapat dibangun di luara kawasan pelabuhan dengan mempertimbangkan biaya transportasi. Hal ini dapat dilakukan dengan bekerja sama dengan Pemerintah Kota Surabaya karena mereka telah memiliki sebuah fasilitas insinerator di Benow, juga bank-bank sampah untuk sampah kering dan fasilitas-fasilitas pengomposan. Otortitas pelabuhan juga perlu menerapkan peraturan agar semua kapal yang bersandar di Terminal Jamrud memisahkan limbah padat organik dan anorganik mereka sehingga proses pemilahan di pelabuhan menjadi lebih mudah.

#### DAFTAR PUSTAKA

- [1] M. Wilewska-Bien, L. Granhag, and K. Andersson, "Pathways to reduction and efficient handling of food waste on passenger ships: from Baltic Sea perspective," *Environ. Dev. Sustain.*, vol. 22, no. 1, pp. 217–230, 2020, doi: 10.1007/s10668-018-0192-1.
- [2] S. L. Pereira, C. M. M. Fontana, F. F. Caio, and C. A. Sakurai, "Management of port solid waste framework," *Int. J. Energy Environmnet*, vol. 8, pp. 27–33, 2014.
- [3] I. M. O. (IMO), "International convention for the prevention of pollution from hhips (MARPOL)." International Maritime Organization (IMO), London, United Kingdom, 2012, [Online]. Available: [https://www.imo.org/en/About/Conventions/Pages/International-Convention-for-the-Prevention-of-Pollution-from-Ships-\(MARPOL\).aspx](https://www.imo.org/en/About/Conventions/Pages/International-Convention-for-the-Prevention-of-Pollution-from-Ships-(MARPOL).aspx).
- [4] I. R. Rahim and M. Selintung, "Studi karakteristik limbah padat domestik di kota makassar studi kasus perumahan bougenville panakukang mas," *J. Penelit. Enj.*, vol. 20, no. 2, pp. 80–84, 2016.
- [5] N. T. To and T. Kato, "Solid waste generated from ships: a case study on ship-waste composition and garbage delivery attitudes at Haiphong ports, Vietnam," *J. Mater. Cycles Waste Manag.*, vol. 19, no. 2, pp. 988–998, 2017, doi: 10.1007/s10163-016-0466-3.
- [6] G. Kanat, "Municipal solid-waste management in Istanbul," *Waste Manag.*, vol. 30, no. 8–9, pp. 1737–1745, 2010, doi: 10.1016/j.wasman.2010.01.036.
- [7] I. Perez, M. M. Gonzalez, and J. L. Jimenez, "Size matters? Evaluating the drivers of waste from ships at ports in europe," *Transp. Res. Part D Transp. Environ.*, vol. 57, pp. 403–412, 2017, doi: 10.1016/j.trd.2017.10.009.
- [8] K. P. R. Indonesia, *Peraturan Menteri Perhubungan Nomor KM 54 Tahun 2006 tentang Rencana Induk Pelabuhan Tanjung Perak*. Jakarta, 2006.
- [9] R. Mohee, D. Surroop, A. Mudhoo, and B. K. Rughooputh, "Inventory of waste streams in an industrial port and planning for a port waste management system as per ISO14001," *Ocean Coast. Manag.*, vol. 61, pp. 10–19, 2012, doi: 10.1016/j.ocecoaman.2012.02.003.
- [10] P. K. Surabaya, *Peraturan Daerah Kota Surabaya No 5 Tahun 2014 tentang Pengelolaan Sampah dan Kebersihan di Kota Surabaya*, vol. 2008. Surabaya, 2014, p. 34.
- [11] J. L. Domingo and M. Nadal, "Domestic waste composting facilities: a review of human health risks," *Environ. Int.*, vol. 35, no. 2, pp. 382–389, 2009, doi: 10.1016/j.envint.2008.07.004.
- [12] P. K. Surabaya, *Rencana Kerja Pemerintah Daerah (RKPD) Kota Surabaya*. Surabaya: Pemerintah Kota Surabaya, 2019.
- [13] E. Commission, "Study on differentiated port infrastructure charges to promote environmentally friendly maritime transport activities and sustainable transportation," Brussels, 2017. [Online]. Available: <http://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/12668653>.
- [14] P. De Langen and M. N. Nijdam, "Charging systems for waste reception facilities in ports and the level playing field: A case from north-west europe," *Coast. Manag.*, vol. 36, no. 1, pp. 109–124, 2008, doi: 10.1080/08920750701682064.