



SKRIPSI – ME141501

**ANALISA PENERAPAN TEKNOLOGI DAN KEBIJAKAN *GREENPORT*
TERHADAP PENANGANAN LIMBAH PADAT DI TERMINAL
JAMRUD SURABAYA**

Daniel Imanuel Tangkau
NRP. 0421164000010

Dosen Pembimbing
Raja Oloan Saut Gurning, S.T., M. Sc., Ph.D.
NIP. 197107201995121001

DEPARTEMEN TEKNIK SISTEM PERKAPALAN
FAKULTAS TEKNOLOGI KELAUTAN
INSTITUT TEKNOLOGI SEPULUH NOPEMBER
SURABAYA
2020

Halaman ini sengaja dikosongkan



TUGAS AKHIR

**ANALISA PENERAPAN TEKNOLOGI DAN
KEBIJAKAN *GREENPORT* TERHADAP
PENANGANAN LIMBAH PADAT DI TERMINAL
JAMRUD SURABAYA**

DANIEL IMANUEL TANGKAU
0421164000010

DOSEN PEMBIMBING
Raja Oloan Saut Gurning, S.T., M.Sc., Ph.D.
NIP. 197107201995121001

**DEPARTEMEN TEKNIK SISTEM PERKAPALAN
FAKULTAS TEKNOLOGI KELAUTAN
INSTITUT TEKNOLOGI SEPULUH NOPEMBER
SURABAYA
2020**

197107201995121001

197107201995121001

Halaman ini sengaja dikosongkan

LEMBAR PENGESAHAN

ANALISA PENERAPAN TEKNOLOGI DAN KEBIJAKAN *GREENPORT* TERHADAP PENANGANAN LIMBAH PADAT DI TERMINAL JAMRUD SURABAYA

TUGAS AKHIR

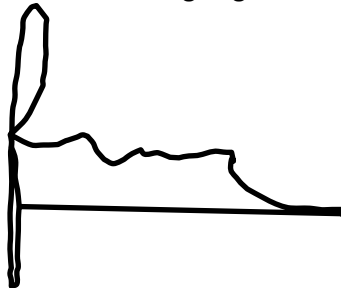
Diajukan untuk Memenuhi Salah Satu Syarat
Memperoleh Gelar Sarjana Teknik
pada
Bidang Studi *Reliability, Availability,
Management and Safety* (RAMS)
Program S-1 Departemen Teknik Sistem
Perkapalan
Fakultas Teknologi Kelautan
Institut Teknologi Sepuluh Nopember

Oleh:

Daniel Imanuel Tangkau

NRP. 04211640000010

Disetujui oleh Pembimbing Tugas Akhir



Raja Oloan Saut Gurning, ST., M.Sc., Ph.D.
(NIP 197107201995121001)

Halaman ini sengaja dikosongkan

LEMBAR PENGESAHAN

ANALISA PENERAPAN TEKNOLOGI DAN KEBIJAKAN *GREENPORT* TERHADAP PENANGANAN LIMBAH PADAT DI TERMINAL JAMRUD SURABAYA

TUGAS AKHIR

Diajukan untuk Memenuhi Salah Satu Syarat
Memperoleh Gelar Sarjana Teknik
pada
Bidang Studi *Reliability, Availability,
Management and Safety* (RAMS)
Program Studi S-1 Departemen Teknik Sistem
Perkapalan
Fakultas Teknologi Kelautan
Institut Teknologi Sepuluh Nopember

Penulis:

Daniel Imanuel Tangkau

NRP. 04211640000010

Disetujui Oleh,

Kepala Departemen Teknik Sistem Perkapalan


Beny Cahyono, S.T., M.T., Ph.D

NIP. 197903192008011008

Halaman ini sengaja dikosongkan

ANALISA PENERAPAN TEKNOLOGI DAN KEBIJAKAN GREENPORT TERHADAP PENANGANAN LIMBAH PADAT DI TERMINAL JAMRUD SURABAYA

Nama : Daniel Imanuel Tangkau
NRP : 0421164000010
Departemen : Teknik Sistem Perkapalan
Pembimbing : I. Raja Oloan Saut Gurning, S.T., M.Sc., Ph. D.

ABSTRAK

Sebagai negara maritim terbesar di dunia, Indonesia berupaya mengembangkan pelabuhan-pelabuhannya menjadi pelabuhan hijau. Salah satunya adalah Pelabuhan Tanjung Perak di Surabaya. Riset untuk Tugas Akhir ini mengambil salah satu terminalnya, Terminal Jamrud, yang memberikan layanan bongkar-muat barang umum dan curah kering, sebagai studi kasus. Terminal ini beroperasi selama 24 jam sehingga pasti berkontribusi terhadap pencemaran, termasuk dari limbah padatnya, baik di darat maupun di air. Sarana dan fasilitas yang mendukung tujuannya menjadi pelabuhan hijau diharapkan dibangun dalam untuk meminimalkan pencemaran lingkungan. Studi ini menganalisa bagaimana kebijakan pelabuhan membawa dampak pada penanganan limbah padat di Terminal Jamrud. Hasil riset menunjukkan bahwa jumlah limbah padat yang dihasilkan di Terminal Jamrud pada skenario sedang per minggu adalah 46,69 ton dari kapal dan 273 ton dari area pelabuhan. Limbahnya terdiri dari 54,79 ton plastik, 45,22 ton kertas, 12,17 ton organik, 14,89 ton kaca, 9,18 ton logam dan 35,98 ton lain-lain. Dalam riset ini, dua pemodelan alur penanganan limbah dibuat. Pada model 1, limbah organik dan anorganik dipisahkan, sementara pada model 2, semua limbah dicampur. Anggaran transportasi per hari yang dibutuhkan adalah Rp3,975 juta untuk model 1 dan Rp3,62 juta untuk model 2. Apabila pelabuhan menerapkan fasilitas pemilahan, anggaran fasilitas pemilahan per hari yang dibutuhkan adalah Rp9,358 juta untuk model 1 dan Rp14,383 juta untuk model 2. Disimulasikan dan dianalisa pula empat macam fasilitas penanganan limbah padat untuk mengolah limbah padat dari Terminal Jamrud. Fasilitas-fasilitas tersebut mencakup fasilitas pengomposan, pemilahan material spesifik, insinerator dan digesti anaerobik. Dari analisa yang dilakukan, disimpulkan bahwa yang paling menguntungkan adalah fasilitas pengomposan dan fasilitas pemilahan material spesifik.

Kata kunci: Pelabuhan Hijau, Limbah Padat, Fasilitas Penerimaan Pelabuhan, Sampah

Halaman ini sengaja dikosongkan

**ANALYSIS ON THE APPLICATION OF GREENPORT
TECHNOLOGY AND POLICY TO SOLID WASTE
MANAGEMENT IN SURABAYA'S JAMRUD TERMINAL**

Name : Daniel Imanuel Tangkau
NRP : 0421164000010
Department : Marine Engineering
Supervisor : I. Raja Oloan Saut Gurning, S.T., M.Sc., Ph. D.

ABSTRACT

As the world's largest maritime country, Indonesia has continuously tried to develop its ports to be greenports. One of them is Tanjung Perak Port in Surabaya. The research for this Final Assignment took one of its terminals, namely Jamrud Terminal, as a case study. Jamrud Terminal operates for 24 hours that certainly makes it contribute to pollution, including from its solid waste, both in its waters and land. Infrastructure and facilities that support its objective to be a greenport can hopefully be built in efforts to minimize environmental degradation. This study analyzes how the port authorities' policies have brought impacts to the solid waste management at Jamrud Terminal. From the research, it was discovered that in the medium scenario, the total solid waste generated at Jamrud Terminal per week is 46.69 tons of solid waste from ships and 273 tons of solid waste from the port area. The solid waste consists of 54.79 tons of plastic, 45.22 tons of papers, 12.17 tons of organic waste, 14.89 tons of glasses, 9.18 tons of metal and 35.98 tons of other waste. In this Final Assignment, two models of flow charts for solid waste management are presented. In the model 1, organic and nonorganic waste is separated, while in the model 2, all waste is mixed. For transporting the solid waste, a budget totaling Rp3.975 million is needed a day for model 1 and Rp3.62 million for model 2. If the terminal installs a separation facility, it needs a budget totaling Rp9.358 million a day for model 1 and Rp14.383 million for model 2. Simulation and analysis were conducted for four types of solid waste management facilities that will process solid waste from Jamrud Terminal. The facilities include composting facility, specific material separation facility, incinerator and anaerobic digestion facility. The analysis concluded that the most beneficial facilities are composting and specific material separation ones.

Keywords: Greenport, Solid Waste, Port Reception Facility, Garbage

Halaman ini sengaja dikosongkan

KATA PENGANTAR

Segala syukur dan puji hanya bagi Tuhan yang berkat anugerah-Nya yang melimpah membimbing langkah penulis untuk menyelesaikan penulisan Tugas Akhir ini. Atas segala bimbingan, doa dan dukungan, ungkapan terima kasih penulis persembahkan kepada:

1. Kedua orangtua Victor Tangkau dan Monica Brigitta Lanny Mawarwati, Oma Maria Irene Pusporini, Tante Christine Bernadette Tina Tjandraningsih, Tante Pauline Clara Lina Irawati dan adik sepupu Yosea Augusto Pratama yang telah mengiringi perjalanan penulis selama ini dengan doa, dukungan dan cinta yang tiada henti
2. Bapak Raja Oloan Saut Gurning, S.T., M.Sc., Ph.D. selaku dosen pembimbing dalam penyusunan Tugas Akhir ini atas bimbingannya yang tak putus kepada penulis sejak riset dimulai hingga penulisan tugas akhir ini disudahi
3. Bapak-bapak koordinator lapangan dan petugas di Terminal Jamrud Surabaya yang bersedia diganggu dengan semua pertanyaan penulis selama wawancara dari pagi hingga malam hari. Hal ini memungkinkan penulis memperoleh gambaran penanganan limbah padat di pelabuhan
4. Bapak Ir. Amiadji, M.Sc. selaku dosen wali penulis sejak semester pertama kuliah
5. Teman-teman dalam satu bimbingan – Arvin, Bagas, Daffa dan Bagas – yang saling mendukung dan menguatkan dari awal hingga akhir.
6. Para sahabat dan kakak-kakak pembimbing di Brothers' House yang selalu mendengarkan baik kisah gembira maupun kegalauan penulis selama penyusunan tugas akhir ini. Utamanya adalah Kak Renna Yulia Vernanda yang telah melatih penulis menghadapi sidang.
7. Terakhir, Tugas Akhir ini dipersembahkan untuk Opa Thomas Ignatius Budi Hartono di surga atas bimbingannya di masa kecil penulis.

Tugas Akhir ini sudah pasti jauh dari kata sempurna karena segala keterbatasan yang ada. Termasuk di antaranya pandemi COVID-19, yang membuat penulis sempat mengalami kesulitan mengumpulkan data. Oleh karena itu, penulis membutuhkan sumbangsih pikiran, saran dan kritik yang membangun dari berbagai pihak. Kiranya pula, Tugas Akhir ini dapat memberikan manfaat bagi pembaca.

Surabaya, Juli 2020

Penulis

Halaman ini sengaja dikosongkan

DAFTAR ISI

LEMBAR PENGESAHAN.....	iiiiv
ABSTRAK.....	viii
KATA PENGANTAR.....	xii
DAFTAR ISI.....	xiv
DAFTAR GAMBAR.....	xvi
DAFTAR TABEL.....	xviii
DAFTAR GRAFIK.....	xx
NOMENKLATUR.....	xii
BAB 1 PENDAHULUAN.....	1
1.1 Latar belakang.....	1
1.2 Rumusan masalah.....	2
1.3 Tujuan.....	2
1.4 Batasan masalah.....	2
1.5 Kontribusi.....	2
BAB 2 KAJIAN PUSTAKA.....	3
2.1 Pelabuhan.....	3
2.2 Manajemen limbah.....	3
2.3 Teknologi pemilahan limbah padat.....	5
2.4 Material yang cocok digunakan dalam pembangunan fasilitas.....	13
2.5 Aturan pengelolaan sampah di Surabaya.....	13
2.6 Standar-standar yang mengatur fasilitas penerimaan di pelabuhan (<i>port reception facility</i>).....	15
2.7 Studi kasus pada pelabuhan lain.....	15
2.8 Pelabuhan hijau.....	23
2.9 Kajian literatur.....	24

BAB 3 PROSES PENELITIAN.....	27
3.1 Proses perhitungan jumlah limbah padat di TJS	27
3.2 Macam-macam limbah padat di pelabuhan	36
3.3 Proses alur limbah padat di pelabuhan.....	37
3.4 Proses pemilahan dan pengolahan limbah padat	42
BAB 4 ANALISA DATA	47
4.1 Pendekatan jumlah limbah yang dihasilkan.....	47
4.2 Faktor-faktor lain yang mempengaruhi jumlah limbah	50
4.3 Simulasi jumlah sampah	52
4.4 Trafik di Terminal Jamrud Surabaya	69
4.5 Macam-macam limbah padat di pelabuhan	73
4.6 Alur penanganan limbah di pelabuhan.....	78
4.7 Perencanaan fasilitas pemilahan limbah padat.....	91
4.8 Perencanaan fasilitas pengolahan limbah padat.....	100
4.9 Desain manajemen limbah padat	110
4.10 Rekomendasi untuk pelabuhan	111
BAB 5 KESIMPULAN DAN REKOMENDASI	115
5.1 Kesimpulan	115
5.2 Rekomendasi.....	116
DAFTAR PUSTAKA	119
LAMPIRAN	127

DAFTAR GAMBAR

Gambar 2.1 <i>Hammer mill</i>	7
Gambar 2.2 Bilah peniras.....	7
Gambar 2.3 Pembuka kantong	8
Gambar 2.4 <i>Vibrating screen</i>	10
Gambar 2.5 <i>Trommel</i>	11
Gambar 3.1 Bagan alir proses penelitian.....	28
Gambar 3.2 Bagan alir proses perhitungan limbah padat di TJS	29
Gambar 3.3 Bagan alir untuk menghitung rata-rata limbah per <i>call</i>	33
Gambar 3.4 Alur limbah padat.....	39
Gambar 3.5 Bagan alir proses pengelolaan limbah padat	42
Gambar 4.1 Perkiraan kapasitas Terminal Jamrud skenario sedang	56
Gambar 4.2 Petugas <i>cargo handling</i> sedang membersihkan residu kargo.....	67
Gambar 4.3 Terminal Jamrud Surabaya.....	68
Gambar 4.4 Zonasi dan titik pengumpulan sampah	79
Gambar 4.5 Alur proses penanganan limbah padat.....	92
Gambar 4.6 Perencanaan lokasi fasilitas pemilahan.....	99
Gambar 4.7 Proses pengumpulan, pemilahan dan pengolahan limbah padat	110

Halaman ini sengaja dikosongkan

DAFTAR TABEL

Tabel 2.1 Klasifikasi limbah berdasarkan Panduan MARPOL.....	4
Tabel 2.2 Panduan ISO 21007 (ISO, 2011).....	5
Tabel 2.3 Perbandingan teknologi pengurangan ukuran	9
Tabel 4.1 Pendekatan jumlah limbah padat kapal penumpang	49
Tabel 4.2 Pendekatan jumlah limbah padat kapal kargo.....	49
Tabel 4.3 Tiga model penentu faktor pendorong pembuangan limbah	51
Tabel 4.4 Ukuran Terminal Jamrud Surabaya.....	53
Tabel 4.5 Ukuran kapal acuan.....	53
Tabel 4.6 Simulasi limbah padat yang dihasilkan kapal acuan	54
Tabel 4.7 Perkiraan kapasitas Terminal Jamrud.....	56
Tabel 4.8 Limbah padat yang dihasilkan saat kapal bersandar	57
Tabel 4.9 Limbah padat yang dihasilkan per minggu	58
Tabel 4.10 Acuan limbah yang dihasilkan (limbah per <i>call</i>)	59
Tabel 4.11 Limbah kapal yang melakukan <i>port call</i> di Tanjung Perak	60
Tabel 4.12 Rata-rata limbah per <i>call</i> berdasarkan GT-nya	62
Tabel 4.13 Jumlah persinggahan berdasarkan ukuran kapal	63
Tabel 4.14 Jumlah limbah padat selama pelayaran per minggu.....	64
Tabel 4.15 Jumlah limbah tambahan per minggu (skenario sedang)	65
Tabel 4.16 Jumlah limbah padat yang dihasilkan per minggu	66
Tabel 4.17 Jumlah limbah tambahan yang dihasilkan per minggu	67
Tabel 4.18 Limbah pelabuhan	69
Tabel 4.19 Persentase peningkatan dan penurunan dari tahun 2020.....	74
Tabel 4.20 Distribusi jenis limbah	75
Tabel 4.21 Persentase distribusi limbah (Di,j)	76
Tabel 4.22 Jumlah limbah padat per minggu berdasarkan jenisnya (TD).....	77
Tabel 4.23 Total jumlah limbah padat di Terminal Jamrud per minggu berdasarkan jenisnya	78
Tabel 4.24 Jumlah limbah organik, limbah kering, limbah campuran dan limbah berbahaya di Terminal Jamrud setiap hari	81
Tabel 4.25 Volume limbah organik, limbah kering, limbah campuran dan limbah berbahaya di Terminal Jamrud setiap hari	82
Tabel 4.26 Jumlah kantong sampah yang dihasilkan dermaga penumpang dan dermaga niaga.....	83
Tabel 4.27 Simulasi jumlah <i>trip</i> dan berat per <i>trip</i>	86
Tabel 4.28 Simulasi jumlah bak sampah dan berat per bak area dermaga penumpang dan niaga.....	87

Tabel 4.29 Simulasi jumlah bak sampah dan berat per bak area dermaga pelabuhan	89
Tabel 4.30 Biaya truk sampah.....	90
Tabel 4.31 Total jumlah limbah padat di Terminal Jamrud per jari berdasarkan jenis limbah	92
Tabel 4.32 Perbandingan pemilahan model 1 dan model 2.....	100
Tabel 4.33 Potensi energi sampah.....	101
Tabel 4.34 Persentase efisiensi fasilitas pengolahan sampah (η).....	101
Tabel 4.35 Ton CO2 yang dihasilkan per ton sampah yang diolah.....	102
Tabel 4.36 Parameter fungsi biaya	103
Tabel 4.37 Perhitungan fasilitas insinerator -1	104
Tabel 4.38 Perhitungan fasilitas insinerator -2.....	105
Tabel 4.39 Perhitungan fasilitas digesti anaerobik -1.....	105
Tabel 4.40 Perhitungan fasilitas digesti anaerobik -2.....	106
Tabel 4.41 Perhitungan fasilitas pemilahan material spesifik (PMS).....	107
Tabel 4.42 Perhitungan fasilitas pengomposan (FP)	108
Tabel 4.43 Keuntungan/kerugian berdasarkan fasilitas pengolahan dan jenis sampah.....	109
Tabel 4.44 Persentase residu yang dihasilkan	109
Tabel 4.45 Manajemen sampah di pelabuhan-pelabuhan lain.....	112

DAFTAR GRAFIK

Grafik 4.1 Trafik jumlah GT di Tanjung Perak.....	70
Grafik 4.2 Tren peningkatan jumlah kapal di Tanjung Perak	71
Grafik 4.3 Perbedaan model 1 dan model 2	90

Halaman ini sengaja dikosongkan

NOMENKLATUR

	Keterangan	Nilai	Satuan
T	Jumlah limbah per <i>call</i> kapal sampel		kg/hari
Tw,n	Jumlah limbah pelayaran yang dihasilkan kapal niaga per minggu		kg/minggu
Tw,p	Jumlah limbah pelayaran yang dihasilkan kapal penumpang per minggu		kg/minggu
Tbk,w	Jumlah limbah botol dan kaleng yang dihasilkan per minggu		unit/minggu
Th,w	Jumlah limbah berbahaya yang dihasilkan per minggu		kg/minggu
To,w,p	Jumlah limbah operasional yang dihasilkan per minggu (dermaga penumpang)		kg/minggu
To,w,n	Jumlah limbah operasional yang dihasilkan per minggu (dermaga niaga)		unit
S	Jumlah kapal		kg/minggu
Tt,n	Jumlah limbah yang dihasilkan kapal niaga per minggu		kg/minggu
Tt,P	Jumlah limbah yang dihasilkan kapal penumpang per minggu		kg/hari
Tu	Jumlah limbah umum		kg/hari
Th	Jumlah limbah berbahaya		unit/hari
Tbk	Jumlah limbah botol dan kaleng		kg/hari
Tc	Jumlah limbah saat bersandar		kg/hari
Tp	Jumlah limbah dari pelabuhan		kg/hari
Tu,n	Jumlah limbah umum kapal niaga		kg/hari
Tu,p	Jumlah limbah umum kapal penumpang		kg
Tu,a,c	Jumlah acuan limbah per <i>call</i>		unit
Tbk,a,c	Jumlah acuan limbah botol dan kaleng per <i>call</i>		kg
Th,a,c	Jumlah acuan limbah berbahaya per <i>call</i>		kg
To,a,c	Jumlah acuan limbah operasional per <i>call</i>		kg/ <i>call</i>
Tavg	Rata-rata limbah per <i>call</i>		kg/minggu
TDc	Jumlah limbah padat berdasarkan jenisnya per minggu di pelabuhan		kg/minggu
TDn1	Jumlah limbah padat berdasarkan jenisnya per minggu di dermaga niaga domestic		kg/minggu
TDn2	Jumlah limbah padat berdasarkan jenisnya per minggu di dermaga niaga internasional		kg/minggu
TDp1	Jumlah limbah padat berdasarkan jenisnya per minggu di dermaga penumpang utara		kg/minggu
TDp2	Jumlah limbah padat berdasarkan jenisnya per minggu		kg/hari

	di dermaga penumpang selatan		
PF	Persentase jumlah limbah karena faktor ukuran, umur, kecepatan, jumlah orang dan jarak pelayaran kapal		%
Nn	Jumlah <i>port call</i> kapal niaga		<i>call</i>
Np	Jumlah <i>port call</i> kapal penumpang		<i>call</i>
Cn	Koefisien limbah kapal niaga	2,7	kg/orang/hari
Cp	Koefisien limbah kapal penumpang	3,1	kg/orang/hari
Cbk	Koefisine limbah botol dan kaleng	2	unit/orang/hari
Ch	Koefisien limbah berbahaya	0,22	kg/orang/hari
Cb	Koefisien limbah bersandar	0,21	kg/orang/hari
Co	Koefisien limbah operasional	11	kg/hari
Cm	Koefisien limbah muatan	1	ton/123 ton muatan
Dp	Persentase jenis limbah di dermaga penumpang		%
Dn	Persentase jenis limbah di dermaga niaga		%
Dc	Persentase jenis limbah di pelabuhan		%
PB	Jumlah limbah yang dihasilkan setiap hari		kg/hari
PV	Volume limbah yang dihasilkan setiap hari		m ³ /hari
PK	Jumlah kantong sampah yang dihasilkan setiap hari		kantong
PT	Jumlah <i>trip</i> yang dibutuhkan untuk mengumpulkan sampah per hari		<i>trip</i> /hari
PTW	Berat limbah per <i>trip</i>		kg/ <i>trip</i>
PBS	Jumlah bak sampah yang dibutuhkan		unit
PBSW	Berat limbah per bak		kg/bak
Kp,c ; Kp,k ; Kp,h	Volume kantong plastik limbah campuran, kering dan berbahaya kapal penumpang		m ³
Kp,o	Volume kantong plastik limbah organik kapal penumpang		m ³
Kn	Volume kantong plastik semua kapal niaga		m ³
Bpms	Biaya operasi PMS	20	\$/ton
Bfi	Biaya operasi FI	80	\$/ton
Bfp	Biaya operasi FP	30	\$/ton
Bda	Biaya operasi DA	60	\$/ton
RP,k	Harga pasar kertas daur ulang	80	\$/ton
Rkc	Harga pasar kaca daur ulang	35	\$/ton
Rm	Harga pasar metal daur ulang	120	\$/ton
Rp	Harga pasar plastik daur ulang	150	\$/ton
Rpk	Harga jual pupuk kompos	272	\$/ton
Efi	Listrik yang dihasilkan fasilitas insinerator (FI)		kWh
Eda	Listrik yang dihasilkan digesti anaerobik (DA)		kWh

HV	Nilai panas/ <i>heating value</i>		kWh/ton
MP	Potensi metana		1 CH ₄ /ton
Rfi	Hasil keuntungan/kerugian pengolahan limbah FI		\$
Rpms	Hasil keuntungan/kerugian pengolahan limbah PMS		\$
Rfp	Hasil keuntungan/kerugian pengolahan limbah FP		\$
Rda	Hasil keuntungan/kerugian pengolahan limbah DA		\$

Halaman ini sengaja dikosongkan

BAB 1

PENDAHULUAN

1.1 Latar belakang

Saat ini, pencemaran, baik di darat, laut maupun udara, kian menjadi perhatian dunia. Kegiatan transportasi, terutama yang terkait dengan logistik darat dan laut, dipandang sebagai penyumbang terbesar polusi. Dalam dunia perkapalan, Organisasi Maritim Internasional (*IMO = International Maritime Organization*) membuat peraturan internasional yang disebut MARPOL 73/78. Peraturan ini dibuat dalam kaitannya dengan polusi yang berasal dari moda transportasi laut dan aturan pencegahannya.

Namun, banyak pelabuhan belum memiliki manajemen pengelolaan limbah yang baik, termasuk di Tanjung Perak, padahal Tanjung Perak telah menyandang sebutan sebagai pelabuhan hijau (*greenport*).

Salah satu dari tiga terminal Pelabuhan Tanjung Perak di Surabaya yang berada di bawah PT Pelabuhan Indonesia III, Terminal Jamrud, juga tidak memiliki manajemen sampah yang memadai. Sampah masih belum diolah dengan benar di terminal ini. Salah satu contohnya adalah tidak dipisahkannya antara limbah organik dan anorganik. Padahal, terminal yang sibuk selama 24 jam ini memberikan layanan bongkar-muat barang umum (*general cargo*) dan curah kering (*dry bulk*) baik untuk layanan domestik maupun internasional. Selain itu, terminal ini juga difungsikan sebagai dermaga pusat logistik untuk komoditi bukan peti kemas.

Sejak dioperasikan, pengguna Terminal Jamrud terus meningkat. Aktivitas bongkar muat semakin intensif terjadi yang tentu akan meningkatkan dampak terhadap lingkungan sekitar. Kendati konsep dan teknologi yang digunakan sudah berwawasan hijau, aktivitas yang meningkat ini perlu mendapat perhatian khusus.

Berdasarkan hal tersebut di atas, penulis menganalisa sejauh mana dampak aktivitas di Terminal Jamrud terhadap lingkungan darat dan perairannya. Dalam studi ini, analisa dilakukan terhadap aktivitas pembuangan limbah padat oleh kapal-kapal yang bersandar atau singgah. Dianalisa pula apakah fasilitas penunjang pelabuhan dapat meminimalkan pencemaran tersebut. Hasil analisa merekomendasikan teknologi dan pola operasi penanganan limbah padat di terminal tersebut.

1.2 Rumusan masalah

Dari latar belakang di atas, terlihat permasalahan yang muncul dan akan dikaji adalah sebagai berikut:

1. Teknologi atau inovasi apakah yang dapat diterapkan untuk mengurangi dampak pencemaran limbah padat di Terminal Jamrud Surabaya?
2. Bagaimana *trend* penerimaan limbah di Terminal Jamrud Surabaya?

1.3 Tujuan

Tujuan dari pengerjaan Tugas Akhir ini adalah sebagai berikut:

1. Mengidentifikasi dan mengestimasi besar volume limbah padat
2. Mengeksplorasi metode atau teknologi yang dapat diterapkan untuk pengelolaan limbah padat di Terminal Jamrud Surabaya
3. Merekomendasikan pola operasi penanganan limbah padat di Terminal Jamrud Surabaya sesuai dengan berbagai regulasi terkait.

1.4. Batasan masalah

Agar tetap fokus dan tidak menyimpang dari tujuan yang diinginkan, batasan masalah yang pada Tugas Akhir ini adalah sebagai berikut:

1. Penelitian ini hanya terfokus pada Terminal Jamrud Surabaya
2. Lokasi pelaksanaan survei hanya dilakukan di area yang ditetapkan.

1.5. Kontribusi/manfaat

Pengerjaan Tugas Akhir ini diharapkan dapat memberikan manfaat bagi sejumlah pihak. Termasuk di antaranya adalah masukan kepada manajemen PT Terminal Jamrud Surabaya mengenai apakah pelabuhan mereka sudah memenuhi kategori sebagai *greenport*.

BAB 2

KAJIAN PUSTAKA

2.1 Pelabuhan

Menurut Peraturan Pemerintah No. 69 Tahun 2001 Pasal 1 ayat 1 tentang Kepelabuhanan, pelabuhan terdiri dari daratan dan perairan di sekitarnya. Ada batas - batas tertentu di sekitarnya sebagai tempat kegiatan pemerintahan dan kegiatan ekonomi untuk kapal bersandar dan berlabuh. Juga ada tempat naik turun penumpang dan/atau bongkar muat barang dan tempat perpindahan intra dan antarmoda transportasi. Pelabuhan dilengkapi dengan fasilitas keselamatan pelayaran dan kegiatan penunjang pelabuhan.

Dalam peraturan tersebut, pelabuhan-pelabuhan di Indonesia dibedakan atas tiga kategori, yaitu:

- a. Pelabuhan umum: pelabuhan yang diselenggarakan untuk kepentingan pelayaran masyarakat umum
- b. Pelabuhan daratan: suatu tempat tertentu di daratan dengan batas – batas yang jelas. Pelabuhan ini dilengkapi dengan fasilitas bongkar muat, lapangan penumpukan dan gudang. Ada pula prasarana dan sarana angkutan barang dengan cara pengemasan khusus. Pelabuhan ini juga berfungsi sebagai pelabuhan umum.
- c. Pelabuhan khusus: pelabuhan yang dikelola untuk kepentingan sendiri guna menunjang kegiatan tertentu.

Dari ketiga kategori tersebut, Terminal Jamrud Surabaya dapat digolongkan ke dalam pelabuhan daratan.

2.2 Manajemen limbah

Dalam manajemen limbah pelabuhan, aliran limbah padat di pelabuhan dapat dijadikan acuan dalam sistem perencanaannya. Analisa aliran limbah padat dilakukan terhadap sejumlah studi kasus di negara-negara lain. Dalam analisa studi kasus Pelabuhan Port Louis (PLJ), Mohee et al. (2012) menetapkan area penelitian pada kawasan industri di dalam lingkungan pelabuhan. Cakupannya adalah seluruh instalasi daratan yang didapati di pelabuhan. Penelitiannya terfokus pada jumlah dan klasifikasi limbah padat yang dihasilkan di kawasan pelabuhan dari aktivitas industri dan kapal. Cakupan penelitiannya meliputi:

- limbah padat yang dihasilkan kapal (sampah umum dan sampah yang berpotensi berbahaya, seperti sampah dapur/galian dan tumpahan kargo yang juga berpotensi berbahaya untuk kesehatan manusia)
- limbah padat dari instalasi pelabuhan
- limbah yang masuk ke pelabuhan lewat sungai dan aliran air.

Analisa inventaris

Total limbah padat yang dihasilkan dalam kawasan operasional pelabuhan mencakup limbah dari kapal, aktivitas industri dan fasilitas pelabuhan. Inventarisasi dilakukan terkait jumlah dan karakteristik limbah padat yang dihasilkan dalam kawasan pelabuhan. Metodologinya terdiri dari pengumpulan data baik lewat pengambilan sampel dan wawancara. Selain itu, diambil pula perkiraan berdasarkan ketersediaan sumber daya dan kerja sama dengan para pemangku kepentingan. (Mohee et al., 2012)

Limbah yang dihasilkan kapal dipisahkan dan diukur menurut sejumlah kategori (Lihat Tabel 2.1) yang ditetapkan Konvensi MARPOL oleh otoritas pelabuhan (Mohee et al., 2012).

Tabel 2.1 Klasifikasi limbah berdasarkan Panduan MARPOL

Kode	Detail	Kode	Detail
A	Logam	I	Ban
B	Plastik	J	Abu Pembakaran
C	Kertas	K	Tekstil
D	Kaca	L	Limbah Pertanian
E	Kayu	M	Pecahan Konstruksi
F	Makanan	N	Otomobil
G	Hiasan	O	Lempengan Logam
H	Baterai	-	-

Sumber: Mohee et al., 2012

Pendekatan prediksi limbah padat di pelabuhan

Limbah padat di kapal dapat diperkirakan berdasarkan jumlah orang per hari. Acuananya, satu orang akan menghasilkan sekitar 2 kg limbah padat setiap hari. Densitas limbah ini diperkirakan sekitar 0,25 kg/dm³ dengan analogi limbah yang dimaksud adalah limbah domestik dan limbah komun. Ini berarti volume harian limbah padat yang dihasilkan per orang adalah sekitar 4 dm³. (Ulniković, 2011)

ISO 21007:2011

Standar ISO 21007 tahun 2011 menjelaskan jumlah limbah domestik dan limbah pemeliharaan (*maintenance*) yang dihasilkan oleh kapal. (Lihat Tabel 2.2)

Tabel 2.2 Panduan ISO 21007

	Jumlah limbah per orang per hari
Limbah domestik (orang/hari)	Sampah basah: 1,4 - 2,4 kg Sampah kering: 0,5 - 1,5 kg
Limbah operasional (/hari)	Deposit permesinan: 4 kg Cat terkelupas: 3 kg Limbah sekaan: 3 kg Limbah sapuan: 1 kg

Sumber: ISO, 2011

Penanganan Limbah Padat di Pelabuhan

Penanganan limbah padat di pelabuhan dilakukan dengan berbagai cara, tergantung dari jenis limbah padat yang ditangani. Sebagai contoh, limbah padat berbahaya pasti ditangani dengan cara khusus. Namun secara umum, penanganan limbah di pelabuhan dibagi menjadi dua, yaitu secara langsung dan tidak langsung. Beberapa pendekatan yang digunakan dalam penanganan limbah padat atau sampah di pelabuhan antara lain adalah (Wallace, 1998):

- 1) Sampah dibuang langsung oleh ABK di darat ke bak penerima sampah (besar dan kecil), lalu diangkut ke TPA
- 2) Sampah dibuang langsung oleh ABK di darat ke bak penerima sampah kecil, lalu bak penerima sampah besar, baru diangkut ke TPA
- 3) Sampah dibuang langsung oleh ABK di darat ke bak penerima sampah, lalu sampah dipak, kemudian dibuang ke TPA atau dapat disimpan dahulu
- 4) ABK membuang sampah dari kapal langsung ke truk sampah di pelabuhan atau melalui kapal sampah, lalu dibuang ke TPA.

2.3 Teknologi pemilahan limbah padat

Ada sejumlah teknologi untuk melakukan pemilahan limbah padat. Limbah padat dapat dipilah dengan mengurangi ukurannya, memilah ukurannya ataupun melalui pemilahan densitas.

Jenis teknologi apa yang sebaiknya digunakan tergantung dari karakteristik limbah padatnya. Berikut adalah teknologi-teknologi yang dapat digunakan untuk memilah limbah padat.

2.3.1 Teknologi pengurangan ukuran (*size reduction*)

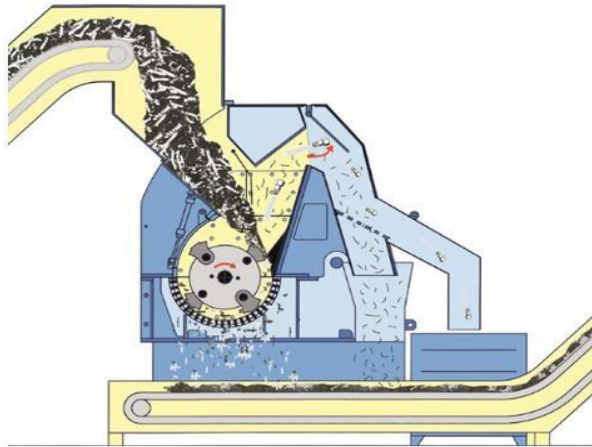
Teknologi pengurangan ukuran (*size reduction*) sangat cocok digunakan untuk limbah padat yang memiliki karakteristik getis (*brittle*) seperti kaca, puing dan/atau besi. Untuk jenis teknologi ini, mesin-mesin di bawah ini biasa digunakan:

Impactor dan hammer mill

Cara kerja mesin ini adalah memasukkan limbah padat dari *feed opening* yang biasanya terletak di bagian atas. Limbah akan jatuh ke *hammer circle*. Di dalam *hammer circle*, limbah dihancurkan menjadi baik potongan-potongan kecil maupun bagian-bagian yang nanti bisa dipisahkan. Teknologi ini biasanya digunakan untuk mereduksi ukuran limbah padat yang berukuran besar sebelum masuk ke dalam insinerator. Teknologi ini paling cocok digunakan pada material yang getis (*brittle*) seperti **kayu**, kaca, keramik dan botol kaca. (Lihat Gambar 2.1)

Peniras (*Shredder*)

Peniras adalah teknologi yang paling umum digunakan untuk mereduksi ukuran limbah padat. *Hammer mill* menggunakan tenaga hantaman (*impact force*) dalam mereduksi ukuran limbah. Sementara itu, peniras menggunakan bilah (*cutter*) untuk memotong, menghancurkan dan mereduksi ukuran limbah padat. Keunggulan dari peniras adalah bahwa semakin banyak limbah padat yang dimasukkan, semakin efektif teknologi ini.



Gambar 2.1 *Hammer mill*
Sumber: Metso Minerals, 2000

Untuk mendapatkan sedikit gambaran mengenai peniras, lihat Gambar 2.3. Bilah yang terlihat dalam gambar ini digerakkan oleh tenaga hidrolik yang memutar saling berlawanan. Jarak antara bilah menentukan ukuran hasil limbah yang akan direduksi, biasanya antara 25 – 100 mm. *Rotary shredder* tidak bisa untuk mereduksi dibawah 10 mm. Teknologi ini biasanya digunakan untuk limbah padat seperti logam, ban, kayu, palet dan peralatan elektronik.



Gambar 2.2 Bilah peniras
Sumber: Metso Mineral, 2000

Pada teknologi ini, terdapat variasi yang disebut *knife shredder*. *Knife shredder* ini lebih banyak digunakan untuk memotong limbah padat. Ukuran hasil direduksi lebih kecil oleh *rotary shredder*, yaitu berkisar 6-18 mm. Namun, dalam beberapa kasus, teknologi ini dapat mereduksi sampai dengan ukuran 1 mm. *Knife shredder* sangat efektif untuk limbah padat yang halus seperti botol plastik, kain dan kertas.

Pembuka kantung (*bag opener*)

Pembuka kantung umumnya dipasang pada bagian awal fasilitas pengolahan limbah. Hal ini dikarenakan limbah padat biasanya datang ke fasilitas dalam bentuk kantung (*bag*). Fungsi dari pembuka kantung adalah untuk membuka kantung plastik tanpa memotong atau merusak limbah di dalamnya (Lihat Gambar 2.5).



Gambar 2.3 Pembuka kantung
Sumber: Matthiessen Engineering SARL, 2014

Tabel 2.3 merangkum penjelasan mengenai keempat teknologi yang disebut di atas. Tercantum dalam tabel adalah perbandingan limbah-limbah padat apa saja yang dapat diolah oleh masing-masing teknologi.

Tabel 2.3 Perbandingan teknologi pengurangan ukuran

	Plastik	Kertas	Kaca	Kayu	Organik	Besi
<i>Hammer mill</i>	V	-	VV	V	V	V
<i>Shredder</i>	V	V	-	V	V	V
<i>Knife Shredder</i>	VV	VV	-	V	V	V
<i>Bag opener</i>	V	-	-	-	-	-

2.3.2 Pemilahan ukuran (*size separation*)

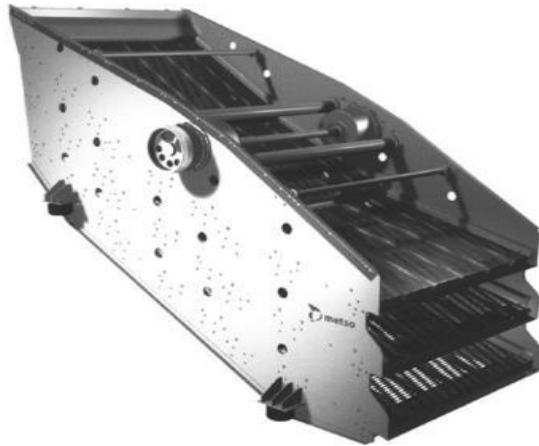
Pemilahan ukuran adalah proses pemilahan limbah padat berdasarkan ukurannya. Tujuan dari pemilahan ukuran ini adalah untuk:

1. menyingkirkan material yang terlalu besar (*oversize*) dari proses pengolahan limbah
2. memisahkan material masukan (*feed*) agar *feed* yang masuk sesuai dengan ukuran yang ditentukan
3. menyeleksi limbah berdasarkan ukuran setelah melalui proses penirasan
4. menyingkirkan material yang terlalu besar dari abu pembakaran (umumnya pada *incinerator plant*).

Jenis teknologi yang biasa digunakan adalah:

Vibrating screen

Vibrating screen memisahkan material menggunakan vibrasi. *Vibrating screen* sangat cocok untuk memisahkan material seperti kaca, beberapa material yang terlalu kecil (*undersize material*) dari limbah rumah tangga dan material konstruksi. *Vibrating screen* tidak bisa digunakan untuk memisahkan material basah dan material halus seperti kertas, kain dan sejenisnya. Gambar di bawah adalah salah satu contoh *vibrating screen* (Lihat Gambar 2.6).



Gambar 2.4 *Vibrating screen*
Sumber: Metso Mineral, 2005

Sarung bijih putar (*rotary screen/trommel*)

Rotary screen (Lihat Gambar 2.7) adalah yang paling sering digunakan karena teknologi ini memiliki keefektifan dan keefisienan yang tinggi. Kemungkinan terjadinya penyumbatan juga sangat kecil. Secara umum, sarung bijih putar adalah sebuah drum besar yang diletakkan dengan kemiringan 2° sampai 5° . Material akan dimasukkan ke ujung yang lebih tinggi dan di dalam drum, material akan diputar. Material yang kecil akan terpisah keluar dari drum. Sarung bijih putar biasanya diletakkan sebelum dan sesudah peniras:

- Sarung bijih putar dipasang sebelum peniras apabila *feed* mengandung persentase besar dari material anorganik seperti batu, logam, kontainer kaca, kardus dan koran.
- Sarung bijih putar dipasang setelah peniras untuk memisahkan material organik (mudah terbakar) dari material anorganik.



Gambar 2.5 *Trommel*
Sumber: Metso Material, 2000

Disk screen

Disk screen terdiri dari beberapa *bar* atau poros paralel dan horisontal dengan jarak yang sama yang dipasang tegak lurus dengan arah laju material. Setiap poros terdiri dari piringan yang berbentuk lonjong, bulat atau bintang. Poros akan berputar searah dengan laju material. Material yang berukuran terlalu kecil akan jatuh ke bawah, di sela-sela poros dan piringan yang ada. *Disk screen* biasanya digunakan untuk material seperti logam, kaca, kayu, ban dan limbah konstruksi. *Disk screen* memiliki beberapa keuntungan dibandingkan *screen* lainnya, yaitu:

- Hampir tidak ada kemungkinan material tersumbat saat pemilahan. Apabila terjadi pemilahan, material akan dapat terbersihkan sendiri oleh rotasi
- Waktu pemilahan material lebih cepat
- Tidak terjadinya penyumbatan oleh material yang besar dan panjang.

2.3.3 Densitas (pemilahan gravitas)

Pemilahan jenis ini memisahkan limbah yang memiliki densitas besar dan limbah yang memiliki densitas kecil. Dua produk yang biasa dihasilkan oleh pemilahan densitas adalah:

- Fraksi ringan yang umumnya terdiri dari material organik seperti kertas, plastik dan limbah makanan
- Fraksi berat yang umumnya terdiri dari material anorganik seperti golongan metal dan pecahan konstruksi.

2.3.4 Penyortiran

Penyortiran manual (dengan tangan) adalah metode pertama yang digunakan dalam penyortiran sampah. Sampai sekarang, metode ini masih sering digunakan. Pekerja biasanya menggunakan patokan warna, bentuk, transparansi atau alat dalam melakukan penyortiran. Penghitungan dalam penyortiran manual dapat dilakukan dengan diketahuinya: berat limbah pada per 1 m², persentase material yang akan dipilah, kapasitas sortir pekerja, kecepatan konveyor, jarak antar pekerja, dan lebar konveyor. Penentuan jumlah pekerja dan panjang dari konveyor dapat ditentukan dengan:

$L = (N \times D) + L_o + L_u$, di mana:

L = panjang konveyor (meter)

N = jumlah pekerja (orang)

D = jarak antar-pekerja (meter)

L_o = panjang masukan (meter)

L_u = panjang keluaran (meter)

$N = Q / S$, di mana:

N = jumlah pekerja (orang)

Q = jumlah limbah yang disortir (ton/jam)

S = kapasitas penyortiran per orang (ton/jam)

$V = F / (W \times 60 \text{ menit/jam})$, di mana:

V = kecepatan konveyor (m/menit)

F = *feed rate* konveyor (ton/jam)

W = berat limbah per 1 m² (ton/m²)

V = kecepatan konveyor (m/menit)

$Q = F \times f$, di mana:

Q = jumlah limbah yang disortir (ton/jam)

F = *feed rate* konveyor

f = persentase jumlah limbah yang disortir

2.4 Material yang cocok digunakan dalam pembangunan fasilitas

ASSDA (Australia Stainless Steel Development Association) melansir bahwa material *stainless steel* sudah diakui sebagai material premium untuk diaplikasikan pada peralatan di sekitar laut. Hal itu dikarenakan ketahanannya yang tinggi terhadap korosi. Dibandingkan dengan aluminium, meskipun ringan, ketahanan aluminium terhadap korosi air laut terbatas dan membutuhkan perawatan khusus.

Sebenarnya untuk aplikasi di sekitar laut, baja nirkarat tingkat (*grade*) 304 sudah cukup memadai. Tetapi yang banyak dipakai saat ini adalah baja nirkarat tingkat 316 yang sering disebut “*marine grade stainless*” atau baja nirkarat kualitas samudra. Baja nirkarat tingkat 304 biasanya hanya cocok untuk peralatan yang kerap dicuci dengan air tawar. Sementara itu, baja nirkarat tingkat 316 cocok untuk konstruksi pada dek dan komponen-komponen *rigging* yang penting. Pada komponen-komponen itu, garam dari air laut dapat terkonsentrasi dan terselip di bagian-bagian bercelah. Hal itu menciptakan kondisi yang dapat menyebabkan terbentuknya ceruk (*pitting*) pada baja nirkarat tingkat 304.

2.5 Aturan pengelolaan sampah di Surabaya

Pengelolaan sampah di Kota Surabaya diatur dalam Peraturan Daerah Kota Surabaya Nomor 5 Tahun 2014 tentang Pengelolaan Sampah di Kota Surabaya. Perda tersebut mencakup pengelolaan sampah di berbagai jenis tempat dan kawasan, termasuk di pelabuhan laut yang masuk dalam kategori fasilitas umum. Sampah yang dikelola adalah sampah rumah tangga dan sampah sejenis sampah rumah tangga.

Berdasarkan Perda tersebut, pengelolaan sampah di Kota Surabaya meliputi kegiatan-kegiatan sebagai berikut:

- a. pemilahan;
- b. pengumpulan;
- c. pengangkutan;
- d. pengolahan; dan
- e. pemrosesan akhir sampah.

• **Pemilahan sampah**

Dalam kegiatan pemilahan sampah, pengelola fasilitas umum, termasuk pelabuhan laut, wajib menyediakan sarana pemilahan

sampah berskala kawasan. Sampah dipilah dengan mengelompokkannya dalam paling sedikit 5 (lima) jenis sampah:

- a. sampah dan limbah yang mengandung bahan berbahaya dan beracun
- b. sampah yang mudah terurai
- c. sampah yang dapat digunakan kembali
- d. sampah yang dapat didaur ulang
- e. sampah lainnya.

- **Pengumpulan sampah**

Dalam kegiatan pengumpulan sampah, pengelola fasilitas umum, termasuk pelabuhan laut, wajib menyediakan:

- a. Tempat Penampungan Sementara (TPS)
- b. Tempat Pengolahan Sampah dengan Prinsip 3R -- *reduce, reuse, recycle* – (TPS 3R) dan/atau
- c. alat pengumpul untuk sampah terpilah.

- **Pengangkutan sampah**

Pengangkutan sampah dilakukan oleh Pemerintah Daerah. Alat angkut sampah disediakan oleh Pemda. Termasuk di antaranya adalah alat angkut untuk sampah terpilah yang tidak mencemari lingkungan. Sampah diangkut dari TPS dan/atau TPS 3R ke Tempat Pemrosesan Akhir (TPA) atau TPST.

TPA adalah tempat untuk memproses dan mengembalikan sampah ke media lingkungan secara aman bagi manusia dan lingkungan. Bila pengelola fasilitas umum menghasilkan sampah lebih dari 30 m³ per bulan, pengelola wajib membuang sendiri sampah ke TPST atau TPA.

Untuk kawasan yang lokasi TPA-nya berjarak lebih dari 25 kilometer, Pemda wajib menyediakan Stasiun Peralihan Antara (SPA). SPA adalah sarana pemindahan dari alat angkut kecil ke alat angkut lebih besar. SPA juga dapat dilengkapi dengan fasilitas pengolahan sampah.

- **Pengolahan sampah**

Pengolahan sampah dilakukan oleh pengelola kawasan, termasuk pelabuhan laut, dan Pemda yang meliputi kegiatan:

- a. pemadatan;
- b. pengomposan;

- c. daur ulang materi; dan/atau
- d. daur ulang energi.

Sampah yang tidak dapat diolah ditimbun di TPA.

- **Pemrosesan akhir sampah**

Pemrosesan akhir sampah dilakukan oleh Pemda dengan dua metode, yaitu:

- a. lahan urug saniter; dan/atau
- b. teknologi ramah lingkungan.

Metode lahan urug terkendali (*controlled landfill*) adalah metode pengurugan di areal pengurugan sampah dengan cara dipadatkan dan ditutup dengan tanah penutup sekurang-kurangnya setiap tujuh hari. Metode ini merupakan metode yang bersifat antara sebelum mampu menerapkan metode lahan urug saniter (*sanitary landfill*).

Metode lahan urug saniter (*sanitary landfill*) adalah sarana pengurugan sampah ke lingkungan yang disiapkan dan dioperasikan secara sistematis. Pengurugan dilakukan dengan penyebaran dan pemadatan sampah pada area pengurugan, serta penutupan sampah setiap hari.

2.6 Standar-standar yang mengatur fasilitas penerimaan di pelabuhan (*port reception facility*)

Ada beberapa standar yang mengatur tentang fasilitas penerimaan di pelabuhan dan pengelolaan limbah padat, antara lain:

- ISO 14001 tentang Sistem Manajemen Lingkungan
- ISO 16304 tentang Pengaturan dan Manajemen Fasilitas Penerimaan Limbah di Pelabuhan
- IMO MEPC 1 834 tentang Pedoman Terkonsolidasi untuk Penyedia dan Pengguna Fasilitas Penerimaan di Pelabuhan
- IMO MEPC 295 71 tentang Pedoman Pelaksanaan
LAMPIRAN V MARPOL.

2.7 Studi kasus pada pelabuhan lain

Subjudul ini memaparkan sejumlah studi kasus pengelolaan limbah padat pada pelabuhan-pelabuhan lain di sejumlah negara. Salah

satu studi kasus yang diambil adalah pengelolaan limbah padat di Kota Santos, Brasilia dan di Haiphong, Vietnam. Studi kasus ini diambil mengingat kondisi dan situasi kedua kota tersebut mirip dengan kota Surabaya. Yang lainnya adalah studi kasus di Pelabuhan Harcourt Metropolis di Nigeria. Studi kasus ini diambil karena memaparkan pengelolaan sampah yang tidak memakan terlalu banyak biaya.

2.7.1 Pengelolaan limbah padat di Kota Santos, Brasilia

Pemilahan limbah dan pendaurulangan limbah padat kota penting artinya dalam pengelolaan limbah padat yang efektif di lingkungan perkotaan (Domingo et al., 2009). Namun Pereira et al. (2014) menambahkan bahwa masalah limbah padat di kota-kota yang memiliki pelabuhan bahkan lebih besar. Selain limbah yang dihasilkan di komplek pelabuhan, masih ada lagi bergunung-gunung besar limbah yang dibawa oleh kapal dan perahu. Di sejumlah kasus, struktur yang efisien di pelabuhan sangat kurang untuk menangani limbah padat. Hal ini memberikan dampak buruk pada kualitas kehidupan di kota pelabuhan dan bahkan wilayah di sekitarnya.

Saat ini, limbah padat yang dihasilkan di kota Santos dibuang di tempat pembuangan sampah swasta Sitio das Neves yang terdiri dari 10 sel. Masing-masing sel mampu menampung sekitar 120.000 ton limbah. TPS tersebut mulai beroperasi sejak Januari 2003 dengan kapasitas penerimaan 500 ton/hari. TPS tersebut diperkirakan dapat layak digunakan selama 20 tahun.

Menjelang berakhirnya kelayakan TPS, Pereira et al. (2014) mengusulkan sebuah model pengelolaan limbah padat berdasarkan pada kegiatan-kegiatan makro sebagai berikut: a. mengidentifikasi sumber limbah padat di kawasan pelabuhan, b. menentukan kuantitas dan kualitas limbah padat yang dihasilkan, juga memilahnya berdasarkan jenisnya, di lingkungan pelabuhan, c. mendefinisikan prosedur pemilahan limbah padat, d. dan membangun sistem pemilahan limbah. Untuk membangun sistem pemilahan, dua wilayah, di dalam dan di luar pelabuhan, dirancang: Pusat Pemilahan dan Penyimpanan Sementara di dalam dan Tempat Pembuangan Akhir di luar pelabuhan. Namun, pengembangan sistem otomatis pengawasan dan kontrol otomatis sangat dibutuhkan sehingga kebijakan pengumpulan limbah lebih efisien (Attas, 2013; Domingo et al., 2009; dan Ghiani et al. 2012),

2.7.2 Teknik pengelolaan limbah perkotaan di Pelabuhan Harcourt Metropolis, Nigeria

Dalam praktiknya sekarang, pengelolaan limbah perkotaan di Pelabuhan Harcourt Metropolis di Nigeria, menurut Ujile, menghabiskan dana US\$1,02 juta per bulan. Dana itu adalah untuk pengumpulan limbah dan pembuangannya di *borrow pit*. *Borrow pit* adalah lahan bekas penggalian yang telah kehilangan lapisan tanah paling atas (*top soil*) dan lapisan tanah di bawahnya (*sub soil*). Pendekatan ilmiah, perencanaan dan kebijakan yang efektif untuk pengelolaan limbah tidak ada. Limbah dibuang di sembarang tempat.

Akibat hal-hal di atas, banjir dan penyebaran penyakit menjadi hal yang lumrah. Udara, air tanah dan air permukaan menjadi berbau. Ekonomi warga menjadi sangat terdampak dan menyebabkan tingginya angka pengangguran di antara kaum muda dan yang baru lulus sekolah. Ujile berpendapat bahwa pengelolaan limbah yang efektif dan bertanggung jawab adalah kunci dari sistem pengelolaan lingkungan, kesehatan dan keselamatan bangsa manapun. Karena itu, dia mengusulkan agar pemerintah Nigeria:

- melibatkan setiap individu dalam pengelolaan limbah
- setiap rumah tangga diharapkan melakukan pemisahan limbah di rumah masing-masing. Targetnya adalah untuk mengurangi limbah di tempat pembuangan
- logam dan limbah yang tak dapat terurai dipilah untuk dibuang/didaur ulang/diproses di tempat pembuangan sampah
- limbah makanan dikirim ke fasilitas pengomposan milik masyarakat.

Ujile mengusulkan teknik untuk fasilitas pengomposan yang disebutnya sangat ekonomis. Limbah makanan dari berbagai simpul dibawa dengan truk ke fasilitas pengomposan setiap hari.

- Di situ, limbah dipilah. Limbah organik (yang dapat terurai) dicampur dengan bahan-bahan tambahan seperti cangkang telur; limbah rumah tangga atau kotoran sapi; dan dedak gandum atau poros jagung. Rasionya 3:1:1.
- Campuran itu diukur dan ditumpuk dalam cetakan, lalu didiamkan hingga basah untuk menstabilkan suhu dan cepat dihancurkan oleh mikroorganisme selama 15-22 hari, tergantung cuaca.
- Belatung yang muncul selama proses ini digunakan untuk makanan ikan di tambak. Rencana jangka panjang untuk menyalurkan

belatung lewat kanal-kanal belatung ke tambak-tambak ikan swasta dapat juga dibuat.

- Kompos yang sudah jadi disimpan di tempat penyimpanan sementara untuk didistribusikan ke ladang-ladang pertanian dan perkebunan.

Teknik yang ditawarkan Ujile diharapkan dapat mengurangi hilangnya energi, mengurangi ukuran tempat pembuangan sampah dan mengurangi biaya. Hasil analisa Ujile menyebutkan bahwa 41% dari limbah padat perkotaan memerlukan proses pengomposan. Jadi, untuk Pelabuhan Harcourt, yang menghasilkan sampah 7.500 ton per hari, 3.075 dapat dijadikan kompos. Pengomposan itu menghasilkan nilai tambah karena menciptakan pupuk untuk petani dan belatung untuk penambak ikan

2.7.3 Pembuangan sampah di pelabuhan-pelabuhan di Haiphong, Vietnam

Penelitian dilakukan terhadap tiga pelabuhan di Haiphong, kota terbesar ketiga di Vietnam dan pelabuhan laut terpenting di Vietnam – Pelabuhan HoangDieu (HD), Pelabuhan Chuave (CV) dan Pelabuhan Tanvu (TV). HoangDieu melayani baik kapal-kapal muatan curah (*bulk carrier*) maupun kapal-kapal peti kemas (kontainer). Chuave dan Tanvu melayani kapal-kapal peti kemas. (To et al., 2015)

Tergantung dari tiap pelabuhan, pengumpulan sampah kapal dikontrol baik langsung maupun tak langsung oleh sebuah perusahaan patungan. Pengumpulan sampah dilakukan tiap hari dari jam 08:00 hingga 11:30. Pengepul sampah mendatangi semua kapal yang bersandar di pelabuhan untuk menanyakan apakah mereka ingin menggunakan jasa pengepul sampah. Menurut hasil survei, dari 269 kapal yang bersandar, 103 minta agar sampah mereka diambil dari kapal.

Setelah sampah dikumpulkan, tiap jenis sampah dari tiap kapal disimpan dan dipilah sebelum ditimbang. Ada tujuh jenis sampah yang dipilah berdasarkan kemampuan daur-ulangnya, yaitu:

- sampah makanan
- gelas
- kertas dan kardus
- plastik (contoh: kemasan plastik, botol)
- logam (contoh: kaleng)

- kain, lap
- lain-lain (contoh: kayu, karet)

Setiap jenis sampah dipilah dan disimpan di dalam tas-tas plastik. Pemilahan sampah dilakukan baik di atas kapal maupun di titik-titik pengumpulan sebelum ditimbang.

Dalam sistem sekarang, pengepul sampah mengunjungi kapal-kapal kargo dan meminta pembuangan sampah secara sukarela setiap dua hari sekali. Biaya pengumpulan sampah untuk sekali pengumpulan adalah US\$25 untuk kapal asing dan US\$10 untuk kapal Vietnam (US\$15 jika kapal berlabuh di pangkalan Angkatan Laut). Kantor Administrasi Maritim Haiphong bertugas menarik uang dari para pemilik kapal. Kantor administrasi kemudian mentransfernya ke perusahaan pengepulan sampah dan mengambil 10% dari total biaya untuk komisi. Tidak ada insentif untuk menggunakan layanan tersebut secara terus-menerus. Untuk limbah normal dan beracun dikepul oleh perusahaan-perusahaan berbeda.

Pengepul di Tanvu adalah sebuah keluarga yang termotivasi mengumpulkan sebanyak mungkin sampah. Mereka berharap dapat memperoleh penghasilan dari aktivitas pendaurlangannya nanti. Barang-barang berharga dapat dijual ke toko daur ulang dan residu sampah dibuang sebagai sampah kota. Di dua pelabuhan lainnya, titik-titik pengepulan hanyalah kawasan-kawasan kecil untuk yang tidak dapat mengakomodasi pemilahan sampah. Akibatnya, pengepul di HoangDieu dan Chuave memperoleh insentif lebih kecil untuk pendaurlangan sampah.

Komposisi sampah dari kapal muatan curah berbeda dengan yang ada di kapal kontainer. Limbah makanan di kapal muatan curah adalah 35%, dua kali lipat dari yang ada di kapal kontainer. Dari 45 kapal yang diamati, 19% kapal muatan curah dan 28% kapal kontainer dilengkapi dengan alat penggiling. Selain itu, 19% kapal muatan curah dan 50% kapal kontainer dilengkapi dengan tungku pembakaran sampah (insinerator). Perbedaan peralatan ini mungkin mempengaruhi komposisi sampah. Perbedaan jumlah limbah makanan di kapal muatan curah dan kapal kontainer mungkin juga disebabkan oleh waktu yang dihabiskan selama perjalanan dan penanganan kargo di pelabuhan. Kapal muatan curah menghabiskan lebih banyak waktu dalam pelayaran (5,63 hari) ketimbang kapal kontainer (2,25 hari) dari pelabuhan persinggahan sebelumnya ke Haiphong. Kapal muatan curah menghabiskan 3,08 hari, sementara kapal kontainer 1,09 hari untuk penanganan kargo di pelabuhan.

Perbedaan kebangsaan dan budaya di antara para awak kapal mungkin pula berkontribusi terhadap perbedaan dalam komposisi

sampah. Proporsi material yang dapat didaur ulang banyak dibuang oleh kapal-kapal kontainer di Tanvu dan Chuave. Sebagian besar kertas yang dibuang dari kapal kontainer adalah kardus, yang massanya lebih besar daripada sampah kertas yang dibuang dari kapal muatan curah.

Para perwira kapal bersedia mengikuti hukum internasional, juga peraturan perusahaan, untuk memilah sampah di atas kapal. Padahal hal itu memakan waktu dan membutuhkan area penyimpanan yang lebih besar. Tidak hanya itu. Mereka juga meminta pengklasifikasian selama proses pengepulan di pelabuhan. Mereka mengharapkan pemilahan sampah dan sistem pendaurulangan yang lebih baik di pelabuhan. Hal itu lebih baik ketimbang membuang segala macam sampah jadi satu di tempat pembuangan sampah seperti yang terjadi sekarang di semua pelabuhan di Haiphong. Ini mencerminkan adanya hubungan yang erat antara mereka dengan para penyuplai global yang memiliki keprihatinan mendalam mengenai perlindungan lingkungan hidup sepanjang aktivitas perdagangan mereka.

Para perwira tidak ingin pungutan pengepulan sampah di pelabuhan yang mahal. Mereka lebih menyukai pembayaran langsung. Mereka juga mengharapkan pemberian insentif untuk kapal yang melakukan pembuangan sampah terus-menerus di pelabuhan. Tetapi mereka bersedia menerima kenaikan pungutan bila otoritas pelabuhan mengimplementasikan kebijakan pemilahan dan pendaurulangan sampah dari kapal. Dalam hal ini, para perwira di kapal kontainer bersedia membayar lebih daripada mereka di kapal muatan curah untuk menjamin pengepulan sampah, pemilahan dan pendaurulangan di pelabuhan yang lebih baik.

2.7.4 Pengelolaan limbah padat di Pelabuhan Igoumenitsa, Yunani

Pelabuhan Igoumenitsa adalah salah satu pelabuhan terpenting di Uni Eropa yang menangani sekitar 1 juta penumpang untuk tujuan-tujuan internasional setiap tahunnya,

Terletak di Delta Sungai Kalamas, pelabuhan ini adalah pelabuhan yang sibuk dengan jumlah persinggahan 14.092 pada tahun 2010. Sekitar 34% dari jumlah persinggahan itu dilakukan oleh kapal-kapal dengan rute internasional.

Kawasan sekitar pelabuhan ini memiliki nilai ekologi tinggi. Tetapi pengoperasiannya telah menimbulkan dampak lingkungan pada kawasan pantainya yang sesungguhnya sudah menjadi kawasan akuakultur nasional. Setiap tahun, pelabuhan tersebut menghasilkan, menerima dan sekaligus menangani berbagai macam sampah dalam jumlah yang tak sedikit.

Pelabuhan Igoumenitsa memiliki fasilitas penerimaan limbah di pelabuhan sesuai yang diwajibkan oleh hukum Yunani. Otoritas pelabuhannya telah mengembangkan kebijakan lingkungan hidup yang mendukung “kesinambungan” baik bagi bisnis maupun lingkungan hidup. Otoritas pelabuhan menyerahkan seluruh proses pengumpulan, pengelolaan hingga pembuangan akhir sampah ke perusahaan-perusahaan luar dalam bentuk kontrak kerja.

Antipollution S.A. bertanggung jawab menangani limbah padat yang dibuang kapal-kapal di pelabuhan ini. Kontraktor ini menempatkan 25 tong sampah di pelabuhan yang masing-masing berkapasitas 11 liter untuk kapal-kapal rute domestic. Tong-tong itu dikosongkan 2 kali seminggu pada musim dingin dan 4-5 kali seminggu pada musim panas. Limbah padat di rute internasional sudah dikumpulkan di atas kapal dan dibawa dengan truk yang dilengkapi kompresor. Namun, informasi mengenai jumlah limbah padat yang dibuang kapal dan berapa banyak yang dapat didaur ulang sangat sedikit. Limbah padat yang dikumpulkan dibawa ke tempat pembuangan terdekat, sekitar 22 km dari pelabuhan.

Sistem kontrak yang diterapkan di pelabuhan ini memungkinkan pemilik kapal bernegosiasi langsung dengan operator fasilitas penerimaan. Negosiasi mencakup soal volume dan jenis sampah, frekuensi penggunaan fasilitas dan biayanya. Dengan adanya kontrak yang telah dinegosiasikan dan disetujui, proses administrasi bisa dipangkas. Selain itu, pengawasan terhadap kapal dapat ditingkatkan sehingga pembuangan limbah ilegal dapat diminimalkan. Otoritas pelabuhan juga menerima semacam komisi sebesar 12% dari tagihan biaya sehingga memperoleh penghasilan tambahan.

Yang masih perlu ditingkatkan oleh otoritas pelabuhan adalah pemilahan sampah karena saat ini kapal membuang sampah tanpa memilah. Akibatnya, jumlah sampah yang dapat didaur ulang atau digunakan kembali tidak dapat diperkirakan. Penting pula mengetahui berapa kapal yang dilengkapi insinerator. Selain itu, metode pendaurulangan bisa menjadi lebih ekonomis jika pungutan dapat dinegosiasikan untuk diturunkan.

2.7.5 Pengelolaan limbah makanan dari kapal di Laut Baltik

Sekitar 7.000 hingga 10.500 kg limbah padat diperkirakan dihasilkan oleh kapal-kapal pesiar di Laut Baltik per hari (Butt, 2007; Svaetichin, 2016a). Aliran limbah kaya nutrien seperti limbah makanan semakin menjadi keprihatinan karena satu-satunya ancaman terbesar

terhadap Laut Baltik saat ini adalah eutrofikasi. Eutrofikasi adalah proses perkembangbiakan tumbuhan air dengan cepat karena memperoleh zat makanan yang berlimpah akibat pemupukan yang berlebihan dari pengelolaan nutrien yang buruk (Carstensen et al., 2014; WWF, 2018).

Limbah makanan menjadi keprihatinan utama bagi penumpang dan awak kapal karena materi limbah basah ini dipengaruhi oleh aktivitas mikroba (Vaneckhaute et al., 2019). Meskipun pengelolaan limbah makanan yang dihasilkan di darat telah dibahas oleh banyak penulis, pengelolaan limbah makanan di atas kapal hanya menerima sedikit perhatian dalam khazanah sains hingga saat ini. Hanya sejumlah kecil makalah sains tersedia tentang limbah makanan yang dihasilkan di atas kapal sehingga menghadirkan data kuantitatif yang sangat bervariasi. Menurut data-data tersebut, kuantitas dan komposisi limbah makanan di kapal tergantung dari sejumlah parameter, termasuk jenis kapal, pilihan menu dan strategi pemilahan.

Kapal adalah komunitas terisolasi yang perlu mengontrol limbah makanan mereka. Jika tidak dikelola secara benar, limbah makanan dapat menyebabkan risiko kesehatan dan sanitasi yang inheren, khususnya di zona beriklim hangat. Sedimentasi limbah makanan yang dibuang ke laut dapat berdampak merugikan bagi biota laut dan meningkatkan kekeruhan. Ada sejumlah strategi alternatif pengelolaan limbah makanan. Di antaranya adalah penumbukan, pencacahan (*shredding*) atau penggilingan di atas kapal. Lalu langkah-langkah itu diikuti dengan pengumpulan di dalam tong sampah dan pembuangan ke laut atau ke fasilitas penerimaan pelabuhan (Wilewska-Bien et al., 2016, 2017, 2018).

Limbah makanan dapat diproses dengan mesin pencacah dan disimpan di atas kapal untuk dibuang ke laut atau fasilitas penerimaan pelabuhan.

Untuk limbah makanan yang dihasilkan kapal, potongan-potongan kecil (seperti limbah sayur) dapat ditumbuk atau dicacah dengan menambah air tawar. Setelah itu, potongan-potongan itu disiram lewat sistem pemipaan ke tangki dapur atau tangki limbah rumah tangga sebelum dibuang ke laut (Butt, 2007). Selain itu, limbah keras (seperti tulang), piring dan bungkus makanan umumnya disimpan di kantong untuk dibuang di fasilitas penerimaan pelabuhan. (CE Delft, 2017).

Limbah makanan internasional yang dihasilkan kapal perlu ditangani secara berbeda dari limbah makanan domestik. Hal itu dikarenakan adanya risiko penyebaran penyakit di antara manusia dan

hewan (European Commission, 2000). Jika kapal singgah di pelabuhan manapun di luar Uni Eropa, kapal tersebut dianggap berada dalam lalu lintas maritim internasional. Sisa makanan yang telah berkontak dengan limbah jasa boga internasional dianggap sebagai limbah makanan internasional. Karena itu, limbah tersebut perlu dimusnahkan melalui metode tempat pembuangan sampah atau pembakaran (Polglaze, 2003).

Limbah makanan yang berasal dari Uni Eropa dapat digunakan untuk produksi biogas di darat atau untuk strategi lain (Marcussen, 2017). Pemilahan limbah makanan di atas kapal dipandang sebagai suatu tantangan yang penting. Namun, pemilahan di atas kapal juga terkait dengan masalah higiene, tong sampah yang kotor, bau tidak sedap, serangga dan tikus. Tempat penyimpanan limbah di atas kapal juga terbatas. Masalah ini menjadi lebih serius selama perjalanan yang lebih panjang. Jika limbah tak dapat disimpan dengan benar, pendaurulangan dapat dilakukan di pelabuhan.

Berdasarkan hal-hal di atas, praktik-praktik pengelolaan terbaik untuk limbah makanan di Laut Baltik diidentifikasi oleh Vaneeckhaute (2019) sebagai berikut:

1. pemilahan limbah makanan dari limbah rumah tangga dan air limbah rumah tangga di atas kapal
2. pemilahan limbah makanan domestik dan internasional dan pembuangan di fasilitas penerimaan pelabuhan untuk pemberian nilai tambah (domestik) dan pemusnahan (internasional). Pilihan untuk menggunakan limbah makanan internasional untuk produksi biogas mungkin dapat menjadi alternatif ramah lingkungan yang menarik. Hal ini sebaiknya diteliti lebih lanjut dan dibahas di antara otoritas pembuat peraturan.

2.8 Pelabuhan hijau (*greenport*)

Pelabuhan telah menjadi poin penting dalam mengatasi eksternalitas lingkungan dan sosial. *Greenport* atau biasa disebut sebagai pelabuhan berwawasan lingkungan adalah pelabuhan yang mengutamakan fungsi otomatisasi dan lingkungan hidup (Pavlic et al.). Dalam beberapa tahun terakhir, perhatian besar dipusatkan pada operasional pelabuhan dalam upaya meminimalisir dampak dari kegiatan pelabuhan terhadap lingkungan sekitar. Pelabuhan-pelabuhan berusaha mendapatkan status “hijau” dengan memperkenalkan teknologi terbaru (Satir, 2018). Istilah *greenport* dan konsep yang mendasarinya juga telah digunakan sejak awal 1990 (Burdall, 1991). Pada akhir tahun 1990an hingga 2000an, gagasan *greenport* dianggap

sebagai ideologi baru untuk mewujudkan pembangunan berkelanjutan (di pelabuhan) dengan mengoordinasikan keseimbangan antara efek lingkungan dan manfaat ekonomi (Wang, 2007; Wooldridg, 2008). Untuk mendapatkan gelar *greenport*, pelabuhan harus mengintegrasikan keramahan lingkungan dalam segala kegiatannya (Chiu, 2014).

Gagasan utama dari pembangunan *greenport* adalah untuk menciptakan pembangunan berkelanjutan yang ditandai dengan konsumsi sumber daya yang rendah, dampak lingkungan yang kecil, mode pertumbuhan yang baik dan efek skala yang kuat (Anastasopoulou et al.).

Ada banyak tolok ukur dalam menetapkan sebuah pelabuhan sebagai *greenport*, di antaranya pengelolaan limbah padat untuk mengurangi pencemaran. *Greenport Guidelines* yang diterbitkan oleh otoritas pelabuhan New South Wales menjelaskan bahwa ketersediaan tanah semakin lama semakin berkurang. Dengan melakukan manajemen limbah, termasuk limbah padat, limbah yang dibuang ke tempat pembuangan akhir (TPA) menjadi berkurang. Manajemen limbah juga dapat menambah keuntungan karena melestarikan sumber daya alam dan mengurangi biaya dan energi yang dibutuhkan (Sydney Port Corporation, 2006).

2.9 Kajian literatur

Kajian literatur di bawah ini dibuat untuk membantu pembaca memperoleh penjelasan secara cepat terkait sejumlah parameter yang ada di dalam Tugas Akhir ini. Sumber referensi untuk penjelasan tersebut juga disertakan di sini. Diharapkan bahwa penyajian kajian literatur ini dapat membantu pembaca mengidentifikasi hal-hal penting secara sistematis.

Sebagaimana diketahui, saat ini, penelitian mengenai limbah padat dari kapal masih sangat sedikit. Data yang tersedia juga tidak terlalu memadai. Hal ini menghasilkan data-data yang sangat berbeda antara satu dengan lainnya. Sebagai contoh, untuk volume sampah kapal niaga, yang disajikan Perez (2017) sangat jauh berbeda dengan yang diinformasikan oleh oleh IMO. Data yang berbeda lagi didapat oleh Butt.

Parameter	Keterangan	Sumber
Volume sampah kapal penumpang	3,5 kg/org/hr + 2 botol 2 kaleng	IMO
	2,5 kg/org/hr + 0,22kg/hr limbah berbahaya	Butt, 2001
	3,5 kg/org/hr + 2 botol 2 kaleng	Perez, 2017
	2,9 kg/org/hr	Olson, 1994
	2,9 kg/org/hr + 11kg/hr limbah pemeliharaan	ISO 210007
Volume sampah kapal niaga	2,5 kg/org/hr	Perez, 2017
	Limbah muatan 1 ton/123 ton kargo	Olson, 1994
	2,9 kg/org/hr + 11kg/hr limbah pemeliharaan	ISO 210007
	Jumlah ABK kapal kargo	KM 70, 1998
	Limbah saat bersandar 0,21 kg/org/hr	To, 2016
	Persentase kapal membuang limbah di pelabuhan	Perez, 2017
	Rata-rata umur kapal	UNCTAD, 2019
	Umur kapal mempengaruhi banyaknya limbah	Butt, 2007
	Faktor yang paling mempengaruhi jumlah limbah adalah jumlah orang di atas kapal	Polglaze, 1995; Sweeting, 2003; Ulnikovic, 2012
	Faktor-faktor yang mempengaruhi volume limbah	Perez, 2017
	Tata letak (<i>layout</i>) Terminal Jamrud	Google Map 2019
	Produktivitas pelabuhan	Pelindo III
	Data kapal sampel	Marinetraffic
	Lama kapal bersandar	Marinetraffic
Trafik Tanjung Perak	Badan Pusat Statistik	
Distribusi limbah	Distribusi limbah di pelabuhan Mauritius	Mohee, 2012
	Distribusi limbah di pelabuhan Makassar	Rahim, 2014
	Distribusi limbah di kapal kargo	Zakri, 2009
	Distribusi limbah di kapal curah dan container	To, 2017

Rekomendasi untuk kapal	Limbah organik sebelum dibuang harus diolah (ditumbuk, dicacah, dll)	Wilewska, 2017
	Limbah kapal domestik dan kapal internasional harus dipisah saat masuk pelabuhan	European Comission, 2000
	Limbah organik dapat langsung dibuang atau disimpan	Vaneeckhaute, 2020
	Limbah potongan kecil dapat ditumbuk atau dicacah lalu dibuang, untuk limbah keras dapat disimpan untuk dibuang ke pelabuhan	CE Delft, 2017
	Sisa makanan internasional dianggap sebagai limbah makanan internasional dan perlu dimusnahkan melalui metode pembakaran	Polglaze, 2003
	Alur penanganan limbah	Wallace, 1998
	Formula penyortiran dan rencana fasilitas pemilahan limbah padat	Kutz, 2018
Fasilitas pengolahan limbah	Potensi energi sampah	Minoglou et al., 2013
	Persentase efisiensi fasilitas pengolahan sampah	Cavdaroglu, 2019
	Ton CO2 yang dihasilkan per ton sampah yang diolah	Cavdaroglu, 2019
	Biaya operasi PMS	Pressley, 2015
	Biaya operasi FI	Hochman, 2015
	Biaya operasi FP	Hochman, 2015
	Biaya operasi DA	Hochman, 2015
	Harga pasar kertas daur ulang	Metin, 2003
	Harga pasar kaca daur ulang	Metin, 2003
	Harga pasar logam daur ulang	Metin, 2003
	Harga pasar plastik daur ulang	Metin, 2003
	Biaya pokok listrik	Kementerian ESDM, 2019
	Efisiensi konversi energi listrik FI	Minoglou et al., 2013
	Efisiensi konversi energi listrik DA	Minoglou et al., 2013
Harga jual pupuk kompos	Sianipar, 2016	

BAB 3

PROSES PENELITIAN

3.1 Bagan alir proses penelitian

Proses penelitian menggambarkan pelaksanaan tahap-tahap penelitian, sejak dari proses dimulai hingga selesai. Perumusan masalah, studi literatur dan pengumpulan data dilakukan hingga penyelesaian masalah untuk mencapai tujuan akhirnya hingga kesimpulan diambil. Proses tersebut berlangsung sesuai bagan alir sebagaimana ditunjukkan Gambar 3.1.

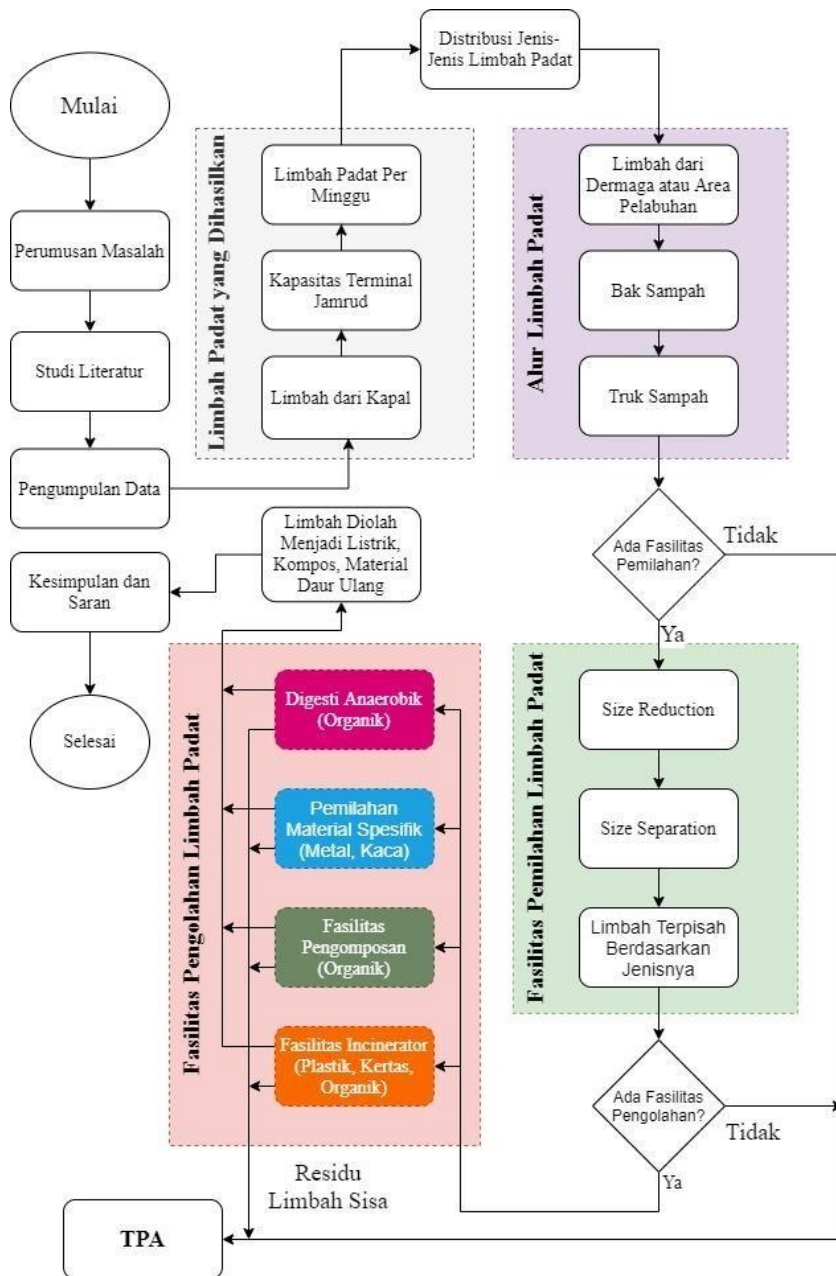
Penulis melakukan studi literatur lewat sejumlah makalah, buku dan bacaan lain untuk mendukung penelitian. Pengumpulan data dilakukan lewat pengamatan lapangan langsung di Terminal Jamrud. Selama beberapa hari, sejak pagi hingga malam hari, penulis mengamati kapal-kapal yang bersandar dan meninggalkan pelabuhan. Pengamatan juga dilakukan terhadap kapal-kapal yang membuang limbah di pelabuhan.

Selama melakukan pengamatan, penulis melakukan sejumlah wawancara langsung di lapangan tanpa perjanjian. Wawancara dilakukan langsung dengan sejumlah koordinator lapangan. Seorang awak kapal pesiar yang menangani pembuangan limbah dari kapal juga bersedia meluangkan waktu untuk diwawancara. Dari situ, penulis memperoleh gambaran bagaimana proses pembuangan limbah dilakukan di pelabuhan.

Simbol-simbol dalam kotak berwarna menggambarkan saat proses penelitian sesungguhnya dimulai. Proses dimulai dengan menghitung jumlah limbah padat yang dihasilkan baik oleh kapal kargo maupun kapal penumpang per hari. Kemudian ditentukan kapal yang menjadi acuan perhitungan. Kapal acuan ditentukan untuk memperoleh perkiraan jumlah limbah padat yang dihasilkan karena ketiadaan data yang pasti di Terminal Jamrud.

Dengan melihat pula kapasitas kapal, perhitungan dilakukan untuk jumlah limbah padat yang dihasilkan kapal acuan per hari. Limbah saat bersandar diasumsikan merupakan bagian dari limbah yang dihasilkan di area pelabuhan. Namun jumlahnya tetap dihitung.

Dengan melihat pula trafik di Terminal Jamrud, perhitungan dilakukan untuk memperoleh total limbah padat yang dihasilkan per minggu. Dari situ, diperoleh jumlah limbah padat yang dihasilkan di pelabuhan yang kemudian digunakan untuk melakukan pemilahan limbah (Lihat Gambar 3.2)

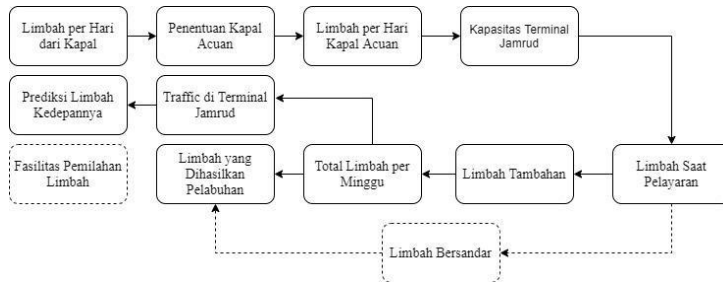


Gambar 3.1 Bagan alir proses penelitian

Dari situ, penulis menelusuri alur limbah padat mulai dari kapal, turun di pelabuhan hingga berakhir di tempat pembuangan. Penelitian

dilakukan apakah pelabuhan memiliki fasilitas pemilahan sampah. Apabila ya, diperiksa apakah pelabuhan memiliki fasilitas pengolahan.

Berangkat dari situ, penulis melakukan sejumlah analisa, sebelum akhirnya merekomendasikan apa yang harus dilakukan oleh pelabuhan. Penulis juga merekomendasikan fasilitas apa yang sebaiknya dibangun oleh otoritas pelabuhan.



Gambar 3.2 Bagan alir proses perhitungan limbah padat di TJS

3.1.1 Limbah per hari dari kapal

Limbah per hari yang dihasilkan oleh kapal kargo dan kapal penumpang didapat dari hasil studi literatur yang kemudian hasilnya dirata-rata (C_n dan C_p). Hasilnya ditambahkan dengan berbagai limbah tambahan seperti limbah botol dan kaleng (C_{bk}), limbah berbahaya (C_h), limbah muatan (C_m) dan limbah operasional (C_o). Nilai-nilai di atas adalah jumlah limbah yang dihasilkan saat kapal berlayar. Namun saat melakukan bongkar muat, mayoritas ABK di kapal niaga tetap tinggal di kapal sehingga ABK tetap menghasilkan limbah. Jumlah limbah yang dihasilkan oleh ABK saat kapal bersandar ini disebut limbah bersandar (C_b).

3.1.2 Penentuan kapal acuan

Kapal acuan digunakan sebagai acuan jumlah limbah padat yang dihasilkan di Terminal Jamrud Surabaya. Kapal acuan berfungsi untuk mempermudah penggambaran jumlah limbah yang dihasilkan di Terminal Jamrud Surabaya karena tidak ada data pasti mengenai limbah yang dihasilkan di terminal tersebut. Kapal acuan yang digunakan dibagi menjadi 3 (tiga) klasifikasi dan subklasifikasi berdasarkan ukuran gros tonasenya. Tiga klasifikasi tersebut adalah:

1. Kapal penumpang, yang dibagi lagi menjadi kapal ukuran 5.000 GT, 10.500 GT, dan 14.500 GT
2. Kapal niaga pelayaran domestik, yang dibagi lagi menjadi kapal ukuran 3.000 GT dan 6.000 GT
3. Kapal niaga pelayaran internasional, yang dibagi lagi menjadi kapal ukuran 9.000 GT dan 12.000 GT

3.1.3 Limbah per hari kapal acuan

Data utama yang digunakan untuk menentukan banyaknya limbah yang dihasilkan oleh kapal acuan adalah data jumlah orang di atas kapal, yaitu penumpang dan ABK di kapal penumpang dan ABK di kapal niaga. Jumlah penumpang ini ditentukan dengan regresi dari data kapasitas kapal penumpang yang ada, lalu disesuaikan dengan gros tonase (GT) kapal acuan. Jumlah ABK pada kapal niaga maupun penumpang mengacu kepada Keputusan Menteri Perhubungan Nomor 70 tahun 1998. Kepmen tersebut mengklasifikasikan jumlah kru di kapal kargo/niaga berdasarkan besarnya ukuran GT. Jumlah kru non-ABK diasumsikan sebanyak 5% dari jumlah penumpang.

Jumlah limbah umum (Tu,n) yang dihasilkan oleh kapal niaga dirumuskan sebagai berikut:

$$Tu,n = \text{jumlah ABK} \times Cn \quad (3.1a)$$

Jumlah limbah umum (Tu,p) yang dihasilkan oleh kapal penumpang dirumuskan sebagai berikut:

$$Tu,p = (\text{jumlah penumpang} + \text{jumlah ABK/kru}) \times Cp \quad (3.1b)$$

Jumlah limbah tambahan botol dan kaleng (Tbk) yang hanya dihasilkan oleh kapal penumpang dirumuskan sebagai berikut:

$$Tbk = (\text{jumlah penumpang} + \text{jumlah ABK/kru}) \times Cbk \quad (3.1c)$$

Jumlah limbah berbahaya (Th) dalam Tugas Akhir ini hanya dihasilkan oleh kapal penumpang saja yang dirumuskan sebagai berikut:

$$Th = (\text{jumlah penumpang} + \text{jumlah ABK/kru}) \times Ch \quad (3.1d)$$

3.1.4 Kapasitas Terminal Jamrud

Pada Tugas Akhir ini, karena tidak ada data spesifik mengenai kapasitas real Terminal Jamrud, untuk mengetahui kapasitas terminal tersebut, dilakukan penggambaran dan peletakan kapal-kapal acuan di Terminal Jamrud dengan skala yang sama. Ukuran utama (*principal dimension*) dari kapal-kapal acuan didapat dari cara regresi. Setelah diketahui ukuran masing-masing kapal acuan, dibuat tiga skenario berdasarkan peletakan-peletakan kapal acuan ini di sketsa Terminal Jamrud, yaitu skenario tinggi, sedang dan rendah. Perbedaan dari masing-masing skenario ini terdapat pada jumlah kapal bersandar di Terminal Jamrud.

3.1.5 Limbah saat bersandar (Tb)

Khusus untuk kapal niaga, selama bongkar muat, hampir semua ABK tetap berada di kapal baik untuk berjaga maupun mengoperasikan *crane* kapal. Selama bersandar inilah, kapal niaga tetap menghasilkan limbah, meskipun limbah yang dihasilkan relatif lebih sedikit dibandingkan limbah selama pelayaran. Perhitungan jumlah limbah saat bersandar (Tb) dirumuskan sebagai berikut:

$$Tb = \text{jumlah ABK} \times S \times Cb \quad (3.1e)$$

3.1.6 Limbah selama pelayaran

Limbah selama pelayaran menjadi penyumbang limbah terbesar yang dihasilkan oleh kapal saat bersandar di pelabuhan. Limbah selama pelayaran mengacu kepada limbah per *call* yang dihasilkan oleh kapal acuan.

Limbah per *call* kapal acuan (Ta,c)

Beberapa kapal sampel didata durasi pelayaran, kecepatan dan jarak pelayarannya sehingga didapat nilai rata-rata dari durasi pelayaran, kecepatan dan jarak pelayaran kapal sampel.

Nilai rata-rata durasi pelayaran digunakan untuk menentukan jumlah limbah per *call* yang dihasilkan oleh kapal acuan. Limbah tersebut berupa limbah umum (Tu,a,c), limbah botol dan kaleng (Tbk,a,c), limbah berbahaya (Th,a,c) dan limbah operasional (To,a,c). Perhitungan masing-masing jenis limbah tersebut dirumuskan sebagai berikut:

$$Tu,a,c = \text{durasi pelayaran} \times Tu \quad (3.2a)$$

$$T_{bk,a,c} = \text{durasi pelayaran} \times T_{bk} \quad (3.2b)$$

$$T_{h,a,c} = \text{durasi pelayaran} \times T_h \quad (3.2c)$$

$$T_{o,a,c} = \text{durasi pelayaran} \times C_o \quad (3.2d)$$

Faktor pemengaruh jumlah limbah (PF)

Ada beberapa faktor yang mempengaruhi jumlah limbah padat yang dihasilkan oleh sebuah kapal (Perez, 2017). Faktor-faktor tersebut adalah ukuran kapal (GT), umur kapal, kecepatan kapal, jarak dari pelabuhan sebelumnya dan jumlah orang di atas kapal.

Data ukuran kapal, umur kapal, kecepatan kapal dan jarak dari pelabuhan sebelumnya untuk kapal sampel di didapat dari Marinetraffic. Sementara itu, untuk jumlah penumpang, dilakukan dengan regresi dan jumlah ABK sesuai gros tonase kapal.

Untuk kapal acuan, ukuran kapal sudah tertera di awal dengan adanya pengklasifikasian. Umur kapal mengacu kepada data UNCTAD yang menyebut rata-rata umur kapal di dunia adalah 21 tahun. Jumlah orang di atas kapal sama, menggunakan cara regresi dan jumlah ABK sesuai gros tonase kapal. Kecepatan dan jarak dari pelabuhan sebelumnya didapat dari rata-rata data kapal sampel.

Penentuan persentase faktor (PF), dapat dirumuskan sebagai berikut:

$$(PF): (a) - (b) - (c) - (d) + (e) \quad (3.3)$$

dimana:

(a) Persentase faktor GT: $[(GT \text{ kapal} - GT \text{ kapal acuan}) \times GT \text{ kapal acuan}] / 5\% \times 0,12\%$

(b) Persentase faktor umur: $[(\text{umur kapal} - \text{umur kapal acuan}) \times \text{umur kapal acuan}] / 37\% \times 0,05\%$

(c) Persentase faktor kecepatan: $[(\text{kec. kapal} - \text{kec. kapal acuan}) \times \text{kec. kapal acuan}] / 81\% \times 0,03\%$

(d) Persentase faktor jarak: $[(\text{jarak kapal} - \text{jarak kapal acuan}) \times \text{jarak kapal acuan}] / 5\% \times 0,09\%$

(e) Persentase faktor orang: $[(\text{jumlah orang kapal} - \text{jumlah orang kapal acuan}) \times \text{jumlah orang kapal acuan}] / 1\% \times 0,69\%$

Limbah per call kapal sampel (T_{avg})

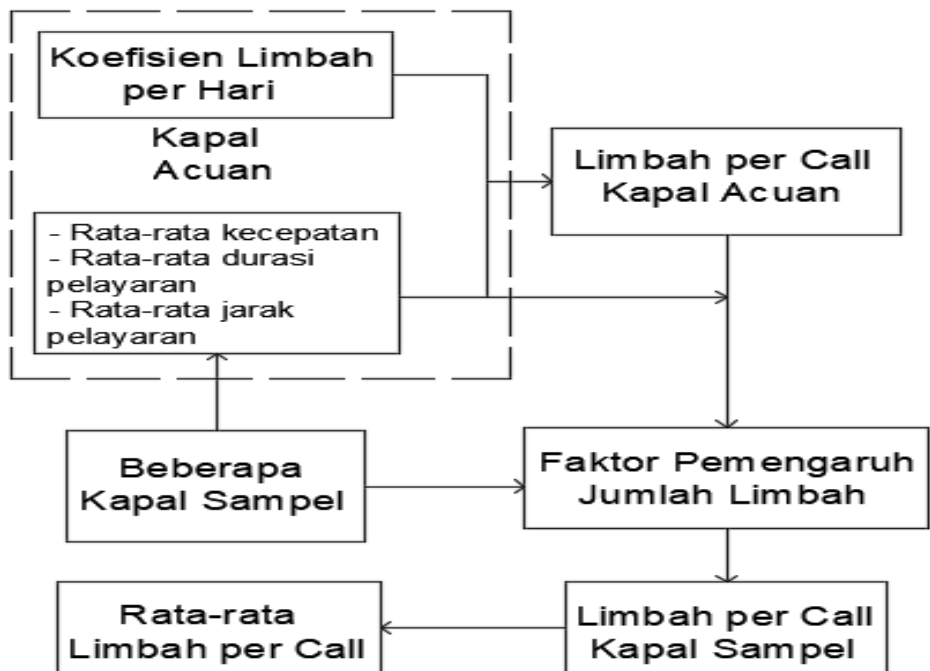
Jumlah limbah per *call* kapal sampel (T) adalah limbah yang dihasilkan oleh kapal sampel setelah semua faktor-faktor diatas

dipertimbangkan dalam perhitungan. Limbah per *call* kapal sampel dapat dirumuskan sebagai berikut:

$$T = T_{u,a,c} + (T_{u,a,c} \times PF) \quad (3.4)$$

Kapal yang dijadikan acuan adalah kapal yang memiliki ukuran paling mendekati dengan kapal acuan. Dengan menerapkan prinsip yang sama, didapat rata-rata limbah per *call* (T_{avg}) yang dihasilkan berdasarkan klasifikasi gros tonasenya (3.000 GT, 6.000 GT, 9.000 GT, 12.000 GT untuk kapal niaga dan 5.000 GT, 10.500 GT dan 14.500 GT untuk kapal penumpang).

Bagan alir di bawah ini akan menghitung jumlah limbah saat kapal bersandar di pelabuhan dengan melihat berbagai faktor pengaruhnya. Kapal acuan digunakan untuk melakukan penghitungan ini (Gambar 3.2)



Gambar 3.3 Bagan alir untuk menghitung rata-rata limbah per *call*

Jumlah *port call* per minggu (N)

Perhitungan jumlah *port call* per minggu dibagi menjadi dua, yaitu perhitungan untuk jumlah *port call* per minggu kapal niaga (Nn)

dan perhitungan untuk jumlah *port call* per minggu kapal penumpang (Np). Semua perhitungan jumlah *port call* per minggu menggunakan kapal acuan.

Perhitungan jumlah *port call* per minggu kapal niaga (Nn) dipengaruhi oleh dua faktor utama, yaitu produktivitas Pelindo III dan muatan (*payload*) kapal. Produktivitas Pelindo III yang mengacu kepada standar UN adalah 50 T/G/J. Muatan kapal acuan didapat dengan cara regresi jumlah *port call* per minggu kapal niaga (Nn) dapat dirumuskan sebagai berikut:

$$Nn = 152 / (\text{muatan} / 50) \quad (3.5a)$$

Perhitungan jumlah *port call* per minggu kapal penumpang (Np) hanya mengacu kepada rata-rata lama kapal bersandar di Pelabuhan Tanjung Perak yang bersumber dari Marinetraffic. Dari situ, jumlah *port call* per minggu kapal penumpang (Np) dapat dirumuskan sebagai berikut:

$$Np = 152 / \text{rata-rata lama kapal bersandar} \quad (3.5b)$$

Jumlah limbah per minggu (Tw)

Jumlah limbah per minggu didapat dengan perkalian antara banyaknya *port call* yang ada setiap minggu dengan rata-rata jumlah limbah per *call*, lalu dikalikan dengan jumlah kapal berdasarkan jumlah kapal skenario masing-masing. Tidak semua kapal membuang sampahnya di pelabuhan karena beberapa factor (Perez, 2017). Studi kasus yang dilakukan oleh Perez menunjukkan bahwa dari seluruh kapal yang bersandar, hanya 14% yang melakukan pembuangan sampah di pelabuhan. Karena itu, di Terminal Jamrud, diasumsikan hanya 14% dari seluruh kapal bersandar yang melakukan pembuangan sampah di terminal tersebut. Jumlah limbah per minggu kapal penumpang (Tw,p) dan kapal niaga (Tw,n) dapat dirumuskan sebagai berikut:

$$Tw,p = Np \times Tav_g \times \text{jumlah kapal} \times 14\% \quad (3.6a)$$

$$Tw,n = Nn \times Tav_g \times \text{jumlah kapal} \times 14\% \quad (3.6b)$$

3.1.7 Limbah tambahan per minggu (Tbk,w ; Th,w ; To,w ; Tm,w)

Perhitungan limbah tambahan setiap minggu mengacu kepada limbah per *call* kapal acuan, jumlah *port call* per minggu dan jumlah kapal berdasarkan skenarionya. Perhitungan limbah tambahan juga

menerapkan bahwa hanya 14% kapal yang melakukan pembuangan sampah di Terminal Jamrud. Perhitungan jumlah limbah botol dan kaleng ($T_{bk,w}$), limbah berbahaya ($T_{h,w}$), limbah muatan ($T_{m,w}$) dan limbah operasional ($T_{o,w}$) yang dihasilkan setiap minggu dapat dirumuskan sebagai berikut:

$$T_{bk,w} = N_p \times T_{bk,a,c} \times \text{jumlah kapal} \times 14\% \quad (3.7a)$$

$$T_{h,w} = N_n \times T_{h,a,c} \times \text{jumlah kapal} \times 14\% \quad (3.7b)$$

$$T_{o,w} = N_n \times T_{o,a,c} \times \text{jumlah kapal} \times 14\% \quad (3.7c)$$

$$T_{m,w} = N_n \times C_m \times \text{jumlah kapal} \times \text{besar muatan} \quad (3.7d)$$

Limbah botol dan kaleng nantinya diubah menjadi limbah plastik dan logam. Semua limbah botol diasumsikan sebagai limbah botol plastik berukuran 660 ml dan memiliki berat sebesar 30 gram (0,03 kg) plastik. Semua limbah kaleng diasumsikan sebagai limbah kaleng logam berukuran 330 ml dan memiliki berat 190 gram (0,19 kg). Maka limbah plastik dan logam tambahan dapat dirumuskan sebagai berikut:

$$\text{Limbah plastik tambahan} = T_{bk,w} \times 0,03 \text{ kg} \quad (3.7e)$$

$$\text{Limbah logam tambahan} = T_{bk,w} \times 0,19 \text{ kg} \quad (3.7f)$$

3.1.8 Jumlah limbah padat yang dihasilkan per minggu ($T_{t,n}$; $T_{t,p}$)

Perhitungan jumlah limbah padat yang dihasilkan oleh Terminal Jamrud setiap minggu merupakan penjumlahan antara limbah selama pelayaran, limbah saat bersandar untuk kapal niaga dan limbah tambahan lainnya. Limbah tambahan seperti limbah botol, kaleng dan limbah berbahaya hanya diterapkan pada kapal penumpang. Perhitungan limbah yang dihasilkan oleh kapal niaga ($T_{t,n}$) dan kapal penumpang ($T_{t,p}$) di Terminal Jamrud setiap minggu dapat dirumuskan sebagai berikut:

$$T_{t,n} = T_{w,n} + T_{o,w} + T_{m,w} \quad (3.9a)$$

$$T_{t,p} = T_{w,p} + T_{o,w} + T_{bk,w} + T_{h,w} \quad (3.9b)$$

3.1.9 Jumlah limbah padat yang dihasilkan pelabuhan (Tp)

Pada studi ini, limbah yang dihasilkan oleh pelabuhan juga diperhitungkan dalam perhitungan total jumlah limbah yang dihasilkan di area Terminal Jamrud per minggu. Jumlah limbah padat yang dihasilkan oleh pelabuhan setiap tahun adalah 9,43 kali lebih banyak dibandingkan limbah padat yang dihasilkan dari kapal (Mohee, 2012). Namun dari jumlah limbah ini, sekitar 46%-nya merupakan *green waste* yang berarti limbah ini sudah tidak perlu diolah atau ditangani lagi. Oleh karena itu, perhitungan jumlah limbah padat yang dihasilkan setiap minggu oleh pelabuhan dapat dirumuskan sebagai berikut:

$$T_c = (T_{t,n} + T_{t,p} + T_h + T_o + \text{limbah plastik logam tambahan}) \times 9,43 \times 54\% \quad (3.10)$$

3.1.10 Trafik di Terminal Jamrud Surabaya

Trafik di Terminal Jamrud Surabaya menggunakan data trafik di Pelabuhan Tanjung Perak. Diasumsikan bahwa Tanjung Perak merepresentasikan Terminal Jamrud. Dari data publikasi “Statistik Transportasi Laut” yang diterbitkan setiap tahun oleh Badan Pusat Statistik, diambil data selama lima tahun dari tahun 2014 hingga 2018. Dari trafik selama 5 tahun ini, dapat diprediksikan perkiraan peningkatan atau penurunan trafik baik dari segi jumlah kapal maupun gros tonase di Terminal Jamrud selama tahun-tahun kedepannya.

3.2 Macam-macam limbah padat di pelabuhan

Limbah padat yang dihasilkan di Terminal Jamrud Surabaya terdiri dari gabungan beberapa jenis limbah padat. Pada Tugas Akhir ini, ada 5 (lima) jenis limbah padat yang dianalisa, yaitu limbah plastik, kertas, organik, kaca dan logam (metal). Jumlah masing-masing jenis limbah padat di area pelabuhan ($TD_{c,i}$), dermaga niaga ($TD_{ni,j}$), dermaga penumpang utara ($TD_{p1,i}$) dan dermaga penumpang selatan ($TD_{p2,i}$) dapat dihitung dengan rumus berikut ini:

$$TD_{c,i} = T_c \times D_{c,i} \quad (3.11a)$$

(i = p plastik, i = k kertas, i = o organik, i = kc kaca, i = m metal)

$$TD_{ni,j} = (T_{w,n} + T_{o,w}) \times D_{ni,j} \quad (3.11b)$$

(i = 1 dermaga domestik, i = 2 dermaga internasional; j= p plastik, j = k kertas, j = o organik, j = kc kaca, j =m metal)

$$*TD_{p1,i} = 68\% \times (T_{w,p} + T_{o,w}) \times D_{p,i} \quad (3.11c)$$

(i = p plastik, i = k kertas, i = o organik, i = kc kaca, i =m metal)

$$*TD_{p2,i} = 32\% \times (T_{w,p} + T_{o,w}) \times D_{p,i} \quad (3.11d)$$

(i = p plastik, i = k kertas, i = o organik, i = kc kaca, i =m metal)

*Perhitungan limbah jenis plastik dan logam di dermaga penumpang memiliki perbedaan sendiri, karena hasilnya setelah itu perlu ditambahkan lagi dengan limbah tambahan plastik dan logam mengacu kepada Tabel 4.17.

3.3 Proses alur limbah padat di pelabuhan

Awalnya, limbah padat dikumpulkan di titik pengumpulan sampah (*garbage collection point*). Limbah dari kapal tersebut sudah dimasukkan ke dalam kantong plastik sampah. Ada dua model disajikan dalam Tugas Akhir ini. Untuk model 1, kantong-kantong plastik untuk limbah organik dan anorganik dipisah dan dibedakan warnanya. Untuk model 2, limbah organik dan anorganik tidak dipisah dan dinamakan limbah campuran. Limbah dari pelabuhan berasal dari perkantoran, pasar/pasar swalayan kecil, terminal dan fasilitas-fasilitas umum lain yang berada di Terminal Jamrud Surabaya. Mayoritas limbah dari pelabuhan tidak dipisahkan.

Limbah dari kapal niaga diambil oleh gerobak sampah. Limbah dari kapal penumpang diambil menggunakan truk sampah. Hanya diperlukan satu truk dan satu gerobak untuk mengambil sampah dari dermaga. Truk dan gerobak mengambil sampah dalam beberapa *trip*. Limbah dari pelabuhan tidak perlu diambil menggunakan truk atau gerobak karena langsung dibuang oleh petugas kebersihan ke bak sampah.

Penempatan bak sampah dibagi di dua lokasi. Lokasi pertama adalah bak sampah khusus limbah padat dari dermaga. Lokasi kedua adalah bak sampah dari area pelabuhan yang diletakkan di sepanjang garis lokasi pelabuhan secara merata. Bak sampah khusus limbah padat dari dermaga hanya digunakan apabila limbah padat tidak menuju ke fasilitas pemilahan sampah. Bak tersebut juga digunakan apabila fasilitas pemilahan sampah berada di luar area pelabuhan.

Truk sampah digunakan untuk mengambil limbah dari bak sampah atau limbah yang sudah dipilah dari fasilitas pemilahan limbah.

Perhitungan jumlah *trip* truk sampah ini sama dengan perhitungan jumlah truk sampah yang diperlukan untuk mentransfer sampah dari dermaga ke bak sampah atau fasilitas pemilahan apabila pihak pengelola ingin menyediakan truk sampah sendiri.

Sampah dari pelabuhan dan fasilitas pemilahan sampah memiliki dua opsi. Untuk opsi pertama, sampah dibuang ke TPA. Dalam opsi kedua, sampah diolah di fasilitas pengolahan limbah padat. Gambar 3.4 menunjukkan alur limbah padat dari dermaga hingga TPA atau fasilitas pengolahan limbah padat.

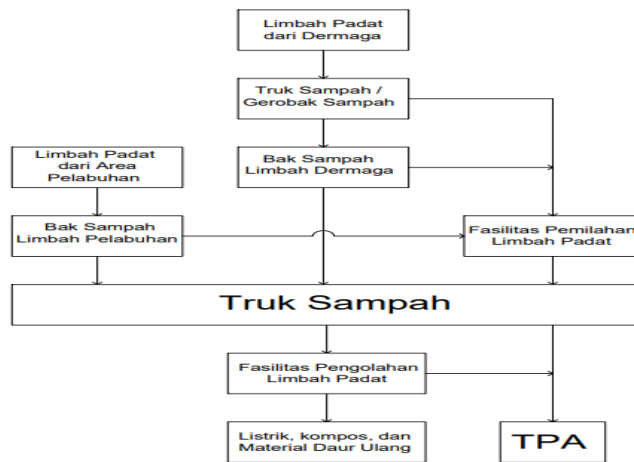
Dalam Tugas Akhir ini, perhitungan alur limbah padat di Terminal Jamrud Surabaya dilakukan dengan langkah-langkah berikut:

1. Menghitung jumlah limbah per hari pada masing-masing area berdasarkan jenis limbahnya
2. Menentukan perkiraan jumlah kantong sampah yang dihasilkan per hari pada masing-masing dermaga
3. Menghitung jumlah *trip* truk dan gerobak sampah yang dibutuhkan untuk mengumpulkan semua limbah padat yang dihasilkan
4. Menghitung jumlah bak sampah yang dibutuhkan untuk menampung semua limbah padat yang dihasilkan oleh masing-masing dermaga dalam kantong-kantong plastik.

3.3.1 Limbah per hari pada masing-masing lokasi (PB)

Jumlah limbah padat per hari ditentukan oleh beberapa faktor. Faktor-faktor tersebut antara lain jumlah limbah umum, tambahan dan operasional yang dihasilkan per minggu. Faktor lainnya adalah persentase jumlah limbah organik karena hanya limbah jenis organik yang dipakai.

Gambar 3.4 menunjukkan alur limbah padat yang dimulai dari atas saat limbah padat baru diturunkan dari kapal ke dermaga. Ada pula limbah padat yang berasal dari area pelabuhan. Mengikuti alur ini, limbah yang berasal dari kapal dan area pelabuhan tersebut melalui proses pemilahan sebelum dibawa truk sampah ke fasilitas pengolahan limbah padat. Di fasilitas tersebut, limbah tersebut diolah. Ada yang digunakan kembali, didaur ulang atau melalui proses pengomposan atau menjadi tenaga listrik



Gambar 3.4 Alur limbah padat

Langkah-langkah menentukan limbah padat per hari adalah sebagai berikut:

1. menghitung limbah organik yang dihasilkan per hari
2. menghitung limbah kering yang dihasilkan per hari
3. menghitung limbah campuran yang dihasilkan per hari
4. menghitung limbah berbahaya yang dihasilkan per hari.

Jumlah limbah organik yang dihasilkan di dermaga penumpang ($PB_{p,o}$), dermaga niaga ($PB_{n,o}$), dan area pelabuhan ($PB_{c,o}$) setiap hari dapat dirumuskan sebagai berikut:

$$PB_{p,o} = ((T_{w,p} + T_{o,w}) \times D_{p,o}) / 7 \quad (3.12a)$$

$$PB_{n,o} = ((T_{w,n} + T_{o,w}) \times D_{n,o}) / 7 \quad (3.12b)$$

$$PB_{c,o} = (T_c \times D_{c,o}) / 7 \quad (3.12c)$$

Jumlah limbah kering yang dihasilkan di dermaga penumpang ($PB_{p,k}$), dermaga niaga ($PB_{n,k}$) dan area pelabuhan ($PB_{c,k}$) setiap hari dapat dirumuskan sebagai berikut:

$$PB_{p,k} = [((T_{w,p} + T_{b,w} + T_{o,w,p}) \times D_{n,o}) / 7] - PB_{p,o} \quad (3.12d)$$

$$PB_{n,k} = [((T_{w,p} + T_{o,w,n}) \times D_{n,o}) / 7] - PB_{n,o} \quad (3.12e)$$

$$PB_{c,k} = (T_c / 7) - PB_{c,o} \quad (3.12f)$$

Jumlah limbah campuran yang dihasilkan setiap hari ($PB_{i,k}$) pada masing – masing skenario dapat dirumuskan sebagai berikut:

$$PB_{i,c} = PB_{i,o} + PB_{i,k} \quad (3.12g)$$

(i = p penumpang, i = n niaga, i = c pelabuhan)

Limbah berbahaya hanya dihasilkan oleh kapal penumpang. Jumlah limbah berbahaya yang dihasilkan setiap hari di dermaga penumpang ($PB_{p,h}$) dapat dirumuskan sebagai berikut:

$$PB_{p,h} = Th_{w} / 7 \quad (3.12h)$$

3.3.2 Jumlah volume limbah per hari pada masing-masing lokasi (PV)

Faktor-faktor yang menentukan volume limbah per hari adalah berat limbah per hari (PB) dan densitas dari masing-masing limbah. Nilai densitas untuk limbah kering adalah 0,01 m³ /kg (ρ_k), limbah organik adalah 0,002 m³ /kg (ρ_o) dan campuran adalah 0,006 m³ /kg (ρ_c) (Society of Naval Architects and Marine Engineers, 1982). Densitas limbah berbahaya diasumsikan sama dengan limbah campuran, maka $\rho_h = 0,006$ m³ /kg.

Perhitungan volume limbah yang dihasilkan per hari pada masing-masing lokasi ($PV_{i,j}$) dapat dirumuskan sebagai berikut:

$$PV_{i,j} = PB_{i,j} \times \rho_j \quad (3.13)$$

(i = p penumpang, i = n niaga, i = c pelabuhan; j = o organik, j = k kering, j = c campuran, j = h berbahaya)

3.3.2 Pengumpulan sampah di atas kapal

Pada Tugas Akhir ini, diasumsikan bahwa semua sampah di atas kapal dikumpulkan oleh ABK di dalam kantong plastik untuk sampah. Pada penelitian ini, volume yang digunakan sebagai simulasi adalah kantong plastik dengan volume 0,121 m³ ($K_{p,c}$, $K_{p,k}$, $K_{p,h}$) dan

0,0303 m³ (K_{p,o}, K_n). Perhitungan jumlah kantong plastik yang dihasilkan dapat dirumuskan sebagai berikut:

$$PK_{i,j} = PV_{i,j} / *K_{i,j} \quad (3.14)$$

(i = p penumpang, i = n niaga; j = o organik, j = k kering, j = c campuran, j = h berbahaya)

*volume kantong plastik pada kapal niaga untuk semua jenis limbah disamakan

3.3.3 Pengumpulan sampah dari kapal

Jumlah *trip* yang dibutuhkan oleh truk sampah untuk mengambil semua sampah yang dihasilkan di dermaga penumpang (PT_p) dan dermaga niaga (PT_n) pada masing – masing model dapat dirumuskan sebagai berikut:

$$PT_{p,j} = PV_{p,j} / (C_{truk} \times 78,5\%) \quad (3.15a)$$

(j = o organik, j = k kering, j = c campuran, j = h berbahaya)

$$PT_{n,j} = PV_{n,j} / (C_{gerobak} \times 78,5\%) \quad (3.15b)$$

(j = o organik, j = k kering, j = c campuran, j = h berbahaya)

Densitas untuk limbah campuran adalah 174,2 kg/m³, limbah kering 100 kg/m³ dan limbah organik 640 kg/m³ (Society of Naval Architects and Marine Engineers, 1982). Limbah berbahaya diasumsikan sama dengan limbah campuran. Perhitungan berat limbah per *trip* (PTW_{i,j}) dapat dirumuskan sebagai berikut:

$$PTW_{i,j} = (PV_{i,j} \times \text{densitas } j) / PT_{i,j} \quad (3.15c)$$

(i = p penumpang, i = n niaga; j = o organik, j = k kering, j = c campuran, j = h berbahaya)

3.3.4 Jumlah bak sampah

Pada Tugas Akhir ini, bak sampah yang digunakan adalah bak sampah yang umum berada di pasaran, yaitu bak sampah dengan ukuran 3 m³, 8 m³ dan 14 m³. Diasumsikan bahwa efisiensi ruang kantong plastik sampah adalah 78,5%. Perhitungan jumlah bak sampah yang dibutuhkan di area dermaga penumpang (PBS_p), dermaga niaga

(PBSn) dan perhitungan berat limbah per bak (PBSWi,j) dapat dirumuskan sebagai berikut:

$$PBS_{p,i} = PV_{p,i} / (8 \times 78,5\%) \quad (3.16a)$$

(i = o organik, i = k kering, i = c campuran, i = h berbahaya)

$$PBS_{n,i} = PV_{n,i} / (3 \times 78,5\%) \quad (3.16b)$$

(i = o organik, i = k kering, i = c campuran, i = h berbahaya)

$$PBS_{w,i,j} = (PV_{i,j} \times \text{densitas } j) / PBS_{i,j} \quad (3.16c)$$

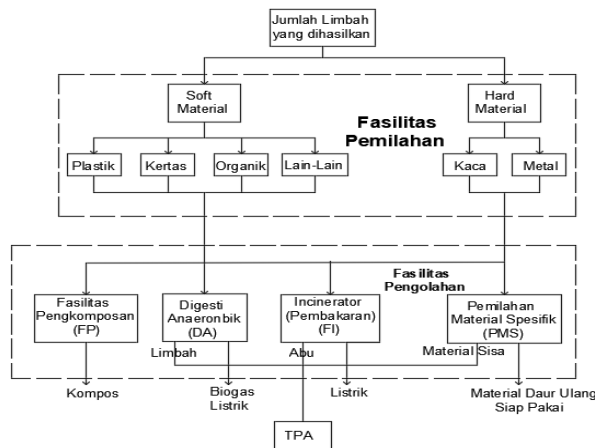
(i = p penumpang, i = n niaga; j = o organik, j = k kering, j = c campuran, j = h berbahaya)

3.4 Proses pemilahan dan pengolahan limbah padat

Proses Pengolahan Limbah Padat dilakukan melalui sejumlah tahap di fasilitas pemilahan, sebelum berjalan ke fasilitas pengolahan.

Sebagaimana ditampilkan dalam Bagan Alir Proses Pengolahan Limbah Padat (Lihat Gambar 3.5), di fasilitas pemilahan, limbah padat dipilah antara yang lunak dan yang keras. Setelah itu, kedua jenis limbah masih dipilah-pilah lagi berdasarkan subjenisnya.

Setelah melalui proses pemilahan, limbah dibawa ke fasilitas pengolahan. Setiap jenis limbah diolah secara berbeda sebelum dibuang ke tempat pembuangan akhir. Limbah yang dapat didaur ulang dipisahkan tersendiri.



Gambar 3.5 Bagan alir proses pengolahan limbah padat

3.4.1 Distribusi limbah padat di Terminal Jamrud

Pada Tugas Akhir ini, dengan beberapa sumber yang ada, didapatkan perkiraan persentase jumlah masing-masing limbah padat berdasarkan jenisnya. Jenis limbah padat yang dianalisa ada 5 (lima) jenis, yaitu limbah plastik, kertas, organik, kaca dan logam. (Lihat Lampiran)

3.4.2 Pemilahan limbah padat

Limbah padat yang akan dimasukkan ke fasilitas pengolahan diasumsikan sudah dikemas semua dalam kantung plastik besar dan masih berupa limbah yang bercampur. Namun, prediksi berapa banyak jumlah masing-masing jenis limbah padat sudah diketahui. Mula-mula, limbah dimasukkan ke mesin pembuka kantung (*bag opener*), yang berlanjut ke fase prapemilahan (*presorting*). Fase prapemilahan bertujuan untuk memilah antara limbah padat yang keras dan tidak keras. Limbah padat keras (*hard material*) yang dimaksud adalah limbah logam, kaca atau kayu. Limbah padat tidak keras (*soft material*) yang dimaksud adalah limbah plastik, kertas, organik atau tekstil.

Limbah *hard material* berlanjut masuk ke mesin penghancur (*hammer mill, shredder, dll*) untuk direduksi ukurannya. Pereduksian ukuran ini diharapkan hanya mereduksi ukuran limbah kaca menjadi kepingan-kepingan kaca yang kecil atau halus. Setelah masuk ke mesin pereduksi, limbah kaca yang sudah berkeping-keping dan limbah logam masuk ke dalam mesin pemisah ukuran. Di dalam mesin ini, material kaca dan logam diharapkan menjadi terpisah.

Setelah itu, limbah *soft material* akan masuk ke fase pemilahan lagi sehingga dapat dipisahkan lebih detail sesuai jenisnya.

3.4.3 Pengolahan limbah padat

Pada Tugas Akhir ini, ada 4 (empat) fasilitas pengolahan limbah yang dianalisa. Variabel yang dianalisa adalah berapa potensi uang yang akan didapat atau harus dikeluarkan dalam mengolah suatu jenis limbah tertentu di fasilitas tertentu. Nilai investasi awal dan perawatan fasilitas pengolahan dalam Tugas Akhir ini diabaikan. Fasilitas pengolahan limbah yang dianalisa adalah fasilitas pemilahan material spesifik (PMS), fasilitas insinerator (FI), fasilitas pengomposan (FP) dan digestik anaerobik (DI).

- **Fasilitas insinerator (FI)**

Fasilitas ini adalah fasilitas pembakaran. Panas yang dihasilkan saat membakar limbah adalah untuk menghasilkan listrik. Keuntungan dari fasilitas ini adalah bahwa limbah benar-benar direduksi hampir sepenuhnya (untuk plastik dan kertas). Listrik dapat pula dihasilkan. Fasilitas ini memiliki kekurangan yaitu menghasilkan gas emisi, seperti CO₂, yang cukup besar.

Keluaran dari fasilitas ini adalah listrik yang dapat dipakai dan residu abu hasil pembakaran yang akan dibuang ke TPA. Perhitungan listrik yang dihasilkan oleh limbah plastik (E_{fi,p}) dan keuntungan atau kerugian pengolahan plastik di fasilitas insinerator (R_{fi,p}) dapat dirumuskan sebagai berikut:

$$E_{fi,p} = \text{jumlah sampah plastik} \times \eta_{fi,p} \times \eta_{e,fi} \times HV_p \quad (3.17a)$$

$$R_{fi,p} = (E_{fi,p} \times \text{harga listrik}) - (B_{fi} \times \text{jumlah sampah plastik}) \quad (3.17b)$$

- **Fasilitas digesti anaerobik (DA)**

Fasilitas ini hampir seperti fasilitas pengomposan. Namun, ruang lingkungannya tidak hanya untuk limbah organik saja. Hasil dari fasilitas ini juga berbeda dari fasilitas pengomposan. Hasilnya berupa biogas seperti metana yang dapat diubah lagi menjadi listrik.

Keluaran dari fasilitas ini adalah biogas dan limbah sisa yang sudah tidak bisa diurai lagi yang akan dibuang ke TPA.

Perhitungan listrik yang dihasilkan oleh limbah organik (E_{da,o}) dan keuntungan atau kerugian pengolahan plastik di fasilitas ini (R_{fi,p}) dapat dirumuskan sebagai berikut:

$$R_{da,o} = (E_{da,o} \times \text{harga listrik}) - (B_{da} \times \text{jumlah sampah organik}) \quad (3.18a)$$

$$R_{da,o} = (E_{da,o} \times \text{harga listrik}) - (B_{da} \times \text{jumlah sampah organik}) \quad (3.18b)$$

- **Fasilitas pemilahan material spesifik (PMS)**

Fasilitas ini adalah fasilitas yang paling sederhana karena di fasilitas ini, limbah tidak terlalu diolah sampai mengubah bentuk atau komposisinya. Limbah yang dimasukkan dipilah secara lebih spesifik sampai menjadi material daur ulang yang memiliki nilai jual.

Keluaran (*output*) dari fasilitas ini adalah material daur ulang siap jual. Beberapa material yang tidak terpakai dibuang ke TPA. Perhitungan keuntungan atau kerugian pengolahan plastik di

fasilitas pemilahan material spesifik ($R_{pms,p}$) dirumuskan sebagai berikut:

$$R_{pms,p} = (\eta_{pms,p} \times R_p \times \text{jumlah sampah plastik}) - (B_{pms} \times \text{jumlah sampah plastik}) \quad (3.19)$$

- **Fasilitas pengomposan (FP)**

Fasilitas pengomposan hanya ditujukan untuk limbah organik saja. Fasilitas ini mengomposkan limbah organik menjadi limbah yang berguna, seperti pupuk kompos atau pakan ternak.

Keluaran dari fasilitas ini sepenuhnya adalah kompos sehingga dengan opsi ini, tidak perlu ada sisa limbah yang dibuang ke TPA. Perhitungan keuntungan atau kerugian pengolahan limbah organik di fasilitas pengomposan ($R_{fp,p}$) dirumuskan sebagai berikut:

$$R_{fp,o} = (\eta_{fp,o} \times R_{pk} \times \text{jumlah sampah organik}) - (B_{fp} \times \text{jumlah sampah organik}) \quad (3.20)$$

Halaman ini sengaja dikosongkan

BAB 4

ANALISA DATA

4.1 Pendekatan jumlah limbah yang dihasilkan

Dalam penelitian ini, untuk mengetahui jumlah limbah yang dihasilkan oleh kapal penumpang, penulis melakukan beberapa pendekatan. Karena penelitian tentang limbah padat yang dibuang oleh kapal masih sangat sedikit, setiap pendekatan membuahkan hasil yang berbeda-beda. Setiap pendekatan yang disajikan di sini menggunakan beberapa referensi terkait.

4.1.1 Pendekatan 1

Setiap kapal pesiar menghasilkan rata-rata minimum 1 kilogram limbah padat ditambah 2 (dua) botol dan 2 (dua) kaleng per penumpang per hari (Butt, 2001). Sementara itu, Institut Pelatihan Pelabuhan Hamburg (HPTI = *Hamburg Port Training Institute*) menyebutkan bahwa setiap kapal pesiar menghasilkan 3,5 kg sampah/penumpang/hari (HPTI, 2007). Dari Pendekatan 1 disimpulkan bahwa setiap kapal pesiar menghasilkan 3,5kg sampah/penumpang/hari ditambah 2 (dua) botol dan 2 (dua) kaleng.

4.1.2 Pendekatan 2

Butt (2001) melampirkan contoh data limbah padat yang dihasilkan oleh kapal pesiar Oceana. Kapal ini memiliki ukuran 17.500 GT dengan kapasitas penumpang dan kru sekitar 3.150 orang dan menghasilkan rata-rata 7,8 ton limbah padat dan 675 kg limbah berbahaya per hari. Dari data ini, didapati bahwa rata-rata limbah yang dihasilkan adalah 2,5 kg limbah padat/orang/hari dan 0,22 kg limbah berbahaya/orang/hari.

4.1.3 Pendekatan 3

Mengutip Organisasi Maritim Internasional (IMO = *International Maritime Organization*), Perez (2017) menyebutkan bahwa:

- Orang-orang di atas kapal kargo menghasilkan 1,5 kg limbah per orang per hari

- Orang-orang di atas kapal penumpang menghasilkan 2,5 kg per orang per hari.

Pengecualian terdapat pada kapal pesiar. Untuk kapal pesiar, jumlah yang tersebut di atas perlu ditambah lagi dengan 1 kg per orang per hari (Ulnikovic, 2012) Selain itu, perlu ditambah lagi 2 (dua) botol & 2 (dua) kaleng per penumpang per hari sehingga jumlah limbah yang dihasilkan adalah:

- 2,5 kg per orang per hari untuk kapal kargo
- 3,5 kg per orang per hari untuk kapal penumpang
- 3,5 kg per orang per hari + 2 (dua) botol dan 2 (dua) kaleng untuk kapal pesiar.

4.1.4 Pendekatan 4

Olson (1994) mengatakan bahwa limbah yang dihasilkan dari sebuah kapal berjumlah:

- 2,9 kg (1,9 kg limbah makanan + 1 kg limbah rumah tangga) per orang per hari
- 1 ton limbah kargo per 123 ton kargo.

4.1.5 Pendekatan 5

Pada ISO 210007, ISO (2001) menyebutkan bahwa limbah padat yang dihasilkan dari sebuah kapal berjumlah:

- 2,9 kg (1,9 kg limbah basah + 1 kg limbah kering) per orang per hari
- 11 kg limbah pemeliharaan (*maintenance*) per hari.

Tabel 4.1 menunjukkan jumlah limbah padat yang dihasilkan oleh setiap orang di kapal penumpang dari berbagai pendekatan dan referensi. Jumlah limbah padat yang dihasilkan oleh setiap orang di kapal penumpang pada Tugas Akhir ini ditentukan dengan merata-rata nilai di bawah dengan tambahan limbah lainnya.

Tabel 4.1 Pendekatan jumlah limbah padat kapal penumpang

Pendekatan	Jumlah limbah (kg/orang/hari)	Limbah tambahan	Referensi
Pendekatan 1	3,5	2 botol + 2 kaleng	IMO
Pendekatan 2	2,5	0,22 kg (berbahaya)	Butt, 2001
Pendekatan 3	3,5	2 botol + 2 kaleng	Perez, 2017
Pendekatan 4	2,9		Olson, 1994
Pendekatan 5	2,9		ISO 210007
Pendekatan 6		11 kg/hari	ISO 210007

Dari tabel tersebut, terlihat bahwa hasil rata-rata yang didapat adalah sebesar 3,1 kg/orang/hari. Limbah tambahannya berupa 2 botol dan 2 kaleng per orang per hari dan 0,22 kg limbah berbahaya. Limbah operasional yang dimaksud adalah limbah perawatan minor pada kapal seperti penggantian instalasi listrik, pengecatan kamar dan reparasi kecil di atas dek kapal.

Tabel 4.2 menunjukkan jumlah limbah yang dihasilkan oleh awak kapal niaga beserta limbah tambahannya dari sejumlah referensi. Nilai yang digunakan dalam Tugas Akhir ini adalah rata-rata dari nilai di bawah dengan tambahan limbah lainnya.

Tabel 4.2 Pendekatan jumlah limbah padat kapal kargo

Pendekatan	Jumlah limbah (kg/orang/hari)	Limbah tambahan	Referensi
Pendekatan 3	2,5		Perez, 2017
Pendekatan 4		1 ton/123 ton kargo	Olson, 1994
Pendekatan 5	2,9		ISO 210007
Pendekatan 5		11 kg/hari	ISO 210007

Hasil rata-rata yang didapat sebagaimana digambarkan oleh Tabel 4.2 adalah 2,7 kg/orang/hari ditambah dengan 11 kg/hari limbah operasional dan limbah muatan sebanyak 1 ton/123 ton kargo. Limbah operasional yang dimaksud adalah limbah perawatan minor pada kapal seperti penggantian instalasi listrik, pengecatan kamar dan reparasi kecil di atas dek kapal.

4.2 Faktor-faktor lain yang mempengaruhi jumlah limbah

IMO (2012) membuat sebuah daftar elemen-elemen yang menentukan dihasilkan sampah di atas sebuah kapal. Termasuk di antaranya adalah:

- jenis kapal
- rute
- jumlah orang di atas kapal
- lama pelayaran
- waktu tunggu di kawasan-kawasan di mana pembuangan sampah ke laut dilarang atau dibatasi.

Perez (2017) mengambil Pelabuhan Las Palmas di Spanyol sebagai studi kasus. Limbah padat yang dihasilkan oleh kapal-kapal di pelabuhan tersebut adalah variabel endogen. Sementara itu, variabel-variabel eksogennya mencakup aspek-aspek yang terkait dengan karakteristik teknologi kapal, tipologinya dan rutenya. Secara khusus, ukuran, usia dan kecepatan rata-rata kapal dipertimbangkan, sebagaimana pula jarak tempuh antara pelabuhan persinggahan terakhir dan Pelabuhan Las Palmas, jarak tempuh antara Pelabuhan Las Palmas dan pelabuhan persinggahan berikutnya, jumlah orang di atas kapal (penumpang dan kru) dan benua di mana kapal melakukan persinggahan terakhir.

Menurut studi kasus ini, kecepatan kapal berbanding terbalik dengan limbah padat yang dihasilkan. Usia kapal tidak mempengaruhi berapa jumlah limbah padat yang dihasilkan. Tetapi usia kapal dapat digunakan sebagai pendekatan atau perkiraan terkait dengan teknologi kapal. Sejumlah studi mengindikasikan bahwa jumlah limbah padat yang dibakar menjadi abu di atas kapal untuk dibuang kemudian di laut atau di pelabuhan bergantung pada usia dan instalasi kapal (Butt, 2007).

Terkait jarak, tentu 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 kemungkinan adanya limbah yang sudah dibuang ke laut dalam pelayaran dari satu pelabuhan ke pelabuhan lainnya. Oleh karena itu, hubungan antara jarak tempuh dan

jumlah limbah berbanding terbalik. Semakin panjang rutenya, semakin besar kemungkinan bahwa kapal membuang limbah ke laut dengan memenuhi ketentuan umum yang berlaku.

Menurut studi kasus ini, jarak yang ditempuh kapal dari Pelabuhan Las Palmas dan durasi persinggahan di pelabuhan ini dapat mempengaruhi keputusan untuk membuang limbah atau tidak. Ini harus diperhitungkan.

Studi ini mengambil sampel 5.948 kapal yang melakukan persinggahan di Pelabuhan Las Palmas sepanjang tahun 2014. Dari jumlah tersebut, 1.410 kapal membuang limbah di pelabuhan. Dari jumlah tersebut, 227 kapal hanya membuang limbah padat dan 606 membuang limbah padat dan minyak. Ini berarti hanya 14% dari keseluruhan kapal yang membuang limbah padat di pelabuhan.

Perez (2017) juga menguraikan pertambahan jumlah limbah padat yang dihasilkan berdasarkan variabel-variabel di atas. Angka-angka ini dapat dilihat pada Tabel 4.3 di bawah. Tabel ini menunjukkan bahwa setiap kenaikan jumlah orang di atas kapal sebesar 1% menghasilkan kenaikan jumlah sampah yang dibuang sebesar 0,69%.

Tabel 4.3 Tiga model penentu faktor pendorong pembuangan limbah

Variabel	Model 1		Model 2		Model 3	
	Koefisien	Nilai-P	Koefisien	Nilai-P	Koefisien	Nilai-P
Konstan	-6,6	0*	-3,19	0*	-2,91	0*
GT	0,5	0*	0,59	0*	0,12	0,02**
Umur	0,24	0*	0,06	0,27	-0,05	0,37
Kecepatan rata-rata	-0,12	0,41	-0,27	0,05***	-0,03	0,81
Jarak dari pelabuhan sebelumnya			-0,46	0*	-0,09	0,05**
Jumlah orang di atas kapal					0,69	0*

Sumber: Perez, 2017

Dari tabel tersebut, variabel-variabel yang terdapat di dalam ketiga model tersebut dapat dijelaskan secara sederhana sebagai berikut:

- Di model 1, hanya variabel-variabel yang terkait dengan teknologi kapal yang dimasukkan.

- Model 2 mencakup sejumlah variabel yang terkait dengan rute.
- Model 3 mengikutsertakan orang-orang yang ada di atas kapal.

Selain faktor-faktor di atas, tipe kapal juga mempengaruhi jumlah maupun tipe sampah yang dihasilkan. Jenis kapal yang berbeda tentu menghasilkan limbah padat yang berbeda. Jenis sampah yang dihasilkan oleh kapal pesiar, misalnya, terdiri dari material-material organik, buangan rumah tangga dan lap basah, selain limbah daur ulang (Butt, 2007; Geng et al., 2009).

Di sejumlah pelabuhan di Haiphong, Vietnam, terdapat perbedaan mencolok antara komposisi sampah dan perilaku para petinggi kapal di kapal kargo curah (*bulk carrier*), yang dirancang untuk mengangkut kargo curah tidak dikemas (*unpackaged*), dan di kapal peti kemas (kontainer) (To, 2016). Kapten kapal di kapal peti kemas memiliki respons yang lebih baik terkait pemilahan sampah, yang pasti berdampak terhadap cara sampah dibuang, ketimbang kapten kapal di kapal kargo curah.. Namun dalam membedakan tipe-tipe limbah yang dihasilkan oleh kapal kargo, studi yang dilakukan Zakri (2009) sudah menganalisa limbah padat yang dihasilkan di atas kapal kargo.

Jadi, bila hanya memperhatikan jarak antarbenua atau antarpelabuhan, dengan jarak tempuh yang sama, bila jenis kapalnya berbeda, sampah yang dihasilkan juga berbeda. Kapal jenis yang satu memiliki lebih banyak sampah yang dapat didaur ulang atau digunakan kembali, sementara yang lain tidak sebanyak itu. Yang satu melakukan pemisahan sampah sejak di atas kapal, yang lain tidak.

4.3 Simulasi Jumlah Sampah

Simulasi jumlah sampah yang dihasilkan dan dibuang oleh kapal-kapal yang bersandar di Terminal Jamrud Surabaya dijelaskan dalam sub-judul ini. Simulasi dimulai dengan memperoleh data ukuran dermaga-dermaga yang ada di Terminal Jamrud untuk menentukan kapasitas kapal yang dapat bersandar.

Setelah itu, kapal acuan ditentukan. Kapal acuan tersebut akan digunakan untuk menghitung limbah padat yang dihasilkan kapal yang bersandar di Terminal Jamrud.

Penjelasan diberikan di bawah untuk memberikan gambaran mengenai seluruh dermaga di Terminal Jamrud yang rinciannya diperoleh dari Pelindo III. Gambaran mengenai setiap dermaga, termasuk zonasinya, diberikan dalam penjelasan lebih lanjut.

Tabel 4.4 menunjukkan ukuran masing-masing dermaga yang terdapat di Terminal Jamrud Surabaya. Dermaga Jamrud Utara dibagi menjadi dua zonasi, yaitu bagian barat untuk bongkar muat kapal niaga dengan pelayaran internasional dan bagian timur untuk kapal penumpang besar. Dermaga Jamrud Selatan hanya dikhususkan untuk kapal-kapal niaga dengan pelayaran domestik saja. Data ukuran dermaga-dermaga di Terminal Jamrud ini digunakan untuk menentukan perkiraan berapa kapasitas kapal yang dapat bersandar di Terminal Jamrud Surabaya.

Tabel 4.4 Ukuran Terminal Jamrud Surabaya

Dermaga	Panjang (m)	Lebar (m)	Kedalaman (m)
Dermaga Jamrud Utara 1	400	15	9
Dermaga Jamrud Utara 2	800	15	9
Dermaga Jamrud Barat	217	15	6
Dermaga Jamrud Selatan	800	15	7

Sumber: Pelindo III

Catatan: Dermaga Jamrud Utara 1 adalah dermaga untuk kapal penumpang. Selainnya adalah dermaga-dermaga kapal niaga.

4.3.1 Penentuan kapal acuan

Penggambaran kapal acuan adalah untuk mengetahui kapasitas Terminal Jamrud Surabaya. Penggambaran dilakukan dengan simulasi penempatan kapal-kapal berdasarkan gros tonase dan dimensi utamanya, yaitu panjang keseluruhan (*loa*), lebar kapal (*breadth*) dan sarat kapal (*draught*). Ini dilakukan untuk memastikan bahwa sarat kapal yang disimulasikan tidak melebihi kedalaman dermaga. (Lihat Tabel 4.5)

Tabel 4.5 Ukuran kapal acuan

Tipe kapal	Ukuran (GT)	Loa (m)	Breadth (m)	Draught (m)	Memenuhi dermaga-
Kapal niaga	3.000	93,499	15,192	5,992	Semua
Kapal niaga	6.000	110,244	19,972	6,53	Utara- Selatan
Kapal niaga	9.000	124,355	20,972	7,892	Utara
Kapal niaga	12.000	159,9	23,79	8,987	Utara
Kapal feri/ro-ro	5.000	98,63	17,387	4,366	-
Kapal feri/ro-ro	10.500	145,32	21,479	5,955	-
Kapal penumpang	14.500	145	23,409	5,843	-

Hasil penggambaran dimensi utama (*principal dimension*) kapal acuan berdasarkan ukurannya dapat dilihat di sini. Penentuan dimensi-dimensi tersebut dilakukan dengan regresi dari data-data kapal yang sudah ada. Data-data kapal tersebut dapat dilihat dalam Lampiran.

Dalam simulasi ini ukuran yang digunakan adalah 3.000, 6.000, 9.000, dan 12.000 GT untuk kapal niaga (kargo umum/*general kargo* dan kapal muatan curah/*bulk carrier*) dan 5.000, 10.500 dan 14.500 GT untuk kapal penumpang (*passenger ship* dan *ferry/ro-ro*). Penentuan ukuran kapal dilakukan dengan regresi dan interpolasi (Lihat Lampiran)

Setelah menentukan kapal-kapal acuan, dilakukan simulasi limbah padat yang dihasilkan oleh masing-masing kapal tersebut. Tabel 4.6 menunjukkan jumlah limbah padat yang dihasilkan oleh masing-masing kapal acuan. Jumlah penumpang didapat dari regresi kapasitas kapal-kapal penumpang pada lampiran. Jumlah ABK didapat berdasarkan Keputusan Menteri Perhubungan Nomor 70 tahun 1998 yang mengklasifikasikan jumlah kru di kapal kargo/niaga berdasarkan besarnya ukuran GT. Sementara itu, jumlah kru di kapal penumpang yang bertugas melayani penumpang diasumsikan sebanyak 5% dari jumlah penumpang yang ada.

Tabel 4.6 Simulasi limbah padat yang dihasilkan kapal acuan

Tipe kapal	Ukuran (GT)	Jumlah penumpang	Jumlah ABK/kru	Limbah umum (Tu)	Limbah tambahan (botol dan kaleng) (Tbk)	Limbah berbahaya (Th)
Kapal Niaga	3.000		20	54		
Kapal Niaga	6.000		21	56,7		
Kapal Niaga	9.000		21	56,7		
Kapal Niaga	12.000		22	59,4		
Kapal Feri/Ro-Ro	5.000	733	58	2452,1	1.466	173,73
Kapal Feri/Ro-Ro	10.500	1.282	87	4.243,9	2.738	300,87
Kapal Penumpang	14.500	1.928	119	6.345,7	4.094	450,07

Catatan:

- Jumlah kru kapal penumpang diasumsikan 5% dari jumlah penumpang

Jumlah limbah umum (Tu,n) yang dihasilkan oleh kapal niaga adalah perkalian antara jumlah ABK dengan jumlah limbah yang dihasilkan oleh ABK per harinya (Cn) yang dapat dituliskan sebagai:

$$Tu,n = \text{jumlah ABK} \times Cn \quad (4.1a)$$

Jumlah limbah umum (Tu,p) yang dihasilkan oleh kapal penumpang adalah perkalian antara jumlah semua orang di atas kapal dengan jumlah limbah yang dihasilkan oleh penumpang beserta ABK/kru per hari (Cp) yang dapat dituliskan sebagai:

$$Tu,p = (\text{jumlah penumpang} + \text{jumlah ABK/kru}) \times Cp \quad (4.1b)$$

Jumlah limbah tambahan (Tbk) hanya dihasilkan oleh kapal penumpang. Jumlah limbah yang dihasilkan adalah perkalian antara jumlah orang di atas kapal dengan jumlah limbah botol dan kaleng yang dihasilkan oleh penumpang beserta ABK dan kru per harinya (Cbk), maka dapat dituliskan sebagai:

$$Tbk = (\text{jumlah Penumpang} + \text{jumlah ABK/kru}) \times Cbk \quad (4.1c)$$

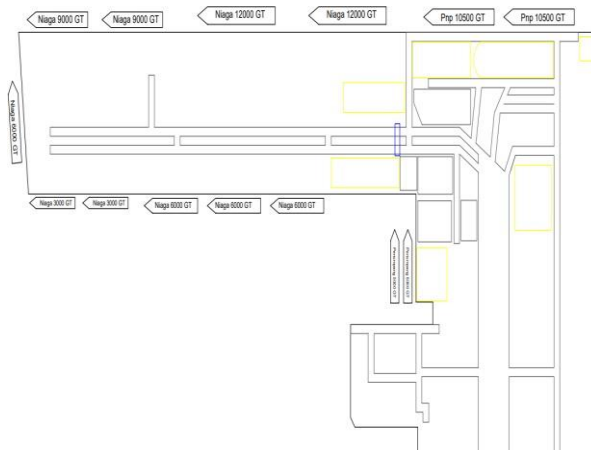
Jumlah limbah berbahaya (Th) dalam tugas akhir ini hanya dihasilkan oleh kapal penumpang saja. Jumlah limbah berbahaya yang dihasilkan adalah perkalian antara jumlah semua orang di atas kapal dengan jumlah limbah berbahaya yang dihasilkan oleh penumpang beserta ABK/kru per hari (Ch) yang dapat dituliskan sebagai:

$$Th = (\text{jumlah penumpang} + \text{jumlah ABK/kru}) \times Ch \quad (4.1d)$$

4.3.2 Penentuan kapasitas Terminal Jamrud

Pada Tugas Akhir ini, dalam memperkirakan jumlah sampah yang dihasilkan, dibuat tiga skenario yaitu tinggi, sedang dan rendah. Skenario disesuaikan dengan tata letak Terminal Jamrud dan simulasi ukuran kapal yang sudah didapat dari interpolasi regresi. Skenario yang dimaksud adalah diasumsikan bahwa setiap hari di Terminal Jamrud, terdapat kapal yang sesuai dengan gambaran dari masing-masing skenario yang ada.

Gambar 4.1 menunjukkan perkiraan kapasitas Terminal Jamrud dalam skenario sedang, yaitu terdapat 2 kapal penumpang berukuran 10.500 GT, 2 kapal penumpang berukuran 5.000 GT, 2 kapal niaga berukuran 12.000 GT, 2 kapal niaga berukuran 9.000 GT, 4 kapal niaga berukuran 6.000 GT dan 2 kapal niaga berukuran 3.000 GT.



Gambar 4.1 Perkiraan kapasitas Terminal Jamrud skenario sedang

Tabel 4.7 menunjukkan perkiraan kapasitas Terminal Jamrud berdasarkan sejumlah skenario dengan merujuk pada jenis kapal dan gros tonasenya. Ukuran kapal setiap gros tonasenya dapat dilihat pada Tabel 4.5. Berdasarkan ukuran ini, jumlah-jumlah kapal disesuaikan di Terminal Jamrud seperti pada gambar 4.1.

Pada skenario sedang, disimulasikan terdapat 2 kapal 3.000 GT dan 4 kapal 6.000 GT yang bersandar di Dermaga Jamrud Selatan (dermaga domestik), 2 kapal 9.000 GT dan 2 kapal 12.000 GT di Dermaga Jamrud Utara, 2 kapal Ro-Ro 10.500 GT di dermaga penumpang utara dan 2 kapal ro-ro 5.000 GT di dermaga penumpang selatan.

Pada penelitian ini, yang nantinya dijadikan acuan dalam pemilahan dan pengolahan limbah padat di Terminal Jamrud adalah skenario sedang. Skenario sedang dianggap mewakili rata-rata jumlah kapal yang bersandar di Terminal Jamrud

Tabel 4.7 Perkiraan kapasitas Terminal Jamrud

Tipe kapal	GT	Skenario tinggi	Skenario sedang	Skenario rendah
Niaga domestik	3.000	1	2	2
Niaga domestik	6.000	6	4	2
Niaga internasional	9.000	1	2	3
Niaga internasional	12.000	4	2	1
Ro-ro	5.000	2	2	1
Ro-ro	10.500	1	2	0
Penumpang	14.500	1	0	1

4.3.3 Jumlah limbah padat yang dihasilkan saat kapal bersandar

Penentuan jumlah limbah padat yang dihasilkan selama kapal bersandar hanya ditujukan untuk kapal niaga yang bersandar di Terminal Jamrud. Hal ini dikarenakan bahwa anak buah kapal tetap tinggal di atas kapal selama proses bongkar muat.

Jumlah limbah yang dihasilkan oleh kapal curah selama kapal bersandar (C_b) adalah 0,21 kg/orang/hari (To, 2017). Perhitungan jumlah limbah yang dihasilkan saat kapal bersandar (T_b) adalah perkalian antara jumlah ABK dengan jumlah limbah yang dihasilkan oleh kapal curah selama kapal bersandar (C_b) dengan jumlah kapal berdasarkan kapasitas Terminal Jamrud pada Tabel 4.7. Hal itu dapat dituliskan sebagai:

$$T_b = \text{jumlah ABK} \times S \times C_b \quad (4.1e)$$

Tabel 4.8 menunjukkan limbah padat yang dihasilkan saat kapal bersandar (limbah bersandar) berdasarkan jenis kapal, ukuran gros tonase dan jumlah ABK dari berbagai skenario setiap hari.

Tabel 4.8 Limbah padat yang dihasilkan saat kapal bersandar

Tipe kapal	Ukuran (GT)	Jumlah ABK	Skenario tinggi	Skenario sedang	Skenario rendah
Niaga domestic	3.000	20	4,2	8,4	8,4
Niaga domestic	6.000	21	26,46	17,64	8,82
Niaga internasional	9.000	21	4,41	8,82	13,23
Niaga internasional	12.000	22	18,48	9,24	4,62

Pada Tugas Akhir ini, jumlah limbah yang dihasilkan di Terminal Jamrud ditentukan berdasarkan jumlah limbah padat yang dihasilkan setiap minggu.

Agar nilai pada Tabel 4.8 dapat digunakan pada perhitungan kedepannya, nilai tersebut perlu diubah menjadi jumlah limbah bersandar per minggu. Nilai pada Tabel 4.8 perlu dikalikan 7 untuk mendapatkan jumlah limbah bersandar yang dihasilkan setiap minggu.

Tabel 4.9 menunjukkan jumlah limbah bersandar yang dihasilkan setiap minggu. Dermaga niaga domestik menghasilkan limbah bersandar sebanyak 182,28 kg limbah padat per minggu. Dermaga niaga internasional menghasilkan 126,42 kg limbah padat per minggu. Limbah padat dermaga internasional lebih sedikit karena jumlah kapal yang bersandar juga lebih sedikit.

Tabel 4.9 Limbah padat yang dihasilkan per minggu

Tipe Kapal	Ukuran (GT)	Skenario tinggi (kg)	Skenario sedang (kg)	Skenario rendah (kg)
Niaga domestik	3.000	29,4	58,8	58,8
Niaga domestik	6.000	185,22	123,48	61,74
Niaga internasional	9.000	30,87	61,74	92,61
Niaga internasional	12.000	129,36	64,68	32,34

4.3.4 Jumlah limbah padat yang dihasilkan selama pelayaran

Dalam Tugas Akhir ini, untuk menghitung jumlah limbah padat yang dihasilkan selama pelayaran, dilakukan perhitungan baik untuk kapal penumpang maupun kapal niaga. Untuk itu, ditentukan lebih dahulu acuan jumlah limbah padat yang dihasilkan. Dari situ, dengan mempertimbangkan berbagai faktor, seperti durasi pelayaran, kecepatan, jarak dan umur rata-rata kapal, acuan tersebut dicari.

Acuan jumlah limbah padat yang dihasilkan

Kapal penumpang:

Durasi pelayaran kapal penumpang yang menuju Terminal Jamrud ditentukan dengan menggunakan pendekatan rata-rata lama waktu kapal penumpang melakukan pelayaran menuju pelabuhan Surabaya (*Port of Surabaya*) berdasarkan data AIS. Dari data yang dikumpulkan, didapatkan bahwa rata-rata lama waktu atau durasi pelayaran untuk kapal penumpang adalah 1,46 hari (Lihat Lampiran).

- Kecepatan rata-rata kapal penumpang pada penelitian ini adalah 13,2 knot.
- Jarak pelayaran rata-rata pada penelitian ini adalah 339 mil laut.
- Umur rata-rata kapal penumpang yang dilansir dari IMO adalah 21 tahun.

Kapal niaga:

Durasi pelayaran kapal niaga yang menuju Terminal Jamrud ditentukan dengan menggunakan pendekatan rata-rata waktu kapal niaga melakukan pelayaran menuju Pelabuhan Surabaya (*Port of Surabaya*) berdasarkan data AIS. Rute pelayaran dibagi menjadi dua, yaitu pelayaran domestik dan pelayaran internasional. Rata-rata lama waktu pelayaran kapal niaga domestik adalah 4,29 hari dan kapal niaga internasional adalah 13,05 hari.

- Kecepatan rata-rata kapal niaga domestik dalam penelitian ini adalah 8,24 knot dan kapal niaga internasional adalah 10,73 knot.
- Rata-rata jarak pelayaran rata-rata kapal niaga domestik dalam penelitian ini adalah 638,2 mil laut. Untuk kapal niaga internasional, rata-rata jaraknya adalah 2.409 mil laut.
- Umur rata-rata kapal niaga yang dilansir dari UNCTAD (*United Nations Conference on Trade and Development* = Konferensi Perserikatan Bangsa-Bangsa mengenai Perdagangan dan Pembangunan) adalah 21 tahun.

Berdasarkan lama waktu pelayaran, didapatkan jumlah limbah yang dihasilkan oleh satu kapal yang melakukan satu kali persinggahan (*port call*) pada Tabel 4.10. Jumlah limbah per *call* (Tu,c ; Tbk,c ; Th,c ; To,c) dihitung dengan mengalikan limbah yang dihasilkan per hari dengan durasi pelayaran yang dapat ditulis sebagai:

$$Tu,a,c = \text{durasi pelayaran} \times Tu \quad (4.2a)$$

$$Tbk,a,c = \text{durasi pelayaran} \times Tbk \quad (4.2b)$$

$$Th,a,c = \text{durasi pelayaran} \times Th \quad (4.2c)$$

$$To,a,c = \text{durasi pelayaran} \times Co \quad (4.2d)$$

Tabel 4.10 Acuan limbah yang dihasilkan (limbah per *call*)

Tipe kapal	Ukuran (GT)	Durasi pelayaran (hari)	Limbah umum (Tu,a,c)	Limbah botol dan kaleng (Tbk,a,c)	Limbah berbahaya (Th,a,c)	Limbah operasional (To,a,c)
Niaga domestic	3.000	4,29	231,7	0	0	47,2
Niaga domestic	6.000	4,29	243,2	0	0	47,2
Niaga int'l	9.000	13,05	739,9	0	0	90,4
Niaga int'l	12.000	13,05	775,2	0	0	90,4
Ro-ro	5.000	1,46	3.574,1	2.137,4	253,6	16,1
Ro-ro	10.500	1,46	6.189,8	3.742,0	439,3	16,1
Kpl penumpang	14.500	1,46	9.259,2	5.626,8	657,1	16,1

Jumlah Limbah yang Dihasilkan

Untuk menghitung jumlah limbah yang dihasilkan oleh setiap kapal yang berlabuh di Terminal Jamrud Surabaya, dilakukan perhitungan dari acuan limbah yang dihasilkan dengan faktor-faktor lain yang mempengaruhi besarnya jumlah limbah yang dihasilkan. Faktor-faktor yang dimaksud dalam perhitungan ini adalah faktor-

faktor dalam Tabel 4.3, yaitu ukuran kapal, umur kapal, kecepatan kapal, jarak dari pelabuhan persinggahan terakhir dan jumlah orang di atas kapal.

- Kenaikan jumlah sampah sebesar 0,12% per kenaikan 5% GT kapal dari kapal acuan
- Penurunan jumlah sampah sebesar 0,05% per kenaikan 37% umur kapal
- Penurunan jumlah sampah sebesar 0,03% per kenaikan 81% kecepatan kapal
- Penurunan jumlah sampah sebesar 0,09% per kenaikan 5% jarak dari persinggahan terakhir
- Kenaikan jumlah sampah sebesar 0,69% per kenaikan 1% jumlah orang di atas kapal

Dalam penelitian ini, diambil beberapa kapal sampel yang melakukan persinggahan di Pelabuhan Tanjung Perak (*Port of Surabaya*). Jumlah sampahnya mengacu kepada tabel acuan limbah yang dihasilkan (Lihat Tabel 4.11).

Tabel 4.11 Limbah kapal yang melakukan *port call* di Tanjung Perak

Nama	GT	Jumlah orang	Umur kapal	Kecepatan rata-rata	Jarak	Persentase faktor (PF)	Limbah dihasilkan (T)
Ciremai	14.581	2.000	27	12,5	358	-0,013453	9.134,636
Mutiara Ferindo	16.000	2.091	24	11,3	260	0,02422576	9.483,511
Mila Utama	10.833	1.314	32	11,9	260	-0,0204059	6.063,492
Dharma Ferry VII	12.415	1.472	27	13,4	436	0,05559854	6.533,944
Niki Sejahtera	5.109	742	30	16	538	-0,0471346	3.405,636
Dharma Kartika IX	6.801	911	24	12,4	260	0,1208464	4.006,017
Niki Barokah	3.869	619	37	15	260	-0,1496506	3.039,234
Ocean Mercy	6.269	21	21	9,8	2.580	-0,0088345	461,9822
BBC Emsland	7.878	21	10	8	2.355	-0,0020694	465,1354
African Hawk	17.944	22	16	12,6	3.961	6,9559E-05	488,334
Qian Kun	24.112	22	9	12,5	741	0,03734579	506,5359
Tanto Horas	3.666	21	36	7	328	0,05123625	243,5714
Meratus Sabang	3.256	21	26	9,3	1.220	0,03291107	239,3255
Meratus Ultima 2	4.896	21	29	6,1	328	0,00747603	245,0182
Tanto Keluarga	6.812	21	1	9,3	614	0,0118204	246,0747
Meratus Kupang	8.170	21	23	9,5	701	0,01430743	246,6796

Dengan memasukkan faktor-faktor di atas, didapat jumlah limbah yang dihasilkan seperti dalam Tabel 4.12. Perhitungannya adalah sebagai berikut:

(a) Persentase faktor GT: $(((GT \text{ kapal} - GT \text{ kapal acuan}) \times GT \text{ kapal acuan}) / 5\%) \times 0,12\%$

(b) Persentase faktor umur: $(((\text{umur kapal} - \text{umur kapal acuan}) \times \text{umur kapal acuan}) / 37\%) \times 0,05\%$

(c) Persentase faktor kecepatan: $(((\text{kec. kapal} - \text{kec. kapal acuan}) \times \text{kec. kapal acuan}) / 81\%) \times 0,03\%$

(d) Persentase faktor jarak: $(((\text{jarak kapal} - \text{jarak kapal acuan}) \times \text{jarak kapal acuan}) / 5\%) \times 0,09\%$

(e) Persentase faktor orang: $(((\text{jumlah orang kapal} - \text{jumlah orang kapal acuan}) \times \text{jumlah orang kapal acuan}) / 1\%) \times 0,69\%$

$$\text{Persentase faktor total (PF): } (a) - (b) - (c) - (d) + (e) \quad (4.3)$$

Jumlah limbah yang dihasilkan oleh kapal sampel (T) yang melakukan persinggahan di Tanjung Perak dihitung dengan mengalikan jumlah limbah yang dihasilkan oleh kapal acuan (Lihat Tabel 4.10) dengan nilai persentase kenaikan atau penurunan setelah faktor-faktor seperti ukuran, umur, kecepatan, jumlah orang dan jarak pelayaran kapal dipertimbangkan. Perhitungannya adalah sebagai berikut:

$$T = T_{u,a,c} + (T_{u,a,c} \times \text{PF}) \quad (4.4)$$

Kapal yang dijadikan acuan adalah kapal yang memiliki ukuran paling mendekati dengan kapal acuan. Dengan menerapkan prinsip yang sama, didapat rata-rata limbah yang dihasilkan berdasarkan klasifikasi gros tonasenya (3.000 GT, 6.000 GT, 9.000 GT, 12.000 GT untuk kapal niaga dan 5.000 GT, 10.500 GT, 14.500 GT untuk kapal penumpang).

Pada Tabel 4.12, terlihat bahwa rata-rata limbah yang dihasilkan (T_{avg}) oleh kapal dengan klasifikasi kapal penumpang 14.500 GT adalah rata-rata limbah KM Ciremai dan KM Mutiara Ferindo, yaitu 9.280 kg. Sementara itu, kapal dengan klasifikasi kapal niaga 3.000 GT adalah rata-rata limbah MV Meratus Sabang dan MV Tanto Horas, yaitu 239 kg.

Tabel 4.12 Rata-rata limbah per *call* berdasarkan GT-nya

Tipe kapal	GT	Rata-rata limbah per <i>call</i> (kg)
Penumpang	14.500	9.280
Ro-ro	5.000	3.471
Ro-ro	10.500	6.277
Niaga domestik	3.000	239
Niaga domestik	6.000	245
Niaga internasional	9.000	464
Niaga internasional	12.000	498

Jumlah persinggahan (*port call*) per minggu

Kapal niaga:

Penentuan lama waktu bersandar kapal niaga di Terminal Jamrud Surabaya dihitung berdasarkan jumlah muatan (*payload*) yang dimiliki kapal dibagi dengan produktivitas Pelindo III untuk bongkar muat nonpeti kemas. Nilai produktivitas Pelindo III berdasarkan Standar UN adalah 50 T/G/J.

Tabel 4.13 menunjukkan jumlah persinggahan masing-masing kapal yang dikelompokkan berdasarkan gros tonasenya. Besarnya muatan inilah yang akan menentukan berapa lama waktu bongkar muat. Dengan diasumsikan proses bongkar muat terus berlangsung selama 24 jam, maka waktu yang dibutuhkan untuk bongkar muat suatu kapal adalah besarnya muatan dibagi produktivitas Pelindo III:

$$\text{Waktu bongkar muat} = \text{muatan} / 50$$

Maka jumlah persinggahan kapal niaga (N_n) di Terminal Jamrud selama seminggu adalah:

$$N_n = 152 / (\text{muatan} / 50) \quad (4.5a)$$

Kapal Penumpang:

Lama waktu bersandar kapal penumpang ditentukan dengan menggunakan pendekatan rata-rata waktu kapal penumpang melakukan persinggahan di Pelabuhan Surabaya berdasarkan data AIS. Didapatkan bahwa waktu yang dihabiskan kapal penumpang saat bersandar adalah 11,8 jam per persinggahan. Oleh karena itu, jumlah persinggahan kapal penumpang (N_p) di Terminal Jamrud adalah:

$$N_p = 152 / 11.8 \quad (4.5b)$$

Tabel 4.13 juga menunjukkan jumlah persinggahan kapal per minggu dari berbagai jenis, ukuran dan muatan kapal beserta lama waktu persinggahannya. Hal-hal itu digunakan untuk menghitung jumlah limbah pelayaran. Tabel tersebut menunjukkan semua kapal penumpang melakukan 14 *port call* per minggu. Kapal niaga 3.000 GT melakukan 2 *port call* per minggu, kapal niaga 6.000 GT dan 9.000 GT 1 *port call* per minggu dan kapal niaga 12.000 GT 1 *port call* per dua minggu.

Tabel 4.13 Jumlah persinggahan berdasarkan ukuran kapal

Tipe Kapal	Ukuran kapal (GT)	Muatan (ton)	Produktivitas (T/G/J)	Waktu (jam)	Waktu (hari)	Jumlah <i>port call</i> per minggu
Niaga	3.000	4.088,2	50,0	81,8	3,4	2
Niaga	6.000	7.417,9	50,0	148,4	6,2	1
Niaga	9.000	10.747,6	50,0	215,0	9,0	1
Niaga	12.000	14.077,3	50,0	281,5	11,7	0,5
Penumpang	5.000	-	-	11,8	0,5	14
Penumpang	10.500	-	-	11,8	0,5	14
Penumpang	14.500	-	-	11,8	0,5	14

Jumlah limbah pelayaran

Jumlah keseluruhan limbah padat yang masuk ke Terminal Jamrud per minggu dihitung dengan mengalikan jumlah kapal sesuai kapasitas Terminal Jamrud (Tabel 4.7) dengan rata-rata jumlah limbah per *call* (T_{avg}) (Tabel 4.12) dan jumlah *port call* per minggu (N_p dan N_n) (Tabel 4.13).

Namun, menurut studi kasus di Pelabuhan Las Palmas, tidak semua kapal membuang sampahnya di pelabuhan karena beberapa faktor (Perez, 2017). Dari seluruh kapal bersandar, hanya 14% yang melakukan pembuangan sampah di pelabuhan. Oleh karena itu, nilai tersebut perlu dikalikan 14% karena tidak semua kapal melakukan pembuangan sampah di Terminal Jamrud.

Maka jumlah limbah padat yang dibuang oleh kapal penumpang ($T_{w,p}$) dan kapal niaga ($T_{w,n}$) di Terminal Jamrud setiap minggu adalah sebagai berikut:

$$T_{w,p} = N_p \times T_{avg} \times \text{jumlah kapal} \times 14\% \quad (4.6a)$$

$$T_{w,n} = N_n \times T_{avg} \times \text{jumlah kapal} \times 14\% \quad (4.6b)$$

Jumlah limbah yang dihasilkan oleh kapal penumpang 10.500 GT pada skenario sedang dapat dihitung dengan $14 \times 6.277 \times 2 \times 14\%$

= 24.605,84 kg/minggu. Sementara itu, untuk kapal niaga 3.000 GT pada skenario sedang, dapat dihitung dengan $2 \times 239 \times 2 \times 14\% = 133,84$ kg/minggu (Lihat Tabel 4.14).

Tabel 4.14 Jumlah limbah padat selama pelayaran per minggu

Tipe	GT	Skenario tinggi (kg/minggu)	Skenario sedang (kg/minggu)	Skenario dedang (kg/minggu)
Niaga	3.000	66,92	133,84	133,84
Niaga	6.000	205,8	137,2	68,6
Niaga	9.000	64,96	129,92	194,88
Niaga	12.000	139,44	69,72	34,86
Penumpang	5.000	13.606,32	13.606,32	6.803,16
Penumpang	10.500	12.302,92	24.605,84	0
Penumpang	14.500	18.188,8	0	18.188,8

4.3.5 Jumlah limbah tambahan yang dihasilkan per minggu

Jumlah limbah tambahan yang dimaksud adalah limbah tambahan seperti limbah botol dan kaleng, limbah berbahaya dan limbah operasional. Limbah botol dan kaleng hanya terdapat pada kapal penumpang.

Perhitungan limbah botol dan kaleng dapat dihitung dengan mengalikan jumlah persinggahan (N_p) dengan jumlah acuan limbah botol dan kaleng per *call* ($T_{bk,a,c}$) dengan jumlah kapal (Tabel 4.7) x 14% sebagai faktor probabilitas kapal tersebut membuang sampah di Terminal Jamrud. Perhitungannya adalah sebagai berikut:

$$T_{bk,w} = N_p \times T_{bk,a,c} \times \text{jumlah kapal} \times 14\% \quad (4.7a)$$

Perhitungan limbah berbahaya sama seperti perhitungan limbah botol dan kaleng, tetapi variabel $T_{bk,a,c}$ -nya diganti dengan $T_{h,a,c}$. Maka perhitungannya adalah sebagai berikut:

$$T_{h,w} = N_p \times T_{h,a,c} \times \text{jumlah kapal} \times 14\% \quad (4.7b)$$

Perhitungan limbah operasional berlaku untuk kapal penumpang dan kapal niaga. Perhitungan limbah operasional sama seperti kedua perhitungan di atas, tetapi berbeda variabelnya sehingga perhitungannya adalah sebagai berikut:

$$To,w = (Np / Nn) \times To,a,c \times \text{jumlah kapal} \times 14\% \quad (4.7c)$$

Tabel 4.15 menunjukkan jumlah limbah tambahan yang dihasilkan oleh Terminal Jamrud setiap minggu pada skenario sedang per minggu. Perhitungan jumlah limbah muatan ($T_{m,w}$) dihitung berdasarkan total muatan yang dibongkar muat di Terminal Jamrud selama seminggu. Perhitungan limbah muatan adalah sebagai berikut:

$$T_{m,w} = N_n \times C_m \times \text{jumlah kapal} \times \text{besarnya muatan}. \quad (4.7d)$$

4.3.6 Jumlah limbah padat yang dihasilkan per minggu

Jumlah limbah yang dihasilkan dalam satu minggu ditentukan dengan menjumlahkan limbah yang dihasilkan kapal selama bersandar (Tabel 4.9) dan sepanjang pelayaran (Tabel 4.15) dan limbah operasional untuk kapal niaga ($T_{t,n}$). Sementara itu, untuk kapal penumpang ($T_{t,p}$) hanya limbah selama pelayarannya saja yang diperhitungkan. Perhitungannya dapat ditulis sebagai berikut:

$$T_{t,n} = T_{w,n} + T_{o,w,n} \quad (4.8a)$$

$$T_{t,p} = T_{w,p} + T_{o,w,p} + T_{bk,w} + T_{h,w} \quad (4.8b)$$

Tabel 4.15 Jumlah limbah tambahan per minggu (skenario sedang)

Tipe kapal	GT	Limbah botol dan kaleng	Limbah berbahaya	Limbah operasional
Niaga dom.	3.000	0	0	26,432
Niaga dom.	6.000	0	0	26,432
Niaga int'l	9.000	0	0	25,312
Niaga int'l	12.000	0	0	12,656
Ro-ro	5.000	8.378,608	994,112	63,112
Ro-ro	10.500	14.668,64	1.722,056	63,112
Penumpang	14.500	0	0	0

Perhitungan jumlah limbah muatan dihitung berdasarkan total muatan yang dibongkar muat di Terminal Jamrud selama seminggu. Perhitungan limbah muatan adalah sebagai berikut:

$$\text{Limbah muatan} = (1/123) \times \text{muatan} \times N_n \times \text{jumlah kapal}$$

Dari perhitungan di atas, jumlah limbah padat yang dihasilkan per minggu dapat dilihat pada Tabel 4.16. Tabel tersebut menunjukkan total jumlah limbah yang dihasilkan oleh kapal penumpang dan kapal niaga pada tiga skenario. Limbah yang ditotal adalah limbah umum, limbah botol dan kaleng, limbah berbahaya dan limbah operasional.

Tabel 4.16 Jumlah limbah padat yang dihasilkan per minggu

Tipe kapal	Skenario	Limbah umum	Limbah botol dan kaleng	Limbah berbahaya	Limbah operasional
Penumpang	Tinggi	44.098,04	26.741,46	3.143,056	126,224
Penumpang	Sedang	38.212,16	23.047,25	2.716,168	126,224
Penumpang	Rendah	24.991,96	15.217,83	1.784,972	63,112
Niaga dom.	Tinggi	272,72	0	0	52,864
Niaga dom.	Sedang	271,04	0	0	52,864
Niaga dom.	Rendah	202,44	0	0	39,648
Niaga int'l	Tinggi	204,4	0	0	37,968
Niaga int'l	Sedang	199,64	0	0	37,968
Niaga int'l	Rendah	229,74	0	0	44,296

- Limbah berbahaya hanya terdapat di kapal yang tercatat memiliki limbah berbahaya.
- Limbah operasional yang dimaksud adalah kain, baterai, jerigen, peralatan rumah tangga, kayu, suar, palet, cat dan peralatan pergudangan. Beberapa limbah operasional juga dapat dikategorikan sebagai limbah berbahaya.

Sementara itu, jumlah limbah tambahan yang dihasilkan berbagai jenis kapal dari berbagai skenario adalah sebagaimana terlihat dalam Tabel 4.17. Tabel tersebut menunjukkan jumlah limbah tambahan yang dihasilkan per minggu. Limbah tambahan yang dimaksud adalah limbah botol dan kaleng. Limbah botol dan kaleng diasumsikan sebagai limbah plastik dan logam dalam Tugas Akhir ini.

Limbah botol dan kaleng dari Tabel 4.16 dikonversikan menjadi berat dengan acuan 1 botol plastik 660 ml = 30 gram plastik dan 1 kaleng 330 ml = 190 gram aluminium (logam). Dari situ, didapat berat total limbah plastik dan limbah logam yang dihasilkan dari limbah botol dan plastik.

Limbah muatan adalah residu kargo. Biasanya limbah ini muncul pada saat dilakukannya proses bongkar muat. Residu kargo

umumnya dibersihkan oleh operator penanganan kargo (*cargo handling*) atau pihak kapal.

Tabel 4.17 Jumlah limbah tambahan yang dihasilkan per minggu

Tipe Kapal	Skenario	Limbah plastik (kg)	Limbah logam (kg)	Limbah muatan (ton)
Penumpang	Tinggi	802,2437	5.080,877	
Penumpang	Sedang	691,4174	4.378,977	
Penumpang	Rendah	456,535	2.891,388	
Niaga domestik	Tinggi			428,3236
Niaga domestik	Sedang			374,1821
Niaga domestik	Rendah			253,5659
Niaga int'l	Tinggi			316,278
Niaga int'l	Sedang			289,2073
Niaga int'l	Rendah			319,3614

Gambar 4.2 menunjukkan petugas *cargo handling* yang langsung membersihkan limbah muatan atau residu kargo yang dihasilkan saat proses bongkar muat muatan. Berdasarkan pengamatan penulis dan wawancara yang dilakukan terhadap petugas di lapangan, residu kargo biasanya langsung dibersihkan dengan dibuang ke laut oleh petugas di lapangan. Limbah muatan ini bermacam-macam, tergantung jenis muatan yang dibongkar muat.



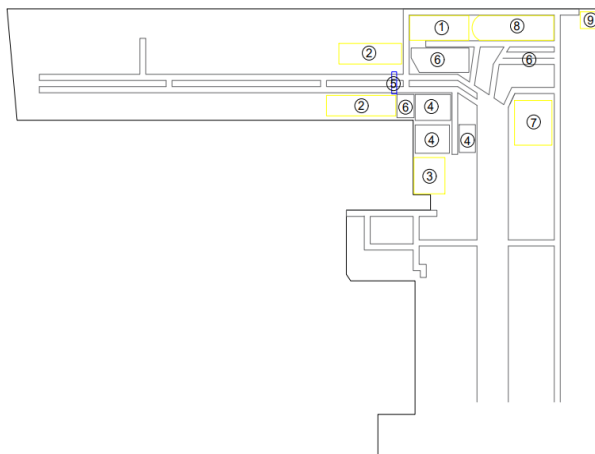
Gambar 4.2 Petugas *cargo handling* sedang membersihkan residu kargo

Sumber: Dokumentasi Penulis

4.3.7 Jumlah limbah padat yang dihasilkan pelabuhan

Dalam Tugas Akhir ini, dengan menganalisa tata letak Terminal Jamrud (Lihat Gambar 4.3), di mana sejumlah tempat diperkirakan pasti menghasilkan sampah, dilakukan perhitungan jumlah limbah padat yang dihasilkan.

Gambar tersebut menampilkan denah bangunan-bangunan yang berada di Terminal Jamrud. Bangunan-bangunan ini tentu menghasilkan limbah padat juga. Oleh karena itu, limbah padat yang dihasilkan dari bangunan-bangunan ini juga diperhitungkan.



Gambar 4.3 Terminal Jamrud Surabaya

Keterangan:

- | | |
|-----------------------------------|--|
| 1. Gedung terminal penumpang | 2. Gudang |
| 3. Terminal penumpang kapal ro-ro | 4. Area tunggu kendaraan ke kapal ro-ro |
| 5. Gerbang pemeriksaan dokumen | 6. Area parkir penumpang dan pengunjung |
| 7. PT. Pelindo III | 8. Terminal penumpang Gapura Surya Nusantara |
| 9. Kantor Kesyahbandaran | |

Tabel 4.18 menunjukkan jumlah limbah pelabuhan yang dihasilkan berdasarkan masing-masing skenario. Pada skenario tinggi, area pelabuhan menghasilkan 274 ton limbah padat per minggu, skenario sedang 237 ton limbah padat per minggu dan skenario rendah 156 ton limbah padat per minggu.

Perhitungan jumlah sampah yang dihasilkan oleh pelabuhan mengacu kepada Mohee (2012) dan dapat dirumuskan sebagai berikut:

$$T_c = (T_{t,n} + T_{t,p} + T_h + T_o + \text{limbah plastik logam tambahan}) \times 9,43 \times 54\% \quad (4.9)$$

Tabel 4.18 Limbah pelabuhan

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

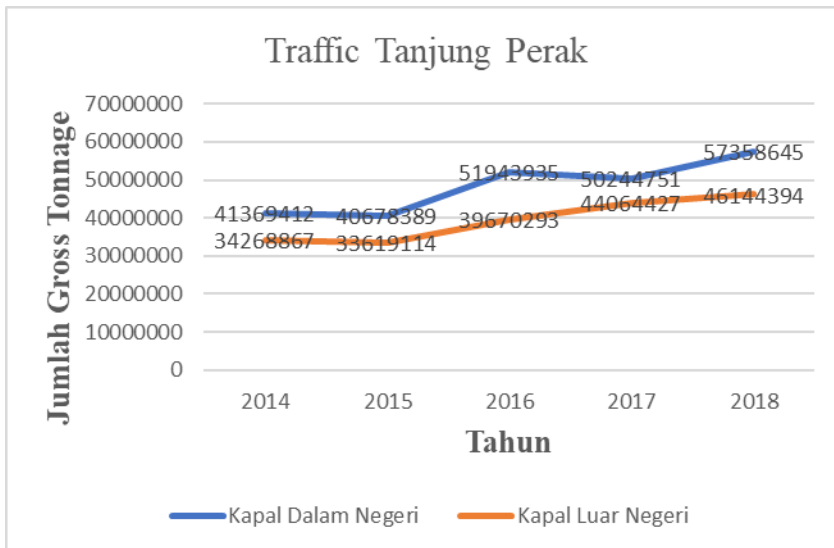
4.4 Trafik di Terminal Jamrud Surabaya

Trafik di Terminal Jamrud Surabaya menggunakan data trafik di Pelabuhan Tanjung Perak. Diasumsikan bahwa Tanjung Perak merepresentasikan Terminal Jamrud. Data selama lima tahun dari tahun 2014 hingga 2018 diambil dari data publikasi “Statistik Transportasi Laut” yang diterbitkan setiap tahun oleh Badan Pusat Statistik. (BPS 2014, 2015, 2016, 2017, 2018).

Trafik jumlah kapal di Pelabuhan Tanjung Perak dari tahun 2014 hingga 2018 digambarkan dalam Lampiran. 4 Jumlah kapal luar negeri yang berkunjung ke Pelabuhan Tanjung Perak dari tahun 2014 sampai tahun 2018 terlihat tidak memiliki peningkatan maupun penurunan yang signifikan. Berbeda lagi ketika kita melihat trafik kunjungan kapal dalam negeri. Kunjungan kapal dalam negeri cenderung fluktuatif dari tahun ke tahun.

Grafik 4.1 menggambarkan trafik berdasarkan jumlah gros tonase di Pelabuhan Tanjung Perak dari tahun 2014 hingga 2018. Jumlah gros tonase dari tahun 2014 sampai tahun 2018 cenderung meningkat. Peningkatan kunjungan kapal luar negeri terlihat cukup stabil. Peningkatan kunjungan kapal dalam negeri masih sedikit fluktuatif, tetapi menunjukkan tren meningkat.

Berdasarkan grafik tersebut terlihat jumlah gros tonase setiap tahunnya selalu cenderung lebih besar dibandingkan tahun sebelumnya. Dari grafik ini dapat dicari tren peningkatan atau penurunan trafik di Pelabuhan Tanjung Perak. Tren trafik di Pelabuhan Tanjung Perak dapat dilihat dalam Lampiran 4 dan Grafik 4.2.

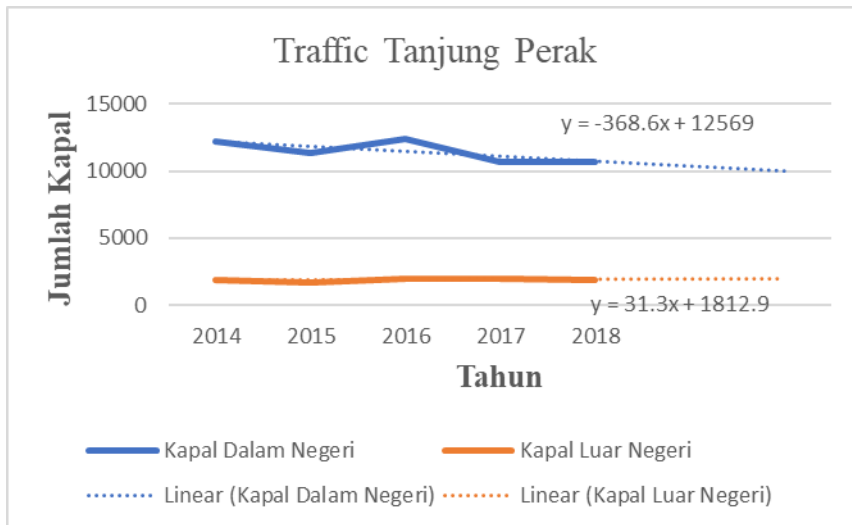


Grafik 4.1 Trafik jumlah GT di Tanjung Perak
 Sumber: Badan Pusat Statistik, 2019

Tren jumlah gros tonase pada kunjungan domestik dan luar negeri terlihat cenderung meningkat. Namun dalam jumlah kunjungan kapal, di Pelabuhan Tanjung Perak menunjukkan perbedaan antara kunjungan kapal dalam negeri dan luar negeri. Jumlah kunjungan kapal dalam negeri menunjukkan tren menurun. Jumlah kunjungan kapal luar negeri menunjukkan tren meningkat.

Jumlah gros tonase di Pelabuhan Tanjung Perak menunjukkan tren peningkatan (Lihat Lampiran 4). Jumlah gros tonase kapal dalam negeri dan kapal luar negeri menunjukkan tren yang meningkat.

Dari Lampiran 4 dan Grafik 4.2 dapat disimpulkan bahwa kunjungan kapal dalam negeri ke Pelabuhan Tanjung Perak cenderung sedikit menurun. Tetapi tampak bahwa kapal-kapalnya yang bersandar berukuran semakin lebih besar. Sementara itu, jumlah kunjungan kapal luar negeri dalam periode yang sama cenderung tetap dengan peningkatan yang tidak signifikan. Tetapi tampak pula bahwa kapal-kapalnya juga berukuran semakin lebih besar.



Grafik 4.2 Tren peningkatan jumlah kapal di Tanjung Perak
 Sumber: Badan Pusat Statistik, 2019

Dalam kedua grafik tersebut, terdapat sedikit anomali pada tahun 2016 jika dibandingkan dengan tahun 2015. Supply Chain Indonesia (SCI) juga mengutip pihak Pelindo III yang menyebutkan bahwa peningkatan jumlah kunjungan kapal dan sekaligus peningkatan volume angkutan kapal yang bersandar dari tahun 2015 ke tahun 2016 memiliki tren yang berbeda dari tahun-tahun sebelumnya. Pada tahun-tahun sebelumnya, peningkatan volume kapal yang bersandar biasanya berbanding terbalik dengan jumlah unit kapalnya. Dari Grafik 4.2 dan Lampiran 4, didapat hal-hal sebagai berikut:

- Peningkatan jumlah gros tonase kapal dalam negeri sebesar 0,0592% setiap tahun
- Peningkatan jumlah gros tonase kapal luar negeri sebesar 0,0595% setiap tahun
- Penurunan jumlah kapal dalam negeri sebesar 0,0439% setiap tahun
- Peningkatan jumlah kapal luar negeri sebesar 0,0148% setiap tahun.

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, penulis melakukan survey selama 26 hari dari tanggal 3 Juli 2020 sampai dengan 28 Juli 2020, jumlah kunjungan kapal 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

4.4.2 Prediksi jumlah limbah padat kedepannya

Dari statistik BPS, diprediksi bahwa akan terjadi peningkatan dan penurunan jumlah kapal dan ukuran kapal sebagai berikut:

- Peningkatan jumlah gros tonase kapal dalam negeri sebesar 0,0592% setiap tahun
- Peningkatan jumlah gros tonase kapal luar negeri sebesar 0,0595% setiap tahun
- Penurunan jumlah kapal dalam negeri sebesar 0,0439% setiap tahun
- Peningkatan jumlah kapal luar negeri sebesar 0,0148% setiap tahun.

Berdasarkan Tabel 4.7 pada skenario sedang didapat jumlah kunjungan kapal di Terminal Jamrud pada tahun 2020 adalah 3328 kunjungan kapal domestik dan 156 kunjungan kapal internasional. Jumlah gros tonase di Terminal Jamrud pada tahun 2020 sebesar 50,44 juta gros tonase kunjungan domestik dan 15,6 juta gros tonase kunjungan internasional.

Berdasarkan persentase peningkatan atau penurunan tersebut, jumlah kunjungan kapal dan gros tonase pada tahun berikutnya dapat dirumuskan sebagai berikut:

$$T = I(1 + r)^n \text{ dimana,} \quad (4.10a)$$

T = total limbah tahun n
I = jumlah limbah pada tahun 2020

r = persentase peningkatan atau penurunan
 n = tahun T (tahun 2020 $n = 0$; 2021 $n = 1$; 2022 $n = 2$, dst.)

Peningkatan jumlah limbah setiap tahunnya dapat dirumuskan sebagai berikut:

$$T_n = (((a_n / a_{n-1}) + (b_n / b_{n-1}) + (c_n / c_{n-1}) + (d_n / d_{n-1})) / 4) T_{n-1} \quad (4.10b)$$

Berdasarkan perhitungan diatas didapat didapat jumlah limbah yang dihasilkan per minggunya pada tahun 2030 sebesar 47.266 ton, pada tahun 2040 sebesar 48.946 ton dan pada tahun 2050 sebesar 51.852 ton (Lihat Tabel 4.19).

4.5 Macam-macam limbah padat di pelabuhan

Ada berbagai limbah padat yang dihasilkan di pelabuhan. Subjudul ini membahas pendistribusian limbah padat tersebut yang dihasilkan berbagai jenis kapal di sejumlah pelabuhan. Angka-angka tersebut didapat dari beberapa referensi. Setiap referensi memiliki ruang lingkup yang berbeda.

4.5.1 Pendekatan

Tabel 4.20 menyajikan distribusi berbagai jenis limbah padat yang dihasilkan oleh kapal di sejumlah pelabuhan di dunia. Jenis-jenis limbahnya beragam, tergantung dari jenis kapalnya.

Distribusi limbah padat yang dihasilkan oleh kapal di Pelabuhan Louis Mauritius adalah 62% plastik, 33% kertas, 3% limbah makanan (sampah organik), 1% limbah kayu/kardus, 0% limbah kain dan logam, dan limbah lainnya (Mohee, 2012). Sementara itu, distribusi limbah padat yang dihasilkan di Pelabuhan Soekarno-Hatta Makassar adalah 42,41% plastik, 36,82% kertas, 8,29% sampah organik, 4,21% kaca, 3,53% logam, 2,4% kayu dan 2,34% limbah lainnya (Rahim, 2014). Selain itu, limbah padat yang dihasilkan di atas kapal kargo adalah 31% sisa makanan, 10% plastik, 25% kertas, 8% logam, 9% tekstil/kain, 4% kaca dan 13% lain-lainnya (Zakri, 2009)

Tabel 4.19 Persentase peningkatan dan penurunan dari tahun 2020

n	Tahun	Jumlah kapal		GT		Volume limbah	
		dom (a)	intl (b)	dom (c)	intl (d)	Per tahun	Per minggu
0	2020	3.328	156	50.440.000,0	1.560.000,0	2.427.672,0	46.686,0
1	2021	3.327	156	50.469.860,5	1.560.928,2	2.428.215,8	46.696,5
2	2022	3.324	156	50.529.634,5	1.562.786,3	2.429.304,2	46.717,4
3	2023	3.319	156	50.619.428,3	1.565.577,5	2.430.938,4	46.748,8
4	2024	3.313	156	50.739.401,5	1.569.306,9	2.433.119,8	46.790,8
5	2025	3.306	156	50.889.768,1	1.573.981,1	2.435.850,5	46.843,3
6	2026	3.297	156	51.070.796,3	1.579.608,6	2.439.132,7	46.906,4
7	2027	3.287	157	51.282.809,9	1.586.199,4	2.442.969,0	46.980,2
8	2028	3.276	157	51.526.189,1	1.593.765,5	2.447.362,6	47.064,7
9	2029	3.263	157	51.801.371,7	1.602.320,4	2.452.316,7	47.159,9
10	2030	3.249	157	52.108.854,0	1.611.879,8	2.457.835,3	47.266,1
11	2031	3.233	158	52.449.193,1	1.622.461,0	2.463.922,5	47.383,1
12	2032	3.216	158	52.823.007,7	1.634.083,4	2.470.582,9	47.511,2
13	2033	3.198	158	53.230.980,7	1.646.768,2	2.477.821,6	47.650,4
14	2034	3.178	158	53.673.860,8	1.660.539,0	2.485.643,9	47.800,8
15	2035	3.157	159	54.152.464,9	1.675.421,2	2.494.055,8	47.962,6
16	2036	3.135	159	54.667.680,7	1.691.442,6	2.503.063,4	48.135,8
17	2037	3.112	160	55.220.469,6	1.708.633,2	2.512.673,4	48.320,6
18	2038	3.087	160	55.811.869,3	1.727.025,5	2.522.893,0	48.517,2
19	2039	3.062	160	56.442.997,2	1.746.654,4	2.533.729,8	48.725,6
20	2040	3.035	161	57.115.054,1	1.767.557,5	2.545.191,7	48.946,0
21	2041	3.007	161	57.829.327,8	1.789.775,1	2.557.287,4	49.178,6
22	2042	2.978	162	58.587.197,2	1.813.350,2	2.570.025,8	49.423,6
23	2043	2.948	163	59.390.136,8	1.838.329,0	2.583.416,4	49.681,1
24	2044	2.917	163	60.239.721,6	1.864.760,7	2.597.469,1	49.951,3
25	2045	2.885	164	61.137.631,9	1.892.698,0	2.612.194,5	50.234,5
26	2046	2.853	164	62.085.659,0	1.922.196,8	2.627.603,5	50.530,8
27	2047	2.819	165	63.085.711,4	1.953.317,0	2.643.707,9	50.840,5
28	2048	2.785	166	64.139.820,5	1.986.122,0	2.660.519,5	51.163,8
29	2049	2.749	166	65.250.148,1	2.020.679,5	2.678.051,3	51.501,0
30	2050	2.713	167	66.418.993,4	2.057.061,6	2.696.316,4	51.852,2

To (2017) juga melampirkan distribusi limbah yang dihasilkan oleh kapal berdasarkan jenisnya. Pada penelitiannya, terdapat perbedaan jumlah sampah yang dihasilkan oleh kapal curah dan kapal kontainer. Pada kapal curah, distribusi limbah yang dihasilkan adalah 35% organik, 15% plastik, 17% kaca, 13% logam, 13% kertas, 3% kain dan 3% lain-lain. Sementara itu, pada kapal kontainer, limbah yang dihasilkan adalah 13% organik, 19% plastik, 6% kaca, 10% logam, 32% kertas, 16% kain dan 3% lain-lain.

Kanat (2013) melampirkan distribusi limbah yang dihasilkan oleh kota (*municipal solid waste*, MSW). Angka ini akan dijadikan acuan distribusi jenis-jenis limbah di pelabuhan. Distribusinya adalah limbah MSW yang terdiri dari 14,39% plastik, 13,3% kertas, 50,22% organik, 1,63% logam, 5,82% kaca dan 14,64% lain-lain.

Tabel 4.20 Distribusi jenis limbah

Plastik	Kertas	Organik	Logam	Kaca	Lain-lain	Ruang lingkup	Referensi
%	%	%	%	%	%		
62	33	3	1	1	0	Umum	Mohee, 2012
41,41	36,82	8,29	3,53	4,21	4,74	Umum	Rahim, 2014
10	25	31	8	4	21	Kapal kargo	Zakri, 2009
15	13	35	13	17	6	Kapal curah	To, 2017
14,39	13,3	50,22	1,63	5,82	14,64	Kota	Kanat, 2013

Persentase jenis limbah berdasarkan jenis limbahnya dan lokasi dimana angka tersebut akan digunakan ditunjukkan oleh Tabel 4.21.

Angka persentase limbah dermaga penumpang didapat dari rata-rata persentase limbah yang dikutip dari Mohee (2012) dan Rahim (2014). Angka ini digunakan untuk menghitung besarnya masing-masing jenis limbah di dermaga penumpang utara dan selatan.

Angka persentase limbah dermaga niaga didapat dari rata-rata persentase limbah yang dikutip dari Zakri (2009) dan To (2017). Angka ini digunakan untuk menghitung besarnya masing-masing jenis limbah di dermaga niaga utara dan selatan. Angka persentase limbah pelabuhan didapat dari persentase limbah yang dikutip dari Kanat (2013). Angka ini digunakan untuk menghitung besarnya masing-masing jenis limbah yang dihasilkan oleh bangunan-bangunan yang berada di sekitar Terminal Jamrud.

4.5.2 Jumlah limbah berdasarkan jenisnya setiap minggu

Tabel 4.22 menunjukkan jumlah limbah padat yang dihasilkan di Terminal Jamrud per minggu berdasarkan jenisnya. Nilai yang akan dihitung hanya pada skenario sedang. Perhitungan jumlah limbah plastik yang dihasilkan di pelabuhan (TDc,p) per minggu mengacu kepada tabel 4.18 skenario sedang yang dapat dirumuskan sebagai:

$$TDc,p = Tc \times Dc,p \quad (4.11a)$$

Tabel 4.21 Persentase distribusi limbah (Di,j)

Jenis limbah	Limbah dermaga penumpang (Dp)	Limbah dermaga niaga (Dn)	Limbah pelabuhan (Dc)
Plastik	51,705	12,5	14,39
Kertas	34,91	19	13,3
Organik	5,645	33	50,22
Kaca	2,605	10,5	5,82
Metal	2,265	10,5	1,63
Lain2	2,87	14,5	14,64

Di,j: Persentase distribusi limbah berdasarkan dermaganya i (i = p dermaga penumpang, i = n dermaga niaga, i = c pelabuhan ; j = p plastik, j = K kertas, j = o organik, j = k kaca, j = m metal)

Perhitungan jumlah limbah kertas yang dihasilkan di dermaga niaga domestik (TDn1,k) per minggu mengacu kepada Tabel 4.16 skenario sedang yang dapat dirumuskan sebagai:

$$TDn1,k = (Tw,n, sedang + To,w, sedang) \times Dn,k \quad (4.11b)$$

Perhitungan pada dermaga penumpang utara dan selatan berbeda dari kedua contoh perhitungan di atas. Limbah di dermaga penumpang utara adalah 68% dari keseluruhan limbah yang dihasilkan kedua dermaga. Sementara itu, limbah di dermaga penumpang selatan adalah 32% dari keseluruhan limbah yang dihasilkan kedua dermaga. Nilai ini didapat dari Tabel 4.7 pada skenario sedang. Di dermaga penumpang utara, terdapat 2 kapal penumpang 10.500 GT dan di dermaga penumpang selatan terdapat 2 kapal penumpang 5.000 GT. Perhitungan jumlah limbah organik di dermaga penumpang utara (TDp1,o) per minggu mengacu kepada Tabel 4.16 yang dapat dirumuskan sebagai berikut:

$$TDp1,o = 68\% \times (Tw,p, sedang + To,w, sedang) \times Dp,o \quad (4.11c)$$

Perhitungan limbah jenis plastik dan logam di dermaga penumpang memiliki perbedaan sendiri, karena hasilnya setelah itu perlu ditambahkan lagi dengan limbah tambahan plastik dan logam yang mengacu kepada Tabel 4.17. Jumlah limbah logam di dermaga penumpang selatan (TDp2,m) per minggu mengacu kepada Tabel 4.22 yang dapat dirumuskan sebagai berikut:

$$TDp2,m = 32\% \times [(Tw,p sedang + To,w, sedang) \times Dp,m] + \text{limbah plastik tambahan} \quad (4.11d)$$

Tabel 4.22 Jumlah limbah padat per minggu berdasarkan jenisnya (TD)

Jenis limbah	Pelabuhan (TDc)	Dermaga niaga domestik (TDn1)	Dermaga niaga internasional (TDn2)	Dermaga pnp utara (TDp1)	Dermaga pnp selatan (TDp2)
Plastik	34.210,323	40,488	29,701	13.949,71	6.564,569
Kertas	31.618,992	61,54176	45,14552	9.101,072	4.282,858
Organik	119.391,41	106,88832	78,41064	1.471,657	692,5446
Kaca	13.836,281	34,00992	24,94884	679,1261	319,5888
Metal	3.875,1096	34,00992	24,94884	3.568,192	1.679,149
Lain2	34.804,665	46,96608	34,45316	748,2119	352,0997

Di,j: Persentase distribusi limbah berdasarkan dermaganya i (i = p1 dermaga penumpang utara, i = p2 dermaga penumpang selatan, i = n1 dermaga niaga domestik, i = n2 dermaga niaga internasional i = c pelabuhan ; j = p plastik, j = K kertas, j = o organik, j = kc kaca, j = m metal)

Tabel 4.23 merupakan total dari semua limbah padat yang dihasilkan di Terminal Jamrud per minggu. Angka ini didapat dengan menjumlahkan limbah di semua dermaga di Terminal Jamrud dan limbah yang dihasilkan bangunan-bangunan di kawasan pelabuhan.

Limbah yang paling banyak dihasilkan adalah limbah organik sebesar 121.662 kg setiap minggunya, diikuti limbah plastic 54.794 kg setiap minggunya dan ketiga limbah kertas 45.109 kg setiap minggunya.

Tabel 4.23 Total jumlah limbah padat di Terminal Jamrud per minggu berdasarkan jenisnya

Jenis limbah	Total
Plastik	54.794,791
Kertas	45.109,609
Organik	121.662,5 + 78,41064
Kaca	14.893,955
Metal	9.181,4099
Lain-lain	35.986,396
Total	281.628,66

Catatan: Khusus untuk limbah organik dari dermaga internasional harus dipisahkan dan dibakar menggunakan insinerator (Polglaze, 2003)

4.6 Alur penanganan limbah di pelabuhan

Dalam *Guidelines for the Provision of Garbage Reception Facilities at Ports Under MARPOL Annex V*, disebutkan bahwa ada empat pendekatan penanganan limbah di pelabuhan (Wallace, 1998), yaitu:

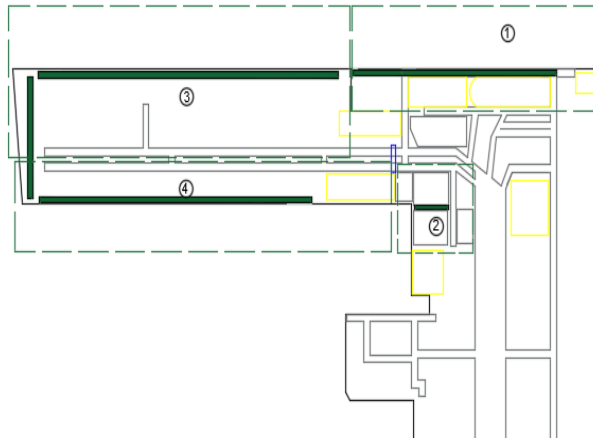
1. Sampah dibuang langsung oleh ABK di darat ke penerima sampah kecil/besar, lalu diangkut ke TPA atau fasilitas pengolahan
2. Sampah dibuang langsung oleh ABK di darat ke penerima sampah kecil, lalu ke penerima sampah besar, baru diangkut ke TP atau fasilitas pengolahan
3. Sampah dibuang langsung oleh ABK di darat ke bak penerima sampah, lalu dipak dalam bentuk palet, baru dibuang ke TPA atau fasilitas pengolahan atau dapat disimpan dahulu.
4. ABK membuang sampah dari kapal langsung ke truk sampah di pelabuhan atau melalui kapal sampah, lalu dibuang ke TPA.

Untuk memudahkan penanganan limbah padat dan pembagian tugas pengumpulan sampah, Terminal Jamrud dibagi menjadi empat zonasi (Lihat Gambar 4.3), yaitu

- (1) Zonasi terminal penumpang utara
- (2) Zonasi terminal ro-ro:
- (3) Zonasi kapal niaga pelayaran internasional
- (4) Zonasi kapal niaga pelayaran domestik
- (5) Daerah Terminal Jamrud selain zonasi 1 - 4

Berdasarkan Tabel 4.22, jumlah limbah yang dihasilkan oleh zonasi 1 adalah 29.517,97 kg/minggu, zonasi 2 sebesar 13.890,81 kg/minggu, zonasi 3 sebesar 237.608 kg/minggu, zonasi 4 sebesar 323.904 kg/minggu dan zonasi 5 sebesar 237.736,78 kg/minggu.

Area yang diarsir hijau dalam Gambar 4.4 merupakan area titik pengumpulan sampah yang berada di Terminal Jamrud.



Gambar 4.4 Zonasi dan titik pengumpulan sampah

4.6.1 Jumlah limbah per hari pada masing-masing lokasi (PB)

Tabel 4.24 menunjukkan jumlah limbah yang dihasilkan per hari pada setiap lokasi di Terminal Jamrud. Lokasi yang dimaksud adalah dermaga penumpang (dermaga penumpang utara dan selatan), dermaga niaga (dermaga niaga internasional dan domestik) dan area darat di Terminal Jamrud.

Langkah pertama adalah menentukan jumlah limbah organik yang dihasilkan setiap hari. Jumlah limbah organik dapat dihitung menggunakan persentase jenis limbah pada Tabel 4.21. Jumlah limbah organik yang dihasilkan di dermaga penumpang setiap hari (PB_{p,o}) pada masing-masing skenario dapat dirumuskan sebagai berikut:

$$PB_{p,o} = ((T_{w,p} + T_{o,w}) \times D_{p,o}) / 7 \quad (4.12a)$$

Sementara itu, jumlah limbah organik yang dihasilkan di dermaga niaga setiap hari (PB_{n,o}) pada masing-masing skenario dapat dirumuskan sebagai berikut:

$$PBn,o = ((Tw,n + To,w) \times Dn,o) / 7 \quad (4.12b)$$

Terakhir, jumlah limbah organik yang dihasilkan di area pelabuhan setiap hari (PBc,o) pada masing-masing skenario dapat dirumuskan sebagai berikut:

$$PBc,o = (Tc \times Dc,o) / 7 \quad (4.12c)$$

Langkah kedua adalah menentukan jumlah limbah kering yang dihasilkan setiap hari. Jumlah limbah kering yang dihasilkan di dermaga penumpang setiap hari (PBp,k) pada masing – masing skenario dapat dirumuskan sebagai berikut:

$$PBp,k = [((Tw,p + *Tbk,w + To,w,p) \times Dn,o) / 7] - PBp,o \quad (4.12d)$$

*Limbah botol dan kaleng adalah limbah yang sudah dikonversikan menjadi berat limbah plastik dan limbah logam seperti pada Tabel 4.17

Jumlah limbah kering yang dihasilkan di dermaga niaga setiap hari (PBn,k) pada masing – masing skenario dapat dirumuskan sebagai berikut:

$$PBn,k = [((Tw,p + To,w,n) \times Dn,o) / 7] - PBn,o \quad (4.12e)$$

Jumlah limbah kering yang dihasilkan di area pelabuhan setiap hari (PBc,k) pada masing – masing skenario dapat dirumuskan sebagai berikut:

$$PBc,k = (Tc / 7) - PBc,o \quad (4.12f)$$

Langkah ketiga adalah menentukan limbah campuran dan limbah berbahaya. Pada Tugas Akhir ini, dibuat 2 (dua) model untuk menentukan alur penanganan limbah di pelabuhan. Dalam model pertama, limbah dibagi menjadi tiga kategori, yaitu limbah kering (anorganik), limbah organik dan limbah berbahaya. Dalam model kedua, limbah hanya dibagi menjadi dua kategori yaitu limbah campuran dan limbah berbahaya. Jumlah limbah campuran yang dihasilkan setiap hari (PBi,k) pada masing – masing skenario dapat dirumuskan sebagai berikut:

$$PBi,c = PBi,o + PBi,k \quad (4.12g)$$

(i = p Penumpang, i = n Niaga, i = c Pelabuhan)

Limbah berbahaya hanya dihasilkan oleh kapal penumpang. Jumlah limbah berbahaya yang dihasilkan setiap hari di dermaga penumpang (PBp,h) pada masing-masing skenario adalah:

$$PBp,h = Th,w / 7 \quad (4.12h)$$

Tabel 4.24 Jumlah limbah organik, limbah kering, limbah campuran dan limbah berbahaya di Terminal Jamrud setiap hari

Lokasi	Skenario	Limbah kering	Limbah organik	Limbah campuran	Limbah berbahaya
Dermaga	Tinggi	6.801,56066	356,6371	7.158,19776	449.008
Penumpang	Sedang	5.892,082398	309,1717	6.201,25408	388.024
	Rendah	3.855,519461	202,0513	4.057,57072	254.996
Dermaga	Tinggi	19,73712	26,77488	46,512	-
Niaga	Sedang	19,80072	26,47128	46,272	-
	Rendah	10,25244	24,33156	34,584	-
Area	Tinggi	19.489,15569	19.661,42	39.150,57391	-
Pelabuhan	Sedang	16.906,4816	17.055,92	33.962,39775	-
	Rendah	11.118,81617	11.217,09	22.335,91034	-

4.6.2 Jumlah volume limbah per hari pada masing-masing lokasi (PV)

Dalam menentukan alur penanganan limbah di Terminal Jamrud, satuan yang digunakan adalah volume. Oleh karena itu, nilai pada Tabel 4.24 perlu dikonversikan menjadi satuan volume (m^3). Society of Naval Architects and Marine Engineers (1982) sudah menyebutkan nilai densitas masing-masing jenis limbahnya.

Nilai densitas untuk limbah kering adalah $0,01 m^3/kg$ (ρ_k), untuk limbah organik adalah $0,002 m^3/kg$ (ρ_o) dan untuk limbah campuran adalah $0,006 m^3/kg$ (ρ_c). Densitas limbah berbahaya diasumsikan sama dengan limbah campuran sehingga $\rho_h = 0,006 m^3/kg$.

Volume masing-masing jenis limbah dapat dilihat pada Tabel 4.25. Perhitungan masing-masing jenis limbah (PVi,j) pada masing-masing skenario dapat dirumuskan sebagai berikut:

$$PVi,j = PBi,j \times \rho_j \quad (4.13)$$

(i = p penumpang, i = n niaga, i = c pelabuhan; j = o organik, j = k kering, j = c campuran, j = h berbahaya)

4.6.3 Pengumpulan sampah di atas kapal

Pada Tugas Akhir ini, diasumsikan bahwa semua sampah di atas kapal dikumpulkan oleh ABK di dalam kantong plastik untuk sampah. Dalam hal ini, penulis juga menyarankan Terminal Jamrud mewajibkan semua kapal yang bersandar untuk menaruh sampahnya di dalam kantong plastik.

Pada penelitian ini, ukuran dan volume yang digunakan sebagai simulasi adalah kantong plastik dengan ukuran dan volume sebagai berikut:

- Kapal penumpang: limbah campuran, limbah kering dan limbah berbahayanya menggunakan kantong plastik ukuran lebar x tinggi sebesar 83,9 cm x 101,6 cm dengan volume 0,121 m³ (Kp,c, Kp,k Kp,h)
- Kapal penumpang: limbah organiknya menggunakan kantong plastik ukuran lebar x tinggi sebesar 61 cm x 61 cm dengan volume 0,0303 m³ (Kp,o)
- Kapal niaga: untuk semua jenis limbahnya menggunakan kantong plastik ukuran lebar x tinggi sebesar 61 cm x 61 cm dengan volume 0,0303 m³ (Kn)

Tabel 4.25 Volume limbah organik, limbah kering, limbah campuran dan limbah berbahaya di Terminal Jamrud setiap hari

Lokasi	Skenario	Limbah kering	Limbah organik	Limbah campuran	Limbah berbahaya
Dermaga penumpang	Tinggi	68,02	0,71	42,95	2,69
	Sedang	58,92	0,62	37,21	2,33
	Rendah	38,56	0,40	24,35	1,53
Dermaga Niaga	Tinggi	0,20	0,05	0,28	-
	Sedang	0,20	0,05	0,28	-
	Rendah	0,10	0,05	0,21	-
Area pelabuhan	Tinggi	194,89	39,32	234,90	-
	Sedang	169,06	34,11	203,77	-
	Rendah	111,19	22,43	134,02	-

Setelah diketahui jumlah volume plastik sampah yang akan digunakan, disimulasikan juga berat per satuan kantong plastik sampah tersebut sehingga setiap kantong dapat diangkat oleh satu atau dua

ABK. Berdasarkan nilai densitas masing-masing jenis limbah, didapat berat masing-masing plastik sampah sebagai berikut (Society of Naval Architects and Marine Engineers, 1982):

- Kantong plastik limbah campuran dan limbah berbahaya ukuran 83,9 cm x 101,6 cm memiliki berat sebesar 21,08 kg
- Kantong plastik limbah kering ukuran 83,9 cm x 101,6 cm memiliki berat sebesar 12,1 kg
- Kantong plastik limbah organik ukuran 61 cm x 61 cm memiliki berat sebesar 19,4 kg
- Kantong plastik limbah campuran dan limbah berbahaya ukuran 61 cm x 61 cm memiliki berat sebesar 5,28 kg
- Kantong plastik limbah kering ukuran 61 cm x 61 cm memiliki berat sebesar 3,03 kg.

Berdasarkan volume masing-masing ukuran kantong plastik di atas, akan disimulasikan jumlah kantong plastik yang dihasilkan oleh dermaga penumpang (dermaga penumpang utara dan selatan) dan dermaga niaga (dermaga niaga internasional dan domestik). Jumlah ini tidak merepresentasikan jumlah kantong plastik yang dihasilkan setiap kapal. Perhitungan jumlah kantong plastik yang dihasilkan dapat dirumuskan sebagai berikut:

$$PK_{i,j} = PV_{i,j} / *K_{i,j} \quad (4.14)$$

(i = p penumpang, i = n niaga; j = o organik, j = k kering, j = c campuran, j = h berbahaya)

*volume kantong plastik pada kapal niaga untuk semua jenis limbah disamakan

Tabel 4.26 Jumlah kantong sampah yang dihasilkan dermaga penumpang dan dermaga niaga

Jenis dermaga	Skenario	Limbah kering	Limbah organik	Limbah campuran	Limbah berbahaya	Model 1	Model 2
Dermaga Penumpang	Tinggi	561	24	355	22	200	125
	Sedang	486	20	307	19	174	108
	Rendah	318	13	201	13	115	71
Dermaga Niaga	Tinggi	7	2	9		8	6
	Sedang	7	2	9		8	6
	Rendah	3	2	7		8	6

4.6.4 Pengumpulan sampah dari kapal

Pengumpulan sampah di Terminal Jamrud dibedakan berdasarkan jenis dermaganya. Dermaga penumpang dan dermaga niaga memiliki cara yang sedikit yang berbeda dalam mengumpulkan sampahnya.

Untuk Tugas Akhir ini, penulis melakukan survei di dermaga niaga domestik dan mewawancarai langsung para petugas di sana sehingga diketahui cara pengumpulan sampahnya. Setiap ABK menaruh sampah di atas dermaga. Sampah kemudian diambil dua kali sehari oleh petugas sampah dengan gerobak. Pada dermaga niaga internasional, penulis belum sempat melakukan survei dikarenakan pandemi Covid-19. Tetapi diasumsikan bahwa pengumpulan di dermaga internasional sama dengan di dermaga domestik.

Pengumpulan sampah di dermaga penumpang dilakukan dengan cara mengumpulkan sampah di dek bawah. Ketika kapal bersandar, truk sampah masuk untuk mengambil sampah yang sudah dikumpulkan oleh ABK. Pada kapal penumpang atau pesiar, sampah juga ditaruh di lokasi tempat sampah di dek bawah. Saat kapal bersandar, sampah akan dibawa oleh ABK ke bawah menggunakan alat seperti troli. Kemudian, sampah diangkut ke atas truk di dermaga. Informasi ini didapat oleh melalui wawancara langsung dengan ABK kapal pesiar Independence of the Seas milik Royal Caribbean International.

Berdasarkan informasi di atas, disimulasikan berapa perjalanan (*trip*) truk dan gerobak sampah yang dibutuhkan per hari untuk melakukan pengumpulan semua sampah yang dihasilkan di Terminal Jamrud. Perhitungan simulasi ini hanya dilakukan pada skenario sedang. Ada tiga ukuran truk yang digunakan untuk melakukan pengumpulan sampah di area Surabaya Barat (Ambariski, 2016). Truk- truk tersebut memiliki kapasitas 6 m^3 , 8 m^3 dan 14 m^3 dengan tipe bak, yaitu bak terbuka dan bak tertutup. Kapasitas truk dan tipe bak yang digunakan dalam simulasi ini adalah truk dengan kapasitas 8 m^3 dengan tipe bak terbuka (Ctruk).

Pengambilan sampah di dermaga niaga dilakukan dengan menggunakan gerobak sampah. Kapasitas gerobak sampah yang digunakan dalam Tugas Akhir ini adalah gerobak sampah yang umum di pasaran. Kapasitas gerobak sampah yang digunakan adalah gerobak sampah dengan kapasitas $1,28 \text{ m}^3$ (Cgerobak).

Limbah yang akan diangkut berada di dalam kantong plastik yang berbentuk sedikit menyerupai tabung atau bulat sehingga tidak memenuhi bak truk dan gerobak. Dalam Tugas Akhir ini, diasumsikan bahwa efisiensi ruang kantong plastik sampah adalah 78,5%.

Pada model 1, limbah dibagi menjadi limbah kering, limbah organik dan limbah berbahaya. Pada model 2, limbah dibagi menjadi limbah campuran dan limbah berbahaya.

Jumlah *trip* yang dibutuhkan oleh truk sampah untuk mengambil semua sampah yang dihasilkan di dermaga penumpang (PTp) pada masing-masing model dapat dirumuskan sebagai berikut:

$$PTp,j = PVp,j / (C_{truk} \times 78,5\%) \quad (4.15a)$$

(j = o organik, j = k kering, j = c campuran, j = h berbahaya)

Jumlah *trip* yang dibutuhkan gerobak sampah untuk mengambil semua sampah yang dihasilkan di dermaga niaga (PTn) pada masing-masing model dapat dirumuskan sebagai berikut:

$$PTn,j = PVn,j / (C_{gerobak} \times 78,5\%) \quad (4.15b)$$

(j = o organik, j = k kering, j = c campuran, j = h berbahaya)

Semua limbah yang disebut di atas memiliki densitas yang berbeda-beda. Limbah kering memiliki densitas paling kecil, sementara limbah organik memiliki densitas paling besar. Semakin besar densitas limbahnya, semakin berat limbahnya. Karena itu, diperlukan data berat sampah untuk memastikan truk maupun gerobak tersebut dapat mengangkut sejumlah kantong plastik yang terhitung. Ambariski (2016) sudah menjelaskan rata-rata berat yang dapat dibawa oleh truk sampah bak terbuka dan bak tertutup.

Truk dengan kapasitas 8 m³ tipe bak terbuka memiliki densitas sampah sebesar 409,33 kg/m³. Untuk gerobak sampah, diambil nilai rata-ratanya sebesar 389,58 kg/m³. Berdasarkan nilai ini, didapatkan bahwa berat maksimal untuk truk adalah 3.275 kg dan berat maksimal untuk gerobak adalah 499 kg.

Berat limbah per *trip* dapat dihitung dengan mengalikan volume limbah dengan densitas limbah, lalu dibagi dengan jumlah *trip* yang ada. Densitas untuk limbah campuran sebesar 174,2 kg/m³, limbah kering 100 kg/m³ dan limbah organik sebesar 640 kg/m³ (Society of Naval Architects and Marine Engineers, 1982). Limbah berbahaya diasumsikan sama dengan limbah campuran. Perhitungan berat limbah per *trip* dapat dirumuskan sebagai berikut:

$$PTW_{i,j} = (PVi,j \times \text{densitas } j) / PTi,j \quad (4.15c)$$

(i = p penumpang, i = n niaga; j = o organik, j = k kering, j = c campuran, j = h berbahaya)

Hasil yang didapat pada Tabel 4.27 menunjukkan bahwa pada dermaga penumpang, jumlah *trip* yang dibutuhkan untuk mengangkut semua limbah per hari pada model 1 adalah 11 *trip*, yaitu 10 *trip* untuk limbah kering dan limbah organik (kedua limbah ini dapat digabung, tetapi tetap dalam kantong plastik yang berbeda) dan 1 *trip* untuk limbah berbahaya. Pada model 2, hanya dibutuhkan 7 *trip*, yaitu 6 *trip* limbah campuran dan 1 *trip* limbah berbahaya. Pada dermaga niaga, jumlah *trip* yang dibutuhkan untuk kedua model hanya 1 *trip*.

Tabel 4.27 Simulasi jumlah *trip* dan berat per *trip*

Jenis limbah	Dermaga penumpang				Dermaga niaga			
	Jumlah <i>trip</i>		Berat per truk		Jumlah <i>trip</i>		Berat per truk	
	Md. 1 (<i>trip</i>)	Md. 2 (<i>trip</i>)	Md. 1 (kg/ <i>trip</i>)	Md. 2 (kg/ <i>trip</i>)	Md. 1 (<i>trip</i>)	Md. 2 (<i>trip</i>)	Md. 1 (kg/ <i>trip</i>)	Md. 2 (kg/ <i>trip</i>)
Kering	9,38	-	589,21	-	0,20	-	19,80	-
Organik	0,10	-	39,57	-	0,05	-	33,88	-
Berbahaya	0,37	0,37	405,56	405,56	-	-	-	-
Campuran	-	5,92	-	1.080,26	-	0,28	-	48,36
Jumlah <i>trip</i>	10+1	6+1	-	-	1	1	-	-

4.6.5 Jumlah bak sampah

Jumlah bak sampah yang berada di Terminal Jamrud sebisa mungkin disesuaikan dengan jumlah limbah padat yang dihasilkan. Pada Tugas Akhir ini, bak sampah yang digunakan adalah bak sampah yang umum berada di pasaran, yaitu bak sampah dengan ukuran 3 m³, 8 m³ dan 14 m³.

Area bak sampah dibagi menjadi dua, yaitu area bak sampah khusus untuk limbah dari kapal dan area bak sampah khusus untuk limbah dari area pelabuhan itu sendiri (terminal, warung, tempat menunggu sopir truk, kantor, dll.)

Limbah yang akan diangkut berada dalam kantong plastik yang berbentuk sedikit menyerupai tabung atau bulat sehingga tidak memenuhi bak sampah. Diasumsikan bahwa efisiensi ruang kantong plastik sampah sebesar 78,5%.

4.6.5.1 Jumlah bak sampah limbah dermaga

Jumlah bak sampah dapat dihitung dengan membagi volume limbah yang dihasilkan dengan volume bak sampah yang ada. Volume bak sampah yang digunakan di dermaga penumpang sebesar 8 m³. Perhitungan jumlah bak sampah yang dihasilkan di area dermaga penumpang (PBSp) dapat dirumuskan sebagai berikut:

$$PBSp,i = PVp,i / (8 \times 78,5\%) \quad (4.16a)$$

(i = o organik, i = k kering, i = c campuran, i= h berbahaya)

Sementara itu, untuk dermaga niaga, digunakan volume bak sampah sebesar 3 m³ sehingga perhitungan jumlah bak sampah yang dihasilkan di area dermaga niaga (PBSn) dapat dirumuskan sebagai berikut:

$$PBSn,i = PVn,i / (3 \times 78,5\%) \quad (4.16b)$$

(i = o organik, i = k kering, i = c campuran, i= h berbahaya)

Hasil yang didapat pada Tabel 4.28 menunjukkan bahwa di dermaga penumpang, jumlah bak sampah yang dibutuhkan untuk menampung semua limbah per hari pada model 1 adalah 11 bak, yaitu 10 bak untuk limbah kering dan limbah organik (kedua limbah ini dapat digabung, tetapi dalam kantong plastik yang berbeda) dan 1 bak untuk limbah berbahaya. Pada model 2, hanya dibutuhkan 7 bak, yaitu 6 bak limbah campuran dan 1 bak limbah berbahaya. Pada dermaga niaga, jumlah bak yang dibutuhkan untuk kedua model hanya 1 bak.

Tabel 4.28 Simulasi jumlah bak sampah dan berat per bak area dermaga penumpang dan niaga

Jenis limbah	Dermaga penumpang				Dermaga niaga			
	Jumlah bak		Berat per bak		Jumlah bak		Berat per bak	
	Md. 1 (unit)	Md. 2 (unit)	Md. 1 (kg)	Md. 2 (kg)	Md. 1 (unit)	Md. 2 (unit)	Md. 1 (kg)	Md. 2 (kg)
Kering	9,38	-	589,21	-	0,08	-	19,80	-
Organik	0,10	-	395,74	-	0,02	-	3.388	-
Berbahaya	0,37	0,37	405,56	405,56	-	-	-	-
Campuran	-	5,92	-	1.080,26	-	0,12	-	48,36
Jumlah bak	10+1	6+1			1	1		

Berat limbah setiap bak sampah dapat dihitung dengan mengalikan volume limbah dengan densitas limbah, lalu dibagi dengan jumlah *trip* yang ada. Densitas untuk limbah campuran adalah 174,2 kg/m³, limbah kering 100 kg/m³ dan limbah organik sebesar 640 kg/m³. (Society of Naval Architects and Marine Engineers). Limbah berbahaya diasumsikan sama dengan limbah campuran. Perhitungan berat limbah per bak sampah dapat dirumuskan sebagai berikut:

$$PBSWi,j = (PVi,j \times \text{densitas } j) / PBSi,j \quad (4.16c)$$

(i = p penumpang, i = n niaga; j = o organik, j = k kering, j = c campuran, j = h berbahaya)

4.6.5.2 Jumlah bak sampah limbah pelabuhan

Jumlah bak sampah dapat dihitung dengan membagi volume limbah yang dihasilkan dengan volume bak sampah yang ada. Volume bak sampah yang digunakan di dermaga penumpang sebesar 14 m³. Perhitungan jumlah bak sampah yang dihasilkan di area dermaga penumpang (PBS*c*) dapat dirumuskan sebagai berikut:

$$PBS*c*,i = PV*c*,i / (14 \times 78,5\%) \quad (4.17a)$$

(i = o organik, i = k kering, i = c campuran, i = h berbahaya)

Berat limbah setiap bak sampah dapat dihitung dengan mengalikan volume limbah dengan densitas limbah, lalu dibagi dengan jumlah *trip* yang ada. Densitas untuk limbah campuran adalah 174,2 kg/m³, limbah kering 100 kg/m³ dan limbah organik 640 kg/m³. (Society of Naval Architects and Marine Engineers). Perhitungan berat limbah per bak sampah dapat dirumuskan sebagai berikut:

$$PBSW*c*,j = (PV*c*,j \times \text{densitas } j) / PBS*c*,j \quad (4.17b)$$

(j = o organik, j = k kering, j = c campuran, j = h berbahaya)

Hasil yang didapat pada Tabel 4.29 menunjukkan bahwa di dermaga penumpang, jumlah bak sampah yang dibutuhkan untuk menampung semua limbah per hari pada model 1 adalah 11 bak. Kesebelas bak itu terdiri dari 10 bak untuk limbah kering dan limbah organik (kedua limbah ini dapat digabung, tetapi dalam kantong plastik yang berbeda) dan 1 bak untuk limbah berbahaya. Pada model 2, hanya dibutuhkan 7 bak, yaitu 6 bak limbah campuran dan 1 bak limbah

berbahaya. Pada dermaga niaga, jumlah bak yang dibutuhkan untuk kedua model hanya 1 bak.

Tabel 4.29 Simulasi jumlah bak sampah dan berat per bak area pelabuhan

Jenis limbah	Jumlah bak		Berat per bak	
	Md. 1 (unit)	Md. 2 (unit)	Md. 1 (kg)	Md. 2 (kg)
Kering	15,38	-	889,81	-
Organik	3,10	-	1.149,03	-
Berbahaya	-	-	-	-
Campuran	-	18,54	-	1.868,29
Jumlah Bak	19	19		

4.6.6 Perbedaan model 1 dan model 2

Penentuan model ini didasarkan pada masih kurangnya kesadaran masyarakat atau bahkan ABK untuk memisahkan limbah organik dan limbah anorganik. Perbandingan model yang digunakan hanya perbandingan model alur sampah dari area dermaga kapal, bukan dari area pelabuhan (Lihat Grafik 4.3)

Pada model satu diasumsikan bahwa ABK sudah memisahkan limbah organik dan anorganik sehingga limbah dibagi menjadi limbah kering, limbah organik dan limbah berbahaya. Pada model dua diasumsikan bahwa ABK belum memisahkan limbah organik dan limbah anorganik sehingga limbah hanya dibagi menjadi limbah campuran dan limbah berbahaya.

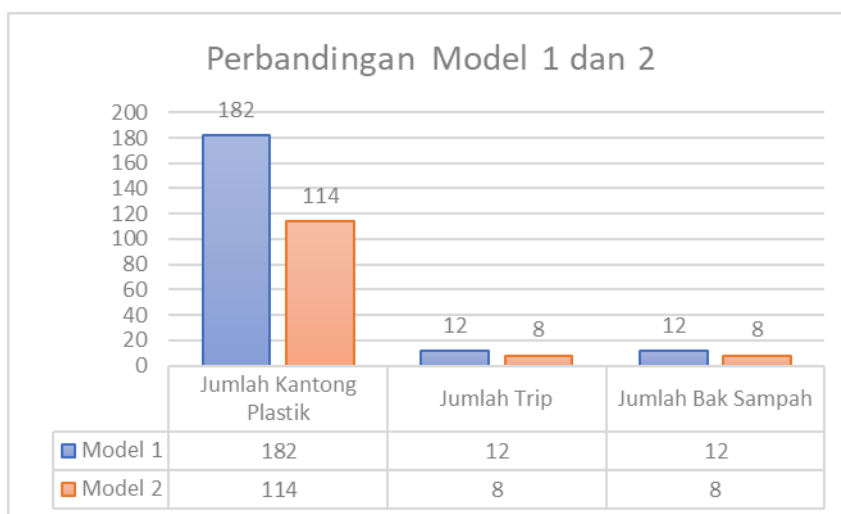
Pada skenario sedang, jumlah limbah plastik yang dihasilkan setiap hari pada model satu adalah 182 kantong plastik, sementara pada model dua 114 kantong plastik. Berdasarkan jumlah *trip* untuk mengambil sampah setiap hari, pada model satu dibutuhkan 12 *trip* per hari dan pada model dua dibutuhkan 8 *trip* per hari. Berdasarkan jumlah bak sampah yang dibutuhkan, model satu membutuhkan 12 bak sampah, sementara model dua 8 bak sampah.

4.6.7 Anggaran truk sampah

Volume produksi sampah per hari di Kota Surabaya adalah 9.475,21 m³ (2015), 9.710,61 m³ (2016) dan 9.896,78 m³ (2017). Anggaran untuk biaya angkutnya adalah Rp41.397.202.610. (RKPD Kota Surabaya, 2019)

Berdasarkan data diatas, didapatkan bahwa jumlah sampah yang dihasilkan pada tahun 2019 adalah 10.327 m³ per hari dan anggaran biayanya sebesar 113.416.993,5 per hari. Dari situ, dapat dihitung bahwa biaya angkut sampah adalah Rp10.982/m³.

Berdasarkan biaya angkut tersebut, setelah dihitung, biaya angkut sampah untuk truk dengan kapasitas 8 m³ adalah Rp87.860 per *trip* untuk satu truk. Biaya untuk truk dengan kapasitas 14 m³ adalah Rp153.755 per *trip* untuk satu truk sampah.



Grafik 4.3 Perbedaan model 1 dan 2

Bila menggunakan model 1, jumlah *trip* yang dibutuhkan adalah 12 *trip* untuk satu truk sampah dengan kapasitas 8 m³ dan 19 *trip* untuk satu truk sampah dengan kapasitas 14 m³. Pada model 2, jumlah *trip* yang dibutuhkan adalah 8 *trip* satu truk sampah dengan kapasitas 8 m³ dan 19 *trip* satu truk sampah dengan kapasitas 14 m³. Tabel 4.30 menunjukkan biaya yang dibutuhkan untuk mengangkut semua limbah padat baik dari area pelabuhan dan dermaga.

Tabel 4.30 Biaya truk sampah

Asal limbah	Model 1	Model 2
Limbah dari kapal	1.054.320	702.880
Limbah dari pelabuhan	2.921.345	2.921.345
Total	3.975.665	3.624.225

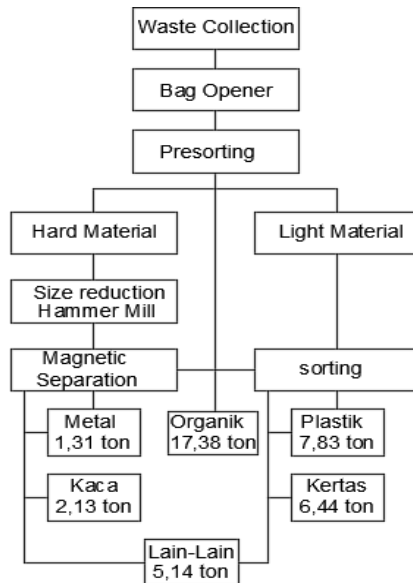
4.7 Perencanaan fasilitas pemilahan limbah padat

Di bawah ini, dipaparkan alur dari pembangunan fasilitas pengolahan limbah padat, yang mencakup fasilitas pemilahan limbah padat, berikut peralatan dan sarana yang harus disediakan dan simulasinya (Lihat Gambar 4.5).

4.7.1 Alur limbah padat

Alur dari perencanaan fasilitas pengolahan limbah padat yang akan diaplikasikan di Terminal Jamrud adalah:

1. Sampah dikumpulkan pada satu tempat khusus pengumpulan sampah, kemudian dilakukan prapenyortiran (*pre-sorting* atau *pre-screening*) untuk memilah sampah yang berpotensi merusak mesin.
2. Sampah dimasukkan ke mesin pembuka kantung (*bag opener*) yang berfungsi membuka kantung plastik untuk mengeluarkan sampah. Sampah di kapal umumnya disimpan di kantung plastik besar sebelum dibawa ke darat.
3. Proses prapenyortiran dilakukan terhadap sampah yang sudah terpisah dari plastiknya. Proses ini bertujuan memisahkan sampah yang keras/*hard material* (besi-besian, kaca, beton, kayu dan limbah elektronik) dan sampah yang mudah dihancurkan/*soft material* (kaleng, plastik, kertas, tekstil dan sampah organik).
4. Limbah yang keras dimasukkan ke dalam mesin pereduksi ukuran (*hammer mill*) untuk menghancurkan limbah padat dan mengecilkan ukurannya. Kemudian, limbah disaring lagi menggunakan sarung bijih putar (*trommel*) untuk menyingkirkan limbah-limbah material organik. Hasil keluaran (*output*) dari material keras ini akan berupa puing-puing kecil, kaca, kayu dan besi-besian.
5. Untuk limbah lunak, dilakukan proses pemilahan densitas untuk memisahkan sampah yang memiliki densitas ringan seperti plastik, kertas dan kain dan sampah dengan densitas besar seperti sampah organik.
6. Setelah melalui pemilahan densitas, dilakukan penyortiran terakhir pada limbah padat dengan mengelompokkan masing-masing limbah sesuai jenisnya.



Gambar 4.5 Alur proses penanganan limbah padat

Gambar 4.5 menunjukkan alur pemilahan limbah padat. Limbah padat yang akan dimasukkan ke dalam fasilitas pengolahan diasumsikan sudah dikemas semua dalam kantong plastik besar dan masih berupa limbah yang bercampur. Namun, prediksi mengenai berapa banyak jumlah masing-masing jenis limbah padat sudah diketahui (Lihat Tabel 4.31).

Tabel 4.31 Total jumlah limbah padat di Terminal Jamrud per hari berdasarkan jenis limbah

Jenis limbah	Total (kg/hari)
Plastik	7.827,827
Kertas	6.444,23
Organik	17.380,36
Kaca	2.127,708
Logam	1.311,63
Lain2	5.140,914
Total	40.232,67

Dari Gambar 4.5 terlihat bahwa awalnya, limbah dimasukkan ke mesin pembuka kantong, kemudian berlanjut ke fase *presorting*. *Presorting* ini bertujuan untuk memilah limbah padat yang keras dan tidak keras. Limbah padat keras yang dimaksud adalah limbah logam,

kaca atau kayu. Limbah padat tidak keras (*soft material*) yang dimaksud adalah limbah plastik, kertas, organik atau tekstil.

Limbah *hard material* dimasukkan ke mesin penghancur (*hammer mill, shredder, dll*) untuk direduksi ukurannya. Pereduksian ukuran ini diharapkan hanya akan mereduksi ukuran limbah kaca sehingga menjadi kepingan-kepingan kaca yang kecil dan halus. Setelah masuk ke mesin pereduksi, limbah kaca yang sudah berkeping-keping dan limbah logam masuk ke dalam mesin pemisah ukuran. Di dalam mesin ini, diharapkan material kaca dan logam akan terpisah.

Limbah *soft material* mulanya masuk ke *density/air separator*. Di sini, diharapkan material-material organik akan terpisah dari material plastik dan kertas. Setelah dari separator, limbah campuran plastik dan kertas akan masuk ke fase *sorting* lagi sehingga dapat dipisahkan lebih detail sesuai jenisnya.

4.7.2 Simulasi fasilitas pemilahan limbah padat

Pada simulasi fasilitas pemilahan limbah padat ini, dilakukan dua pemodelan. Pada model 1, diasumsikan bahwa ABK sudah memilah limbah padat menjadi dua, yaitu limbah organik dan anorganik, sehingga limbah organik tidak akan masuk ke dalam fasilitas pengolahan. Pada model 2, diasumsikan bahwa ABK tidak memilah limbah organik dan anorganik sehingga semua limbah akan masuk ke dalam fasilitas pemilahan.

4.7.2.1 Pembuka kantung (*bag opener*)

Pembuka kantung yang digunakan adalah BRT Hartner dengan kapasitas 10 – ton per jam. Jumlah limbah padat yang akan dipilah selama sehari adalah 22,85 ton untuk model 1 dan 40,23 ton untuk model 2. Berdasarkan hal ini, mesin direncanakan akan beroperasi selama ~2 jam per hari untuk model 1 dan ~4 jam untuk model 2.

4.7.2.2 Prapemilahan (*presorting*)

Setelah kantung-kantung dibuka, dilakukan proses prapemilahan terhadap limbah padat yang dikumpulkan dengan cara manual. Di bawah ini, disajikan proses prapemilahan dalam model 1 dan model 2.

Model 1

Prapemilahan dilakukan dengan penyortiran manual dengan pekerja bekerja selama 16 jam (2x *shift* pekerja, 1 *shift* selama 8 jam). Maka, *feed rate* konveyor adalah 1,428 ton/jam.

Diketahui:

- *Feed rate* konveyor adalah 1,428 ton/jam
- Berat limbah padat per meter persegi diasumsikan 0,015 ton/m², lebar konveyor 1 m
- Kapasitas penyortiran pekerja 0,25 ton/8 jam ~ 0,03125 ton per jam. (Kutz, 2018)
- Panjang Lo dan Lu adalah 1,5 m, jarak antarpekerja adalah 1 m
- Material yang disortir adalah material keras (*hard material*), dengan jumlah 26,3% dari keseluruhan limbah padat.

$$\begin{aligned} Q &= F \times f \\ &= 1,428 \text{ ton/jam} \times 26,4\% \\ &= 0,376 \text{ ton/jam} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} N &= Q / S \\ &= 0,376 \text{ ton/jam} / 0,03125 \text{ ton/jam/orang} \\ &= 12 \text{ orang} \end{aligned}$$

Konveyor yang direncanakan dipasang berjumlah dua konveyor dengan kapasitas satu konveyor sebanyak 6 pekerja. Panjang konveyor yang dibutuhkan adalah:

$$(6/1 \text{ m}) + 1,5 \text{ m} + 1,5 \text{ m} = 9 \text{ meter}$$

Kecepatan konveyor adalah:

$$\begin{aligned} V &= F / (W \times 60) \\ &= 1,428 / (0,015 \times 60) \\ &= 1,59 \text{ meter/menit} \end{aligned}$$

Model 2

Prapemilahan dilakukan dengan penyortiran manual dengan pekerja bekerja selama 16 jam (2x *shift* pekerja, 1 *shift* selama 8 jam). Maka *feed rate* konveyor adalah 2,515 ton/jam.

Diketahui:

- *Feed rate* konveyor adalah 2,515 ton/jam

- Berat limbah padat per meter persegi diasumsikan 0,015 ton/m², lebar konveyor 1 m
- Kapasitas penyortiran pekerja 0,25 ton/8 jam ~ 0,03125 ton per jam. (Kutz, 2018)
- Panjang Lo dan Lu adalah 1,5 m, jarak antarpekerja adalah 1 m
- Material yang disortir adalah material keras (*hard material*) dengan jumlah 21% dari keseluruhan limbah padat.

$$\begin{aligned}
 Q &= F \times f \\
 &= 2,515 \text{ ton/jam} \times 36,54\% \\
 &= 0,919 \text{ ton/jam} \\
 N &= Q / S \\
 &= 0,919 \text{ ton/jam} / 0,03125 \text{ ton/jam/orang} \\
 &= 30 \text{ orang}
 \end{aligned}$$

Konveyor yang akan dipasang direncanakan berjumlah dua konveyor dengan kapasitas satu konveyor sebanyak 15 pekerja. Panjang konveyor yang dibutuhkan adalah:

$$(15/1 \text{ m}) + 1,5 \text{ m} + 1,5 \text{ m} = 18 \text{ meter}$$

Kecepatan konveyor adalah:

$$\begin{aligned}
 V &= F / (W \times 60) \\
 &= 2,515 / (0,015 \times 60) \\
 &= 2,8 \text{ meter/menit}
 \end{aligned}$$

4.7.2.3 Kapasitas *hammer mill*

- Model 1
Kapasitas *hammer mill* yang dibutuhkan akan menyesuaikan dengan kapasitas masukan limbah padat jenis *hard material* yang disortir, yaitu minimal 376 kg/jam. *Hammer mill* yang cocok adalah *hammer mill* tipe HM-7 1/2 dengan daya 10 kW.
- Model 2
Kapasitas *hammer mill* yang dibutuhkan menyesuaikan dengan kapasitas masukan limbah padat jenis *hard material* yang disortir, yaitu minimal 919 kg/jam. *Hammer mill* yang cocok adalah *hammer mill* tipe HM-20 dengan daya 20 kW.

4.7.2.4 Penyortiran (*Sorting*)

Model 1

Jumlah limbah yang disortir adalah 16,84 ton. Penyortiran dilakukan dengan penyortiran manual dengan pekerja yang bekerja selama 16 jam (2x *shift* pekerja, 1 *shift* selama 8 jam). Maka *feed rate* konveyor adalah 1,0525 ton/jam.

Diketahui:

- *Feed rate* konveyor adalah 1,0525 ton/jam
- Berat limbah padat per meter persegi diasumsikan 0,01 ton/m², lebar konveyor 1 m
- Kapasitas penyortiran pekerja 0,25 ton/8 jam ~ 0,03125 ton per jam. (Kutz, 2018)
- Panjang Lo dan Lu adalah 1,5 m, jarak antarpekerja adalah 1 m
- Material yang disortir adalah plastic yang berjumlah 46% dari keseluruhan limbah padat.

$$\begin{aligned} Q &= F \times f \\ &= 1,0525 \text{ ton/jam} \times 46\% \\ &= 0,484 \text{ ton/jam} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} N &= Q / S \\ &= 0,75 \text{ ton/jam} / 0,03125 \text{ ton/jam/orang} \\ &= 16 \text{ orang} \end{aligned}$$

Konveyor yang dipasang direncanakan berjumlah dua konveyor dengan jumlah pekerja sebanyak 8 orang per konveyor. Panjang konveyor yang dibutuhkan adalah:

$$(8/1 \text{ m}) + 1,5 \text{ m} + 1,5 \text{ m} = 11 \text{ meter}$$

Kecepatan konveyor adalah:

$$\begin{aligned} V &= F / (W \times 60) \\ &= 1,0525 / (0,01 \times 60) \\ &= 1,75 \text{ meter/menit} \end{aligned}$$

Model 2

Jumlah limbah yang disortir adalah 25,53 ton. Penyortiran dilakukan dengan penyortiran manual dengan pekerja yang bekerja

selama 16 jam (2x *shift* pekerja, 1 *shift* selama 8 jam). Maka *feed rate* konveyor adalah 1,6 ton/jam.

Diketahui:

- *Feed rate* konveyor adalah 1,6 ton/jam
- Berat limbah padat per meter persegi diasumsikan 0,01 ton/m², lebar konveyor 1 m
- Kapasitas penyortiran pekerja 0,25 ton/8 jam ~ 0,03125 ton per jam. (Kutz, 2018)
- Panjang Lo dan Lu adalah 1,5 m, jarak antarpekerja adalah 1 m
- Material yang akan disortir adalah plastic yang berjumlah 30,6% dari keseluruhan limbah padat.

$$\begin{aligned} Q &= F \times f \\ &= 1,6 \text{ ton/jam} \times 30,6\% \\ &= 0,488 \text{ ton/jam} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} N &= Q / S \\ &= 0,488 \text{ ton/jam} / 0,03125 \text{ ton/jam/orang} \\ &= 16 \text{ orang} \end{aligned}$$

Konveyor yang dipasang direncanakan berjumlah dua konveyor dengan jumlah pekerja sebanyak 8 orang per konveyor. Panjang konveyor yang dibutuhkan adalah:

$$(8/1 \text{ m}) + 1,5 \text{ m} + 1,5 \text{ m} = 11 \text{ meter}$$

Kecepatan konveyor adalah:

$$\begin{aligned} V &= F / (W \times 60) \\ &= 1,6 / (0,01 \times 60) \\ &= 2,7 \text{ meter/menit} \end{aligned}$$

4.7.3 Desain fasilitas pemilahan limbah padat

Berdasarkan nilai-nilai yang didapatkan di atas, dibuat desain kasar untuk fasilitas pemilahan limbah padat di Terminal Jamrud. Desain ini menggunakan ukuran dari masing-masing peralatan, yaitu:

- *Bag Opener*: panjang x lebar = 14,4 m x 2 m
- *Magnetic Separator*: panjang x lebar = 1,27 x 0,6 m
- *Hammer Mill*: panjang x lebar = 1,3 m x 0,75 m
- Konveyor: menyesuaikan kebutuhan.

Desain yang didapat: ukuran total tempat fasilitas pemilahan limbah padat yang memiliki panjang 40 meter dan lebar 28 meter. Fasilitas memiliki tempat pengumpulan limbah yang belum dipilah dengan kapasitas 225 m³, kapasitas penyimpanan limbah plastik dan kertas sebesar 48 m³ dan kapasitas penyimpanan limbah logam dan kaca sebesar 4 m³.

Berdasarkan penelitian, penulis menyarankan agar mengambil pilihan lokasi yang cocok untuk perencanaan lokasi fasilitas pemilahan limbah, yaitu yang berada di area zonasi dermaga penumpang utara. Area tersebut merupakan area parkir dermaga Terminal Jamrud. Pertimbangan pemilihan lokasi tersebut antara lain:

1. Berada di lokasi yang cukup strategis jaraknya dari semua dermaga (dermaga niaga dan penumpang)
2. Memiliki akses keluar masuk yang mudah untuk truk sampah
3. Area tersebut tidak menghalangi jalur truk yang ingin masuk ke kapal.

Catatan: Saran ini murni berdasarkan desain kasar dari ide penulis setelah melakukan riset lapangan dan mengumpulkan sejumlah data. Di masa depan, apabila ingin membangun fasilitas pemilahan, hal ini harus dibicarakan dengan pihak-pihak terkait Terminal Jamrud karena Rencana Induk Pelabuhan Tanjung Perak ditentukan oleh pemerintah, dalam hal ini otoritas pelabuhan. Pada praktiknya pula, rencana induk tersebut kerap berubah sehingga pembangunan fasilitas pemilahan perlu menyesuaikan dengan revisi rencana induk terakhir.



Gambar 4.6 Perencanaan Lokasi Fasilitas Pemilahan

4.7.4 Perbandingan model 1 dan model 2

Pada model 1, diasumsikan bahwa ABK sudah memilah limbah organik dan anorganik sehingga limbah organik tidak diperhitungkan dalam fasilitas pemilahan. Pada model 2, limbah organik diperhitungkan dalam fasilitas pemilahan.

Perhitungan listrik per bulan didapat dengan satuan (kWh) yang diperoleh berdasarkan data konsumsi listrik masing-masing peralatan, jumlah alat dan waktu operasi per hari. Perhitungan ini dapat dirumuskan sebagai berikut:

$$\text{kWh} = 30 \times A \times B \times C, \text{ dimana:}$$

30 = jumlah hari per bulan
A = daya masing-masing peralatan
B = jumlah peralatan yang digunakan
C = waktu operasi per hari

Pada Tugas Akhir ini, perhitungan biaya didapat dengan menjumlahkan gaji semua pekerja (gaji semua pekerja disamaratakan Rp4 juta/bulan) dengan biaya tagihan listrik. Biaya tagihan listriknya adalah Rp996,75/kWh. Pada Tabel 4.32 terlihat bahwa biaya operasi fasilitas pemilahan limbah padat pada model 1 adalah Rp9,358 juta dan pada model 2 adalah Rp14,383 juta.

Tabel 4.32 Perbandingan pemilahan model 1 dan model 2

	Listrik per bulan		Pekerja		Perkiraan biaya per hari	
	Md. 1 (kWh)	Md. 2 (kWh)	Md. 1 (orang)	Md. 2 (orang)	Model 1 (Rp)	Model 2 (Rp)
<i>Bag opener</i>	1.980	3.960	8	8	1.132.451,5	1.198.236,3
<i>Konveyor</i>	1.632	1.632	56	92	7.520.889,3	12.320.889,3
<i>Hammer mill</i>	4.800	9.600	2	2	426.145,1	585.623,5
<i>Magnetic separator</i>	360	360	2	2	278.627,5	278.627,6
				Total	9.358.113,4	14.383.376,7

4.8 Perencanaan fasilitas pengolahan limbah padat

Dengan semakin tingginya trafik kapal, fasilitas pengelolaan limbah padat, pada akhirnya, akan sangat diperlukan oleh pelabuhan. Tidak semua pelabuhan memikirkan itu karena memperhitungkan faktor untung-rugi.

Dalam penjelasan berikut, dipaparkan potensi apa saja yang dapat diperoleh dengan membangun fasilitas pengelolaan limbah padat. Dipaparkan pula berbagai pilihan fasilitas yang dapat ditempatkan di pelabuhan setelah memperhitungkan sejumlah aspek. Keuntungan dan kerugian dari fasilitas-fasilitas tersebut dapat menjadi pertimbangan bagi pemilihan fasilitas.

4.8.1 Potensi energi limbah padat

Tabel 4.33 menunjukkan potensi energi yang dapat dihasilkan dari limbah padat berdasarkan jenisnya. Sampah plastik memiliki potensi kalor yang sangat besar yaitu 10.880 kWh/ton basah, diikuti dengan sampah kertas yang 3.930 kWh/ton basah. Sampah organik tidak terlalu efektif jika digunakan sebagai energi karena hanya menghasilkan 1.193 kWh/ton basah saja.

Logam dan kaca tidak menghasilkan energi kalor sama sekali karena sifat mereka yang sangat sulit terbakar. Jika dilihat dari potensi metana (biogas) yang dihasilkan, sampah organik memiliki potensi terbesar sebesar 300,7 liter CH₄/ton basah dan sampah kertas menghasilkan 145,8 liter CH₄/ton basah. Sampah plastik, logam dan kaca tidak menghasilkan biogas karena mereka sangat sulit terurai.

Tabel 4.33 Potensi energi sampah

Tipe sampah	Nilai panas (kWh/ton)	Potensi metana (l CH ₄ /ton)
Kertas	3.930	145,8
Organik	1.193	300,7
Plastik	10.880	0
Logam	0	0
Kaca	0	0
Lain-lain	0	0

Sumber: Minoglou et al., 2013

4.8.2 Fasilitas pemilahan limbah padat

Ada 4 (empat) macam fasilitas pengelolaan sampah yang dianalisa dalam Tugas Akhir ini. Pertama adalah fasilitas pemilahan material spesifik (PMS). Fasilitas ini menerima sampah jenis keras (*hard material*) yang sudah dipilah dalam fasilitas pemilahan sampah untuk kemudian diolah menjadi limbah daur ulang yang dapat dijual. Kedua adalah fasilitas insinerator (FI) yang berfungsi untuk membakar sampah. Ketiga adalah fasilitas pengomposan (FP) yang berfungsi mengomposkan sampah organik menjadi sampah yang berguna seperti yang dikutip oleh Ujile (2008). Terakhir adalah fasilitas digesti anaerobik (DA) yang berfungsi untuk mengubah sampah menjadi gas metana (CH₄). Setiap macam fasilitas pengelolaan sampah memiliki efisiensi yang berbeda-beda tergantung jenis sampah yang diolah. Tabel 4.34 menunjukkan pengelolaan sampah berdasarkan macam fasilitas pengelolaan dan jenis sampahnya.

Tabel 4.34 Persentase efisiensi fasilitas pengolahan sampah (η)

Tipe sampah	PMS	FI	FP	DA
Kertas	70	89	35	25
Organik	-	99	65	55
Plastik	70	98	0	0
Metal	70	3	0	0
Kaca	70	2	0	0
Lain-lain	-	75	0	0

Sumber: Cavdaroglu, 2019

$\eta_{i,j}$: Efisiensi fasilitas pengolahan berdasarkan jenis fasilitas i (i = pms fasilitas pemilahan material spesifik, i = fi fasilitas insinerator, i

= fp fasilitas pengomposan, i = da digesti anaerobik ; j = p plastik, j = K kertas, j = o organik, j = kc kaca, j = m metal)

Tabel 4.34 menunjukkan bahwa fasilitas insinerator sangat tidak efisien dalam mengolah limbah logam dan kaca karena sampah jenis tersebut memang sangat sulit terbakar. Sampah organik cocok untuk diolah dengan cara pengomposan dan digesti anaerobik. Namun sampah jenis ini tidak dapat dipakai kembali sehingga tidak bisa diolah di fasilitas PMS.

Sementara itu, fasilitas pengomposan (FP) dan digesti anaerobik (DA) hanya bisa mengolah limbah organik dan kertas karena material lain seperti logam dan kaca tidak dapat terurai baik melalui pengomposan maupun digesti anaerobik.

Sebagai tambahan, selain bisa mengetahui efisiensi masing-masing fasilitas pengolahan, Tabel 4.34 juga secara tidak langsung menunjukkan hasil residu dan limbah yang tidak terolah oleh fasilitas tersebut. Sebagai contoh, fasilitas insinerator (FI) memiliki efisiensi 89% untuk kertas. Artinya, residu abu dari kertas yang dihasilkan dari fasilitas tersebut adalah sebesar 11% dari berat awal. Ini juga berlaku untuk semua fasilitas dan limbah jenis lainnya.

Dengan adanya fasilitas insinerator, diperlukan pula analisa dampak lingkungan yang ditimbulkan. Analisa ini hanya berpaku pada banyaknya jumlah CO₂ yang dihasilkan dari masing-masing jenis pengelolaan dan jenis sampahnya. Jumlah CO₂ yang dihasilkan dapat dilihat pada Tabel 4.35.

Tabel 4.35 Ton CO₂ yang Dihasilkan per Ton Sampah yang Diolah

Tipe	PMS	FI	FP	DA
Kertas	0	0,043	0,001	0
Organik	-	0,39	0,014	0
Plastik	0	0,294	-	-
Logam	0	0	-	-
Kaca	0	0	-	-
Lain-lain	-	0,019	-	-

Sumber: Cavdaroglu, 2019

Pada tabel tersebut, jelas terlihat bahwa limbah organik menghasilkan jumlah CO₂ terbanyak. Ini dikarenakan bahwa dari semua limbah, hampir semua limbah organik memiliki rantai karbon yang mudah terurai.

Untuk mengetahui kelebihan dan kekurangan dari masing-masing fasilitas dan berdasarkan jenis sampahnya, dalam Tugas Akhir ini, dianalisa berapa harga yang diperoleh atau biaya yang harus dikeluarkan untuk mengolah sampah menjadi bentuk yang lebih berguna.

Sampah kaca dan logam tidak dapat diubah menjadi kompos atau listrik berdasarkan nilai kalornya. Sampah jenis ini hanya dihitung berdasarkan nilai jualnya setelah dilakukan pemrosesan di fasilitas PMS. Rincian biaya operasi fasilitas pengolahan sampah, harga pasar material daur ulang, acuan konversi listrik terdapat pada Tabel 4.36.

Limbah kaca dan logam tidak memiliki nilai panas karena itu tidak memiliki potensi listrik yang dihasilkan. Perhitungan listrik yang dihasilkan oleh limbah plastik (Efi,p) dapat dituliskan sebagai berikut:

$$E_{fi,p} = \text{Jumlah sampah plastik} \times \eta_{fi,p} \times \eta_{e,fi} \times HV_p$$

Tabel 4.36 Parameter fungsi biaya

Fungsi biaya	NOTASI	Nilai	Referensi
Biaya operasi PMS	Bpms	\$20/ton	Pressley, 2015
Biaya operasi FI	Bfi	\$80/ton	Hochman, 2015
Biaya operasi FP	Bfp	\$30/ton	Hochman, 2015
Biaya operasi DA	Bda	\$60/ton	Hochman, 2015
Harga pasar kertas daur ulang	Rk	\$80/ton	Metin, 2003
Harga pasar kaca daur ulang	Rkc	\$35/ton	Metin, 2003
Harga pasar metal daur ulang	Rm	\$120/ton	Metin, 2003
Harga pasar plastik daur ulang	Rp	\$150/ton	Metin, 2003
Biaya pokok listrik		\$0.07/kWh	Kementerian ESDM, 2019
Efisiensi konversi energi listrik FI	$\eta_{e,fi}$	27%	Minoglou et al., 2013
Efisiensi konversi energi listrik DA	$\eta_{e,da}$	33%	Minoglou et al., 2013
Harga jual pupuk kompos	Rpk	\$272/ton	Sianipar, 2016

4.8.3 Fasilitas insinerator (FI)

Tabel 4.37 menunjukkan perhitungan keuntungan dan kerugian yang diperoleh bila fasilitas yang digunakan adalah fasilitas insinerator. Perhitungan dilakukan berdasarkan jenis sampah dan jumlah sampah dalam ton. Akan terlihat kemudian efisiensi dari pemrosesan, konversi energi listrik, nilai panas dan listrik yang dihasilkan

Tabel 4.37 menunjukkan jumlah listrik yang dihasilkan oleh fasilitas insinerator (FI) berdasarkan jenis-jenis limbahnya. Limbah plastik memiliki potensi listrik yang paling besar yaitu 22.541,38 kWh, diikuti oleh limbah kertas sebesar 6.071,8 kWh dan limbah organik sebesar 5.542,3 kWh

Tabel 4.37 Perhitungan fasilitas insinerator -1

Jenis sampah	Jumlah sampah (ton)	Efisiensi pemrosesan	Efisiensi konversi energi listrik	Nilai panas (kWh/ton)	Listrik yang dihasilkan (kWh)
Plastik	7,83	0,98	0,27	10.880	22.541,3798
Kertas	6,44	0,89	0,27	3.930	6.081,80076
Organik	17,38	0,99	0,27	1.193	5.542,28908
Kaca	2,13	0,02	0,27	0	0
Metal	1,31	0,03	0,27	0	0

Tabel 4.38 menunjukkan nilai potensi keuntungan atau kerugian (*expense*) yang akan didapat dari dilakukannya pengolahan suatu jenis limbah di fasilitas insinerator (FI). Hanya limbah plastik saja yang memiliki potensi keuntungan, yaitu sebesar \$1.762,91. Sementara itu, limbah kertas dan organik membuat biaya harus harus dikeluarkan. Perhitungan keuntungan atau kerugian pengolahan plastik di fasilitas insinerator ($R_{fi,p}$) dirumuskan sebagai berikut:

$$R_{fi,p} = (E_{fi,p} \times \text{harga listrik}) - (B_{fi} \times \text{jumlah sampah plastik})$$

Tabel 4.38 Perhitungan fasilitas insinerator -2

Jenis sampah	Biaya operasi Insinerator (\$/ton)	Harga listrik (\$/kWh)	Harga jual listrik (\$)	Biaya operasi (\$)	Keuntungan / kerugian (\$)
Plastik	80	0,08	1.803,31039	626,4	1.176,91
Kertas	80	0,08	486,544061	515,2	-28,6559
Organik	80	0,08	443,383127	1.390,4	-947,017
Kaca	80	0,08	0	170,4	0
Metal	80	0,08	0	104,8	0

4.8.4 Fasilitas digesti anaerobik (DA)

Tabel 4.39 menunjukkan perhitungan bila fasilitas digesti anaerobik yang dipilih. Sama seperti fasilitas yang lain, perhitungan dilakukan berdasarkan jenis sampah dan jumlah sampah dalam ton. Jumlah listrik yang dihasilkan dijelaskan kemudian.

Tabel ini menunjukkan jumlah listrik yang dihasilkan oleh fasilitas digesti anaerobik (DA) berdasarkan jenis-jenis limbahnya. Limbah organik memiliki potensi listrik yang paling besar yaitu 190,47 kWh, diikuti oleh limbah kertas sebesar 169,84 kWh. Limbah kaca dan logam tidak dapat diurai atau sulit terurai. Oleh karena itu, keduanya tidak memiliki potensi listrik yang dihasilkan. Perhitungan listrik yang dihasilkan oleh limbah organik (Eda,o) dapat dituliskan sebagai berikut:

$$Eda,o = \text{Jumlah sampah organik} \times \eta_{da,o} \times \eta_{e,da} \times MPo$$

Tabel 4.39 Perhitungan fasilitas digesti anaerobik -1

Jenis sampah	Jumlah sampah (ton)	Efisiensi pemrosesan	Efisiensi konversi energi listrik	Potensi metana (kWh/ton)	Listrik yang dihasilkan (kWh)
Plastik	7,83	0	0,33	0	0
Kertas	6,44	0,25	0,33	145,8	169,84242
Organik	17,38	0,55	0,33	300,7	190,473905
Kaca	2,13	0	0,33	0	0
Metal	1,31	0	0,33	0	0

Keuntungan dan kerugian dari penggunaan fasilitas digesti anaerobik ditunjukkan dalam Tabel 4.40, termasuk biaya operasinya, harga jual listriknya.

Tabel 4.40 menunjukkan nilai potensi keuntungan atau kerugian (*expense*) yang akan didapat dari dilakukannya pengolahan suatu jenis limbah di fasilitas digesti anaerobik (DA). Ketika diolah menggunakan digesti anaerobic, limbah kertas dan limbah organik tidak menghasilkan keuntungan, hanya mengeluarkan biaya pengolahan.

Namun angka pada perhitungan ini hanya berpatokan kepada berapa listrik yang dapat dijual. *Output* dari fasilitas ini adalah biogas, yang mungkin bisa digunakan untuk hal lain seperti menyalakan kompor. Hal-hal ini perlu dipertimbangkan juga. Perhitungan keuntungan atau kerugian pengolahan plastik di fasilitas ini (Rfi,p) dirumuskan sebagai berikut:

$$Rda,o = (Eda,o \times \text{Harga Listrik}) - (Bda \times \text{Jumlah Sampah Organik})$$

Tabel 4.40 Perhitungan fasilitas digesti anaerobik -2

Jenis sampah	Biaya operasi digesti anaerobik (\$/ton)	Harga listrik (\$/kWh)	Harga jual listrik (\$)	Biaya operasi (\$)	Keuntungan / kerugian (\$)
Plastik	60	0,08	0	0	0
Kertas	60	0,08	13,5873936	386,4	-380,203
Organik	60	0,08	15,2379124	1.042,8	-966,916
Kaca	60	0,08	0	0	0
Metal	60	0,08	0	0	0

4.8.5 Fasilitas pemilahan material spesifik (PMS)

Fasilitas pemilahan material spesifik memiliki sejumlah keuntungan karena dapat mengolah limbah jenis tertentu untuk dijual. Tabel 4.41 akan menunjukkan perhitungan penggunaan fasilitas ini, juga keuntungan dan kerugian yang didapat. Penghitungan dilakukan berdasarkan jenis dan jumlah sampah.

Ditunjukkan pula jumlah listrik yang dihasilkan oleh fasilitas pemilahan material spesifik (PMS) berdasarkan jenis-jenis limbahnya. Fasilitas ini mengolah limbah jenis tertentu menjadi limbah yang siap dijual di pasaran seperti biji kaca, gulungan metal, biji plastik bekas, pulp kertas, dll. Limbah organik tidak dapat diolah pada fasilitas ini karena limbah organik pasti akan busuk dan tidak dapat digunakan kembali.

Limbah plastik memiliki potensi keuntungan yang paling besar. Potensi harga jual limbah plastik daur ulang yang bisa didapat sebesar

\$665,55, diikuti limbah kertas sebesar \$231,84, limbah metal sebesar \$83,84 dan limbah kaca sebesar \$9,59. Perhitungan keuntungan atau kerugian pengolahan plastik di fasilitas pemilahan material spesifik (Rpms,p) dirumuskan sebagai berikut:

$$Rpms,p = (\eta_{pms,p} \times Rp \times \text{Jumlah Sampah Plastik}) - (Bpms \times \text{Jumlah Sampah Plastik})$$

Tabel 4.41 Perhitungan fasilitas pemilahan material spesifik (PMS)

Jenis sampah	Jumlah sampah (ton)	Biaya operasi PMS (\$/ton)	Efisiensi pemrosesan	Harga jual material (\$/ton)	Nilai jual material (\$)	Biaya operasi (\$)	Keuntungan (\$)
Plastik	7,83	20	0,7	150	822,15	156,6	665,55
Kertas	6,44	20	0,7	80	360,64	128,8	231,84
Organik	17,38	20	0	0	0	347,6	0
Kaca	2,13	20	0,7	35	52,185	42,6	9,585
Metal	1,31	20	0,7	120	110,04	26,2	83,84

4.8.6 Fasilitas pengomposan (FP)

Fasilitas pengomposan, sebagaimana ditunjukkan oleh Tabel 4.42, akan menghasilkan pupuk kompos yang dapat dijual. Dalam tabel ini, diuraikan jumlah keuntungan dengan melihat biaya operasi fasilitas dan efisiensi dari pemrosesannya. Penghitungan didasarkan pada jenis dan jumlah sampah. Tabel 4.42 menunjukkan jumlah listrik yang dihasilkan oleh fasilitas pengomposan (FP) berdasarkan jenis-jenis limbahnya. Fasilitas ini mengurai limbah menjadi pupuk. Limbah plastik, kaca dan logam adalah limbah yang sangat sulit terurai. Oleh karena itu, limbah tidak akan diperhitungkan dalam perhitungan fasilitas ini.

Limbah organik memiliki potensi keuntungan yang paling besar. Potensi uang yang didapat dari harga jual pupuk kompos dari limbah organik adalah sebesar \$3.072,78, sementara untuk limbah kertas hanya sebesar \$613,09. Perhitungan keuntungan atau kerugian pengolahan limbah organik di fasilitas pengomposan (Rfp,p) dirumuskan sebagai berikut:

$$Rfp,o = (\eta_{fp,o} \times Rpk \times \text{Jumlah Sampah Organik}) - (Bfp \times \text{Jumlah Sampah Organik})$$

Tabel 4.42 Perhitungan fasilitas pengomposan (FP)

Jenis sampah	Jumlah sampah (ton)	Biaya operasi FP (\$/ton)	Efisiensi pemrosesan	Harga kompos (\$/ton)	Harga pupuk (\$)	Biaya operasi (\$)	Keuntungan (\$)
Plastik	7,83	30	0	272	0	0	0
Kertas	6,44	30	0,35	272	613,088	193,2	419,888
Organik	17,38	30	0,65	272	3.072,784	521,4	2.551,384
Kaca	2,13	30	0	272	0	0	0
Metal	1,31	30	0	272	0	0	0

4.8.7 Perbandingan masing-masing fasilitas

Masing-masing fasilitas pengelolaan memiliki sejumlah keuntungan dan kerugian. Tabel di bawah menunjukkan keuntungan dan kerugian tersebut berdasarkan jenis sampahnya. Akan ditunjukkan mana fasilitas yang paling menguntungkan dan paling merugikan bagi pelabuhan yang ingin menggunakannya. Penjelasan diberikan kemudian dan pilihan ada pada pelabuhan.

Tabel 4.43 menunjukkan hasil perhitungan tentang berapa nilai uang yang dapat diperoleh atau harus dikeluarkan untuk mengelola jenis sampah tertentu pada fasilitas pengolahan tertentu. Fasilitas pengelolaan yang paling menguntungkan adalah fasilitas pengomposan dengan nilai keuntungan \$2.971,27 per hari. Hal disebabkan oleh minimnya biaya operasi fasilitas tersebut.

Sampah yang diolah menjadi pupuk kompos siap jual dengan harga jual tinggi. Keuntungan kedua terbesar berada di fasilitas material spesifik (PMS) dengan nilai keuntungan \$990.82 per hari, diikuti oleh fasilitas insinerator (FP) dengan nilai keuntungan \$201,24 per hari. Fasilitas digesti anaerobik (DA) menghasilkan kerugian karena efisiensi konversi energi listrik dari fasilitas DA sangat rendah sehingga harga jual listrik tidak mampu menutup biaya operasi.

Tabel 4.43 Keuntungan/kerugian berdasarkan fasilitas pengolahan & jenis sampah

Jenis sampah	FP	PMS	DA	FI
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
Metal	0	83,84	0	0
Total	2.971,272	990,815	-1.347,118986	201,2375746

Catatan: Keuntungan/kerugian dalam waktu setiap hari

4.8.8 Residu dan limbah sisa

Seperti yang sudah dijelaskan di atas, meskipun limbah-limbah tersebut sudah diolah di fasilitas pengolahan tertentu, setiap jenis limbah tetap memiliki residu dan limbah sisa. Residu dan limbah sisa ini tidak dapat dipakai selain dibuang ke TPA.

Tabel 4.44 menunjukkan persentase residu yang dihasilkan oleh masing-masing jenis limbah pada masing-masing fasilitas pengolahan. Pada fasilitas PMS, semua limbah memiliki residu yang sama. Pada fasilitas insinerator, limbah organik dan plastik memiliki residu yang paling sedikit, sementara limbah logam dan kaca hampir tidak memiliki residu. Pada fasilitas pengomposan dan digesti anaerobik, limbah plastik, logam dan kaca tidak memiliki residu sama sekali karena ketiga jenis limbah tersebut sulit terurai.

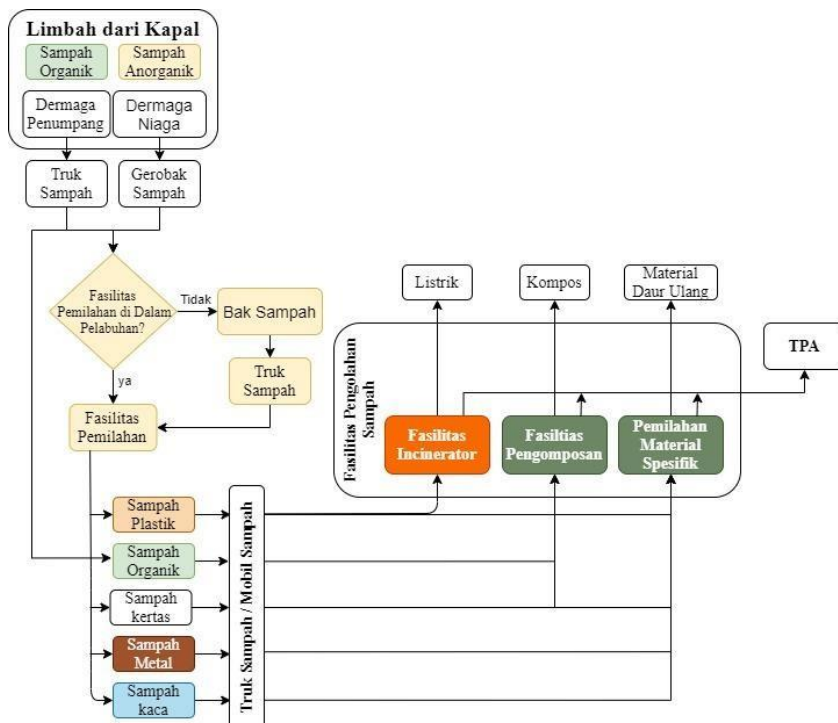
Tabel 4.44 Persentase Residu yang Dihasilkan

Tipe	PMS	FI	FP	DA
Kertas	30	11	65	75
Organik	-	1	35	45
Plastik	30	2	100	100
Metal	30	97	100	100
Kaca	30	98	100	100
Lain-lain	-	25	100	100

4.9 Desain manajemen limbah padat

Berdasarkan simulasi-simulasi yang sudah dilakukan, rancangan manajemen limbah padat pada Tugas Akhir ini dibuat sebagai berikut (Lihat Gambar 4.7):

- Pelabuhan mewajibkan agar sampah yang akan dibuang sudah berada di dalam kantong plastik yang terikat rapih.
- Sampah yang masih berada di dalam area pelabuhan ditangani oleh pihak pelabuhan sendiri, tidak melalui pihak swasta. Setelah dihitung, didapatkan bahwa limbah padat dari dermaga niaga membutuhkan 1 *trip* per hari untuk mengumpulkan semuanya. Namun untuk praktisnya, dilakukan 2 *trip* per hari, pada siang dan malam hari. Sementara itu, dibutuhkan 8 – 12 *trip* per hari untuk limbah yang berada di dermaga niaga. Hal ini juga masih dapat dilakukan oleh pelabuhan sendiri dengan menggunakan satu truk dan satu gerobak sampah.



Gambar 4.7 Proses pengumpulan, pemilahan, dan pengolahan limbah padat

- Pelabuhan menarik pungutan untuk kapal yang ingin melakukan pembuangan limbah padat di pelabuhan. Perhitungan pungutannya disesuaikan dengan jumlah limbah padatnya. Jumlah limbah padat yang dihasilkan sudah dapat diperkirakan dengan menggunakan faktor-faktor seperti ukuran, jumlah orang di atas kapal, kecepatan rata-rata kapal, umur kapal dan jarak pelayaran.
- Besarnya pungutan untuk pembuangan sampah di pelabuhan dibedakan untuk kapal yang memisahkan limbah organik dan anorganiknya dengan kapal yang mencampurkan semua limbahnya.
- Apabila memungkinkan, fasilitas pemilahan limbah berada di dalam area pelabuhan untuk memangkas biaya transportasi sampah. Namun, agar tidak mengganggu wilayah operasi pelabuhan di masa mendatang, khususnya di dermaga kapal penumpang, fasilitas tidak dibangun secara permanen. Fasilitas dirancang sedemikian rupa agar mudah dipindahkan.
- Fasilitas pengolahan limbah padat dapat berada di luar area pelabuhan dengan mempertimbangkan biaya transportasi. Namun, perihal fasilitas pengolahan limbah padat ini, dapat juga dilakukan kerja sama dengan Pemerintah Kota Surabaya karena pemkot sudah memiliki fasilitas insinerator di Benow, bank sampah untuk sampah kering dan fasilitas pengomposan.

4.10 Rekomendasi untuk pelabuhan

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 IMO dan Uni Eropa bersepakat bahwa pengurangan pencemaran di laut dapat dicapai dengan meningkatkan ketersediaan dan penggunaan fasilitas pembuangan limbah di pelabuhan. Dalam konteks ini, semua kapal yang singgah di pelabuhan-pelabuhan di Eropa diwajibkan membuang limbah mereka, kecuali dapat membuktikan bahwa mereka akan menyimpan limbah tersebut hingga ke pelabuhan persinggahan berikutnya. Namun, setiap kapal yang singgah di pelabuhan-pelabuhan di Uni Eropa membayar pungutan sebagai kontribusi untuk biaya fasilitas pengumpulan/penerimaan limbah di pelabuhan, tanpa memandang apakah mereka membuang

limbahnya di pelabuhan atau tidak. Karena sudah membayar, pihak kapal akan berpikir dua kali untuk tidak membuang limbahnya di pelabuhan.

Sangat direkomendasikan agar kebijakan pungutan semacam ini dapat digunakan di Pelabuhan Tanjung Perak. Pungutan dapat dilakukan bervariasi, bergantung pada bobot, jenis dan durasi pelayaran sebelum singgah di pelabuhan.

Kebanyakan negara menggunakan ukuran kapal yang diukur dalam gros tonase (GT) untuk menarik pungutan (De Langen dan Nijdam, 2008; Ohlenschlager and Gordiani, 2012). Contohnya adalah Amsterdam (Belanda), Hamburg (Jerman), Gothenburg (Swedia), Klaipeda (Lithuania) dan Le Havre (Prancis). Namun di Antwerp (Belgia) dan Venezia (Italia), tarif yang dipungut tidak saja tergantung pada ukuran, tapi juga jenis kapalnya (Ohlenschlager dan Gordiani, 2012). Georgakellos (2017) malah berargumen bahwa sebaiknya jarak yang ditempuh sejak dari pelabuhan persinggahan terakhir juga diperhitungkan.

Tabel 4.45 Manajemen sampah di pelabuhan-pelabuhan lain

Nama pelabuhan (negara)	Manajemen sampah
Kota Santos (Brazilia)	<ul style="list-style-type: none"> • Limbah padat dibuang di TPS milik swasta yang terdiri dari 10 sel • 1 sel mampu menampung sekitar 120.000 ton limbah. • Kapasitas penerimaan: 50 ton/hari • Beroperasi Januari 2003, diperkirakan layak digunakan untuk jangka waktu 20 tahun.
Harcourt Metropolis (Nigeria)	<ul style="list-style-type: none"> • Menghabiskan dana US\$1,02 juta/bulan untuk pengumpulan limbah & pembuangannya di <i>borrow pit</i> • Pendekatan ilmiah, perencanaan & kebijakan efektif untuk pengelolaan limbah tak ada. • Sampah yang dihasilkan: 7.500 ton/hari. • Limbah dibuang di sembarang tempat
Tanvu, Hoang Dieu dan Chuave di Haiphong (Vietnam)	<ul style="list-style-type: none"> • Pengumpulan sampah dilakukan baik langsung maupun tak langsung (tergantung pelabuhannya) oleh sebuah perusahaan patungan. • Pengepul mengunjungi kapal-kapal 2 hari sekali & menanyakan apakah sampah mau dibuang (sukarela). • Biaya pengumpulan sampah: US\$25 (kapal asing), US\$10 (kapal Vietnam, atau US\$ bila bersandar di

pangkalan AL).

- Pungutan ditarik dari para pemilik kapal oleh Kantor Administrasi Maritim Haiphong dan ditransfer ke perusahaan pengepul.
- Kantor Administrasi Maritim Haiphong memperoleh komisi sebesar 10% dari pungutan.
- Tidak ada insentif untuk penggunaan layanan pembuangan sampah secara terus-menerus.
- Limbah normal & beracun dikepul oleh perusahaan-perusahaan berbeda.
- Pengepul di Tanvu mendaur ulang sampah: barang berharga di jual ke toko daur ulang; residu sampah dibuang sebagai sampah kota.
- Di HoangDieu & Chuave, titik-titik pengepulan hanyalah kawasan-kawasan kecil untuk mengumpulkan sampah dari kapal-kapal yang tak dapat memilah sampah.

**Igoumenitsa di
Delta Sungai
Kalamas
(Yunani)**

- Memiliki fasilitas penerimaan limbah di pelabuhan sesuai hukum Yunani.
- Pengelolaan limbah dilakukan oleh kontraktor yang melakukan baik pengumpulan maupun pembuangan limbah.
- Pengelolaan limbah padat dilakukan oleh kontraktor Antipollution S.A.
- Kontraktor menempatkan 25 tong sampah berukuran masing-masing 11 liter di pelabuhan untuk kapal-kapal rute domestik. Kotak sampah dikosongkan 2 kali seminggu di musim dingin & 4-5 kali seminggu di musim panas.
- Limbah padat untuk rute internasional dikumpulkan di atas kapal & dibawa turun dengan truk yang dilengkapi dengan kompresor
- Sampah yang dikumpulkan dibawa & dibuang di TPS terdekat, 22 km dari pelabuhan
- Otoritas pelabuhan menerima komisi 12% dari pungutan yang ditarik oleh kontraktor dari kapal-kapal yang membuang sampah

Di sebagian besar pelabuhan, pungutan yang dibayarkan berlaku untuk segala jenis limbah. Namun, karena jenis limbah yang dihasilkan terkait dengan beragam faktor, De Langen dan Nijdam (2008), berpendapat bahwa seharusnya ini diperhitungkan dalam penentuan besar pungutan.

Dalam hal pembangunan fasilitas penerimaan/pengumpulan limbah di pelabuhan, sebagian otoritas pelabuhan mungkin berpikir

tentang biayanya yang tidak murah. Oleh karena itu, sistem yang terintegrasi harus dibangun (Lihat Tabel 4.45). Pihak pelabuhan dapat mempertimbangkan untuk bekerja sama dengan industri-industri terkait. Olson, 1994, mengatakan tidaklah sulit membangun fasilitas tersebut. Truk tangki, truk hampa udara (*vacuum truck*), tangki yang mobil (*mobile tank*), truk lori, tongkang dan kapal kecil mungkin sudah cukup. Menggunakan perusahaan transportasi untuk diajak bekerja sama mungkin pula dapat mengurangi biaya.

Namun sesungguhnya, untuk benar-benar menjadikan Pelabuhan Perak dan terminal-terminalnya, termasuk Terminal Jamrud, sebagai pelabuhan hijau, pendekatan berkesinambungan untuk pengelolaan limbah adalah yang paling diperlukan. Karena itu, mempertimbangkan banyaknya volume limbah kapal, fasilitas pendaurulangan dan penggunaan kembali (*recycling and reuse*) menjadi penting pula. Jadi, tidak hanya membuang, tapi juga mendaur ulang dan menggunakan kembali limbah yang dihasilkan kapal.

BAB 5

KESIMPULAN DAN REKOMENDASI

Berdasarkan hasil analisa pemilahan dan pengolahan limbah padat di Terminal Jamrud, didapat kesimpulan dan rekomendasi sebagai berikut

5.1 Kesimpulan

1. Jumlah limbah padat yang dihasilkan setiap minggu oleh kapal di Terminal Jamrud adalah 53,82 ton untuk skenario tinggi, 46,69 ton untuk skenario sedang dan 30,7 ton untuk skenario rendah. Sementara itu, limbah padat yang dihasilkan di area Terminal Jamrud sendiri adalah 274 ton untuk skenario tinggi, 237 ton untuk skenario sedang dan 156 ton untuk skenario rendah.
2. Pada skenario sedang, jumlah limbah padat yang dihasilkan per minggu berdasarkan jenisnya adalah 54,79 ton limbah plastik, 45,22 ton limbah kertas, 12,17 ton limbah organik, 14,89 ton limbah kaca, 9,18 ton limbah logam dan 35,98 ton limbah lain-lain.
3. Pada skenario sedang, jumlah limbah padat yang dihasilkan per minggu berdasarkan lokasinya adalah 0,32 ton di dermaga niaga selatan, 0,24 ton di dermaga niaga utara, 29,5 ton di dermaga penumpang utara, 13,89 ton di dermaga penumpang selatan dan 237,7 ton limbah di area pelabuhan.
4. Secara keseluruhan, penanganan limbah padat dengan menggunakan model 1 (limbah anorganik dan organik dipisahkan) memakan biaya lebih sedikit dibandingkan dengan model 2 (limbah anorganik dan organik dicampur). Pada model 1, anggaran transportasi per hari yang dibutuhkan adalah Rp3,975 juta. Sementara itu, pada model 2, dibutuhkan anggaran sebanyak Rp3,62 juta. Pada model 1, anggaran untuk fasilitas pemilahan per hari adalah Rp9,358 juta, sementara pada model 2, dibutuhkan Rp14,383 juta.
5. Fasilitas pengolahan limbah yang paling cocok diterapkan adalah fasilitas pengomposan (FP) dan fasilitas pemilahan material spesifik (PMS). Apabila dioperasikan, kedua fasilitas tersebut dapat memberikan keuntungan. Fasilitas pengomposan

hanya bisa mengolah limbah organik dan kertas. Oleh karena itu, fasilitas tersebut perlu didampingi fasilitas pemilahan material spesifik untuk mengolah limbah plastik, kaca dan logam.

5.2. Rekomendasi

1. Pelabuhan setidaknya memberlakukan peraturan bagi seluruh kapal untuk memisahkan sampah organik dan anorganik agar mempermudah pemilahannya di pelabuhan. Warna plastik sampah untuk keduanya sebaiknya dibedakan untuk mempermudah kerja operator pengumpul sampah di pelabuhan.
2. Pelabuhan dapat memperkirakan jumlah sampah yang dihasilkan oleh kapal saat bersandar dengan mempertimbangkan ukuran kapal, jumlah orang di atas kapal, umur kapal, kecepatan rata-rata pelayaran kapal dan jarak pelayaran kapal dari pelabuhan persinggahan sebelumnya. Dengan menerapkan faktor-faktor ini, pelabuhan dapat menetapkan tarif pungutan sampah di pelabuhan yang lebih mendekati jumlah aktualnya (tidak hanya berdasarkan gros tonase). Diharapkan, tarif tersebut dapat memberikan keuntungan baik bagi pihak pelabuhan maupun operator kapal.
3. Sejumlah perhitungan dalam Tugas Akhir ini dilakukan berdasarkan asumsi penulis setelah menganalisa berbagai data yang berhasil diperoleh, termasuk dari riset lapangan. Pandemi COVID-19 membuat penulis menemui kesulitan untuk melakukan riset lapangan secara penuh. Oleh karena itu, penulis merekomendasikan para periset lain yang ingin melanjutkan penelitian ini agar melakukan riset lapangan secara lebih intensif setelah pandemi berlalu untuk mendapatkan data yang lebih akurat.
4. Rencana Induk Pelabuhan (RIP) Tanjung Perak ditentukan oleh pemerintah, dalam hal ini otoritas Pelabuhan Tanjung Perak (Kementerian Perhubungan, 2006). Tetapi pada praktiknya, rencana induk tersebut terus berubah. Oleh karena itu, bila fasilitas pengumpulan dan pemilahan kelak akan dibangun, desain tata letak fasilitas-fasilitasnya harus disesuaikan dengan rencana induk sesuai revisi terbaru. Desain yang penulis gambarkan di Tugas Akhir ini hanya berdasarkan

riset lapangan penulis dan desain tata letak Pelabuhan Tanjung Perak, utamanya di Terminal Jamrud. Komunikasi dengan pihak otoritas pelabuhan belum dilakukan terkait dengan desain ini.

5. Karena RIP Tanjung Perak terus dan kerap berubah, penulis merekomendasikan agar bila fasilitas pengumpulan dan pemilahan limbah padat ingin dibangun, akan lebih baik bila pembangunan dilakukan secara tidak permanen. Pembangunan tidak permanen akan memudahkan pemindahan fasilitas-fasilitas tersebut di masa mendatang bila dirasa keberadaannya mengganggu wilayah operasi pelabuhan, khususnya untuk kapal penumpang.
6. Secara keseluruhan, riset ini belum sepenuhnya maksimal akibat pandemi. Riset lanjutan oleh para peneliti setelah penulis sangat diharapkan sehingga manfaatnya kelak lebih besar.

Halaman ini sengaja dikosongkan

DAFTAR PUSTAKA

- Acciaro, M., et al. 2014. *Energy management in seaports: A new role for port authorities*. Energy Policy.
- Ambariski, P.P.D., 2016. *Sistem Pengangkutan Sampah Berdasarkan Kapasitas Kendaraan Pengangkut dan Kondisi Kontainer Sampah di Surabaya Barat*. JURNAL TEKNIK ITS Vol. 5, No. 2. D64 – 69.
- Anastasopoulou, D., Kolios, S., Stylios, C.. 2011. *How will Greek ports become will green ports?* Geo-Eco-Marina. 17. 73-80.
- Attas, G.G., 2013. *Design Paramenters and Initiatives for Ecological and Green and Green Design in Interior Architecture*. WSEAS Transactions on Environment and Development. 56-366.
- Australian Stainless Steel Development Association. 1996. *Corrosion resistance in marine environment*. Australian Stainless magazine. Edisi 6.
- Badan Perencanaan Pembangunan Kota Surabaya. 2019. *Rencana Kerja Pemerintah Daerah (RKPD) Kota Surabaya Tahun 2019*. Surabaya.
- Badan Pusat Statistik. 2014, 2015, 2016, 2017, 2018. *Statistik Transportasi Laut*. Jakarta, Indonesia
- Bliault, C., Jonas, M., The North of England P&I Association. 2016. *Bulk Cargoes: A Guide to Good Practice* (edisi ke-1). Inggris: The North of England P&I Association. 280.
- Burdall, A.C.; Williamson, H.J. 1991. *A green port: An engineer's view. Ports into the next century*; Ford, C.R., Ed.; Thomas Telford Limited: London, Inggris. 247–259.
- 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.

- Carstensen, J., Conley, D.J., Bonsdorff, E., Gustafsson, B.G., Hietanen, S., Janas, U., Jilbert, T., Maximov, A., Norkko, A., Norkko, J., Reed, D.C., Slomp, C.P., Timmermann, K., Voss, M. 2014. *Hypoxia in the Baltic Sea: Biogeochemical cycles, benthic fauna, and management*. *AMBIO J. Human Environ.* 43 (1). 26-36.
- Cavdaroglou, N.A., Coban, A., Ertis, I.F. 2019. *Municipal solid waste management via mathematical modeling: A case study in Istanbul, Turkey*. *Journal of Environmental Management*. 244: 362-369
- CE Delft, 2017. *The management of ship-generated waste on-board ships*. CE Delft for European Maritime Safety Agency. Delft, Belanda.
- Chiu, R.H. & Lin, L.H., Ting, S.C. 2014. *Evaluation of Green Port Factors and Performance: A Fuzzy AHP Analysis*. *Mathematical Problems in Engineering*. 1-12.
- De Langen, Peter W.; Nijdam, Michiel. 2008. *Charging Systems for Waste Reception Facilities in Ports and the Level Playing Field: A Case from North-West Europe*. Department of Port, Transport and Regional Economics, Erasmus University Rotterdam, Rotterdam, Belanda.
- Dinas Komunikasi dan Informatika Jatim. (2019, 31 Mei). *Puncak Arus Mudik di Pelabuhan Tanjung Perak Diperkirakan 2 Juni*. Diakses pada 16 Juli 2020, dari <http://kominfo.jatimprov.go.id/read/umum/puncak-arus-mudik-pelabuhan-tanjung-perak-diperkirakan-2-juni>.
- Domingo, J.L., Nadal, M. 2009. *Domestic waste composting facilities: A review of human health risks*. *Environment International* 35. 382-389.
- European Commission, 2000. *Directive 2000/59/EC of the European Parliament and of the Council of 27 November 2000 on port reception facilities for ship-generated waste and cargo residues*.

- European Commission, 2017. *Study on differentiated port infrastructure charges to promote environmentally friendly maritime transport activities and sustainable transportation.*
- Geng, Y., Zhu, Q., Doberstein, B. Fujita, T., 2009. *Implementing China's circular economy concept at the regional level: a review of progress in Dalian, China.* Waste Manag. 29 (2). 996-1002.
- Georgakellos, Dimitrios A., 2007. *The use of the deposit-refund framework in port reception facilities charging systems.* Marine Pollution Bulletin 54(5). 508-20.
- Ghiani, G., Lagana, D., Manni, E., dan Triki, C., 2012. *Capacitated location of collection sites in an urban waste management system.* Waste Management 32. 1291-1286
- Hamburg Port Training Institute, 2007. *Study on ships producing reduced quantities of ships generated waste : present situation and future opportunities to encourage the development of cleanerships,* Lisbon: European Maritime Safety Agency (EMSA), Unit D – Implementation EU maritime legislation.
- Hochman, G., Wang, S., Li, Q., Gottlieb, P.D., Xu, F., Li, Y. 2015. *Cost of organic waste technologies: A case study for New Jersey.* AIMS Energy. 3(3).
- International Maritime Organization. 2009. Marine Environment Protection Committee (MEPC) 59th session. Dikutip pada 2 Agustus 2011, dari *Ship GHG emissions high on agenda at IMO environment meeting.*
- International Maritime Organization. 2012. International Maritime Organization International Convention for the Prevention of Pollution from Ships (MARPOL).
- ISO. 2001. International Organization for Standardization. Jenewa, Swiss.

- Iris, C. & Lam, J.S.L. 2019. *A review of energy efficiency in ports: Operational strategies, technologies and energy management systems*. Renewable and Sustainable Energy Reviews. 112. 170-182.
- Kanat, G. 2010. *Municipal solid-waste management in Istanbul*. Waste Management. 30(8-9):1737-45.
- Kementerian Energi dan Sumber Daya Mineral. 2019. *Keputusan Menteri Energi dan Sumber Daya Mineral Republik Indonesia No. 55 K/20/MEM/2019 tentang Besaran Biaya Pokok Penyediaan Pembangkitan PT Perusahaan Listrik Negara (Persero) Tahun 2018*. Kementerian Energi dan Sumber Daya Mineral. Jakarta, Indonesia.
- Kutz, M. 2018. *Handbook of Environmental Engineering*. John Wiley & Sons, Inc.
- Kementerian Perhubungan Republik Indonesia. 1998. *Keputusan Menteri Perhubungan No. KM 70 Tahun 1998 tentang Pengawakan Kapal Niaga*. Kementerian Perhubungan Republik Indonesia. Jakarta, Indonesia.
- Kementerian Perhubungan Republik Indonesia. 2006. *Peraturan Menteri Perhubungan Nomor KM 54 Tahun 2006 tentang Rencana Induk Pelabuhan Tanjung Perak*. Kementerian Perhubungan Republik Indonesia. Jakarta, Indonesia.
- Maggay, K. *Vessel Speed Reduction (VSR)*. Environmental Management Division, Port of Los Angeles.
- Marcussen, C.H., 2017. *Visualizing the network of cruise destinations in the Baltic Sea – a multidimensional scaling approach*. Scandinavian J. Hosp. Tour. 17 (2), hal. 208-222.
- Matthiessen Engineering SARL a Besancon. 2014. Besancon, Prancis. <https://www.facebook.com/Matthiessen25000Besancon/>
- Metin, E., Erozturk, A., Neyim, C. 2003. *Solid waste*

management practices and review of recovery and recycling operations in Turkey. Waste Management. 23(5):425-32.

Mewis, F. *Optimierung der Schiffsgeschwindigkeit unter Umwelt- und Kostenaspekten.* Schiff & Hafen. 2007. 59(12). 82–84.

Metso Mineral. 2005. <https://www.metso.com/products/screens/>
Meyer, J; Stahlbock, R; Vob, S. 2012. *Slow Steaming in Container Shipping.* Institute of Information Systems, University of Hamburg.

Minoglou, M., Komilis, D.P. 2013. *Optimizing the treatment and disposal of municipal solid wastes using mathematical programming: A case study in Greek region.* Resources Conservation & Recycling. 80(1).

Mohee, Surroop, Mudhoo, Rughooputh. 2012. *Inventory of Waste streams in an industrial port and planning for a port waste management system as per ISO14001.* Ocean & Coastal Management. 61. 10-19.

Ohlenschlager, Jens Peter; Gordiani, Giovanni, 2012. *EMSA Study on the Delivery of Ship-Generated Waste and Cargo Residues to Port Reception Facilities in EU Ports.* Copenhagen, Denmark.

Olson, Per. H. 1994. *Handling of waste in ports.* Mar. Pollut. Bul. 29 (6-12). 284-295.

Pavlic, B., Cepak, F., Sucic, B., Peckaj, M., Kandus, B. 2014. *Sustainable port infrastructure, practical implementation of the green port concept.* Therm. Sci. 18. 935–948.

Paraskevi, B. 2014. *Ship Waste management in the Port of Igoumenitsa, Greece.* Journal of Physical Science and Application. 4. 375.

Pemerintah Indonesia. 2001. *Peraturan Pemerintah Republik Indonesia Nomor 69 Tahun 2001 tentang Kepelabuhanan.* Lembaran Negara Republik Indonesia Tahun 2001, No. 127. Jakarta: Sekretariat Negara.

Pemerintah Kota Surabaya. 2014. *Peraturan Daerah Kota*

Surabaya Nomor 5 Tahun 2014 tentang Pengelolaan Sampah dan Kebersihan di Kota Surabaya. Lembaran Daerah Kota Surabaya Tahun 2014, No. 5. Surabaya.

Perreira, S.L., Fontana, C.M.M., Fontana, C.F., Sakurai, C.A. 2014. *Management of Port Solid Waste Framework.* International Journal of Energy & Environment 8. 27-33.

Perez, I., Gonzales, M.M., Jimenez, J.L. 2017. *Size Matters? Evaluating the drivers of waste from ships at ports in Europe.* Transportation Research Part D 57. 403-412.

Polglaze, J. 2003. *Can we always ignore ship-generated food waste?* Mar. Pollut. Bull. 46 (1). 33-38.

Port Authority of New South Wales. 2017. *Green Port Guidelines: Sustainable strategies for port development and operations.* Port Authority of New South Wales, Australia.

Pressley, P.N., Levis, J. Damgaard, A., Barlaz, M. 2014. *Analysis of material recovery facilities for use in life-cycle assessment.* Waste Management. 35.

Psarafitis, H., Kontovas, C. 2010. *Balancing the economic and environmental performance of maritime transportation.* Transportation Research Part D 15. 458–462.

PT Pelabuhan Indonesia III (Persero). Surabaya: PELINDO III. <https://www.pelindo.co.id/id/port-terminal/tanjung-perak>

Puig, M., Wooldridge, C., Darbra, R.M., 2014. *Identification and selection of Environmental Performance Indicators for sustainable port development.* Mar. Poll. Bull. 81, 124- 130.

Regional Marine Pollution Emergency Response Centre for the Mediterranean Sea (REMPEC). 2004. *Assessment of the existing situation and needs of Albania, Croatia and Slovenia regarding port reception facilities for collecting shipgenerated garbage, bilge water and oily wastes.* Activity 1.Final report.

- Rahim, I.R., Selintung, M. 2016. *Studi karakteristik limbah padat domestik di Kota Makassar: Studi kasus Perumahan Bougenville Panakukang Mas*. Jurnal Penelitian Enjiniring (JPE), Fakultas Teknik Universitas Hasanuddin. Vol. 2. No. 2.
- Satir, T., Dogan-Saglamtimur, N. 2018. *The Protection of Marine Aquatic Life: Green Port (EcoPort) Model inspired by Green Port Concept in Selected Ports from Turkey, Europe and the USA*. Periodicals of Engineering and Natural Sciences (PEN). 6. 120.
- Sianipar, M.B., Mandei, J.R., Katiandagho, T.M. 2016. *Analisis break even poin penjualan pupuk kompos toar organik fertilizer di Kakaskasen Kota Tomohon*. Agri-Sosioekonomi. Vol. 12. No. 12a.
- Society of Naval Architects & Marine Engineers. 1982. *Transactions of The Society of Naval Architects and Marine Engineers*. SNAME. Vol. 90.
- Svaetichin, I., 2016a. *Cruise ship generated waste in the Baltic Sea – A study from the port's point of view on a possible waste management system*. Tesis S-2. University of Helsinki, Finlandia.
- Sweeting, J.E.N., Wayne, S.L. 2003. *A shifting tide: Environmental challenges and cruise industry responses*. Interim Summary Report, The Centre for Environmental Leadership in Business, Conservation International, Washington, DC.
- Sydney Ports Corporation. 2006. *Green Port Guidelines*. New South Wales: Sydney Ports Corporation.
- To, N.T., Kato, T., 2015. *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 19 (2017). 988-998.
- Ujile, A.A. *Technique of municipal waste management in Port Harcourt, Rivers State, Nigeria*. Journal of Solid Waste & Technology Management, hal. 473-482.

- Ulniković, V.P. & Vukić, M., Heinemann R.J., Antonović, D. 2011. *Ship waste quantities prediction model for the port of Belgrade*. Chemical Industry and Chemical Engineering Quarterly 17 (2).
- Ulniković, V.P., Vukić, M., Nikolić, R. 2012. *Assessment of vessel-generated waste quantities on the inland waterways of the Republic of Serbia*. Journal of Environmental Management 97. 97–101.
- US Environmental Protection Agency. 2000. *Analysis of Commercial Marine Vessels Emissions and Fuel Consumption Data*, United States Environmental Protection Agency, Washington, D.C., Amerika Serikat
- Vaneckhaute, C., Fazli, A., 2019. *Management of ship-generated food waste and sewage on the Baltic Sea: A review*. Waste Management 102 (2020), hal. 12-30.
- Wallace, B; Coe, J. M. 1998. *Guidelines for the Provision of Garbage Reception Facilities at Ports Under MARPOL Annex V*. NOAA Technical Report NMFS 136
- Wang, L., Wang, N. 2007. *The Interaction Development between Port Cluster and City Based on Green Conception*. In Proceedings of the International Conference on Transportation Engineering (ICTE), Chengdu, China, July 22–24, 2007. 1873–1878.
- Wilewska-Bien, M., Anderson, K.E., Granhag, L.M., 2016, 2017, 2018. *Pathways to reduction and efficient handling of food waste on passenger ships: from Baltic Sea perspective*. Environment, Development & Sustainability.
- Wooldridge, C.F., Wakeman, T.H., Theofanis, S. 2008. *Green ports and green ships*. In Intelligent Freight Transportation, Ionnou, P.A., Ed., CRC Press: Boca Raton, Florida, Amerika Serikat. 285-312.
- Zakri, Y. 2009. *Teknik penanganan limbah padat di atas kapal kargo*. Tesis Program Pascasarjana. Universitas Hasanuddin. Makassar, Indonesia.

LAMPIRAN

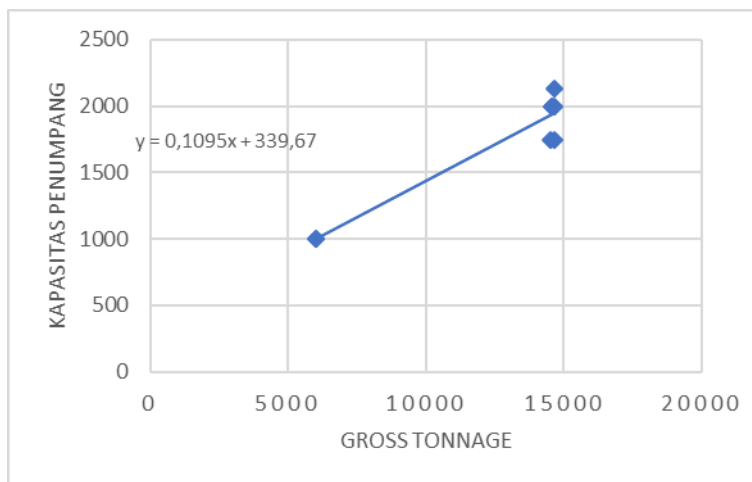
Lampiran 1: Penentuan kapasitas kapal acuan

Kapasitas kapal penumpang

Penentuan jumlah penumpang dilakukan dengan menggunakan pendekatan yang berdasarkan pada perkiraan kapasitas jumlah kapal penumpang yang ada, yang kemudian diinterpolasikan berdasarkan GT dan jumlah penumpang.

Data kapal penumpang

Nama kapal	Ukuran (GT)	Kapasitas (orang)	Tipe
KM Bukit Siguntang	14.643	2.000	Kapal penumpang
KM Umsini	14.501	1.750	Kapal penumpang
KM Bukit Raya	6.022	1.000	Kapal penumpang
KM Kelud	14.665	1.750	Kapal penumpang
KM Dorolonda	14.685	2.130	Kapal penumpang
KM Ciremai	14.581	2.000	Kapal penumpang
KM Dobonsolo	14.581	2.000	Kapal penumpang
KM Kelimutu	6.022	1.000	Kapal penumpang

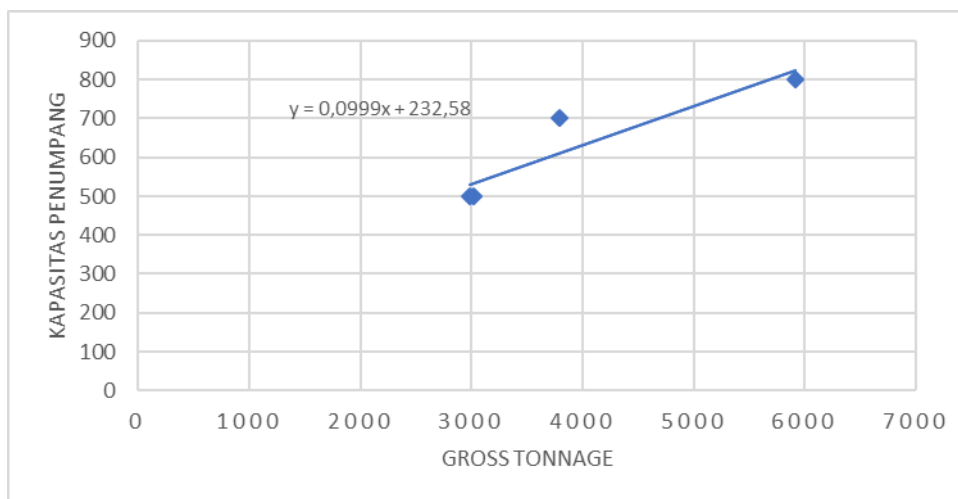


Regresi GT dengan kapasitas penumpang

Berdasarkan grafik di atas, nilainya diregresikan, lalu didapatkan kapasitas penumpang = $(0,1095 \times \text{GT kapal}) + 339,67$ untuk kapal penumpang tipe *passenger ship*.

Data kapal penumpang

Nama kapal	Ukuran (GT)	Kapasitas (orang)	Tipe
KMP Cattleya Express	3.017	500	Ro-ro
KMP Pantokrator	5.930	800	Ro-ro
KMP Queen Soya	2.983	500	Ro-ro
KMP Wira Victoria	3.792	700	Ro-ro



Regresi GT dengan kapasitas penumpang

Berdasarkan tabel di atas, nilainya diregresikan, lalu didapatkan kapasitas penumpang = $(0,0999 \times \text{GT kapal}) + 232,58$ untuk kapal penumpang tipe ro-ro.

Kapasitas kapal kargo

Penentuan jumlah kru di kapal didasarkan pada Keputusan Menteri Nomor 70 tahun 1998 yang mengklasifikasikan jumlah kru di kapal kargo/niaga berdasarkan besarnya ukuran GT.

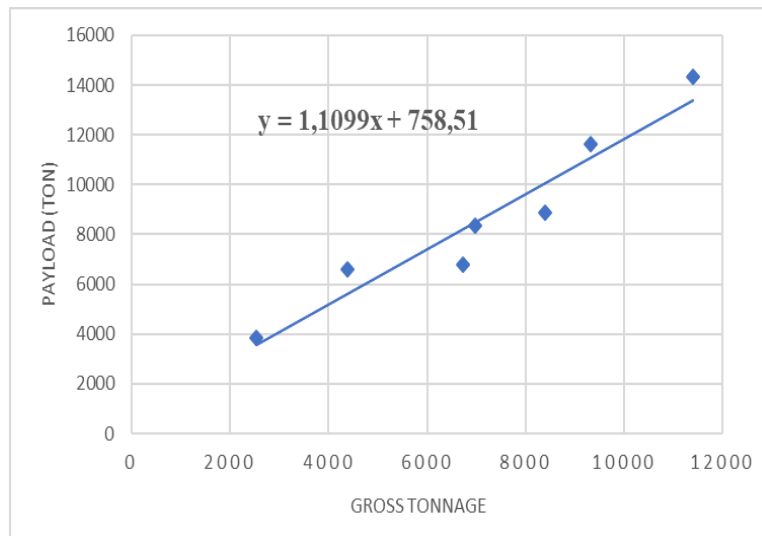
Jumlah kru berdasarkan tonase kapal

Ukuran kapal (GT)	Jumlah kru
500 s/d <1.500	8
1.500 s/d <3.000	19
3.000 s/d <10.000	21
>10.000	22

Pendekatan jumlah muatan (*payload*) per tonase kargo dilakukan dengan data dari beberapa kapal berdasarkan *sample design* yang ada.

Jumlah muatan berdasarkan tonase kapal

Ukuran kapal (GT)	Tipe kapal	Muatan (Ton)
4.373	General dargo	6.609
2.525	Bulk carrier	3.867
6.982	General cargo	8.372
9.327	General cargo	11.652
6.724	Bulk carrier	6.804
11.396	General cargo	14.317
8.387	Bulk carrier	8.865



Regresi GT dengan muatan (*payload*)

Berdasarkan tabel di atas, nilainya diregresikan, lalu didapatkan muatan (*payload*) = (1,1099 x GT kapal) + 758,51.

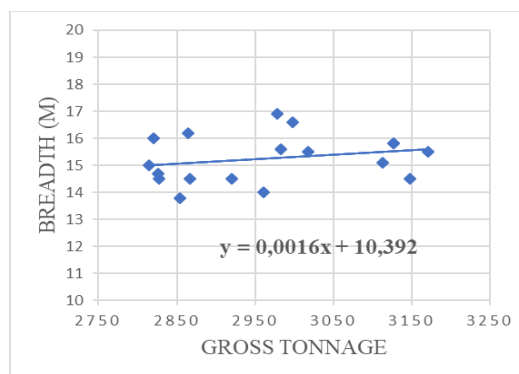
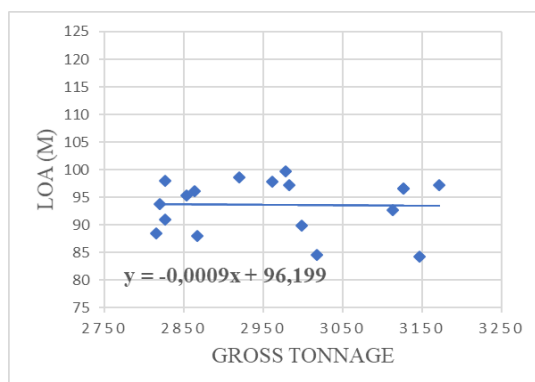
Lampiran 2: Penentuan kapasitas Terminal Jamrud

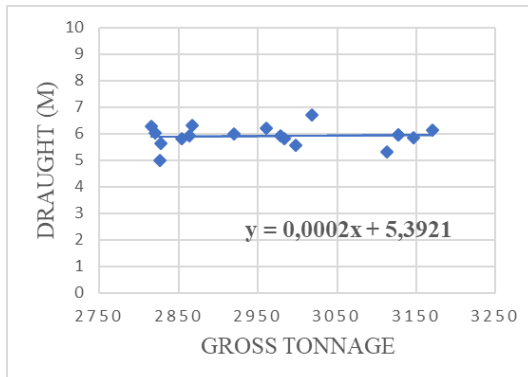
Regresi Ukuran kapal

Kapal niaga 3000 GT

Nama kapal	Tipe kapal	Gros tonase	Loa (m)	B (m)	T (m)
Anugrah Buana – VII	General cargo	2.961	97,8	14	6.2
Baruna Maju	General cargo	2.920	98,6	14,5	6
Berlian Indah	General cargo	2.864	96,04	16,2	5,93
Budi Mulia 69	General cargo	2.827	98	14,5	5,65
Fajar Mas	General cargo	3.018	84,5	15,5	6,72
Galatia 05	General cargo	2.854	95,3	13,8	5,8
Guhi Mas	General cargo	3.127	96,5	15,8	5,95
Harapan Sejati	General cargo	3.171	97,17	15,5	6,15
Hasil Bahari 8	General cargo	2.983	97,18	15,6	5,8
Intan Daya - 9	General cargo	2.998	89,8	16,6	5,58
Johan Fortune	General cargo	2.978	99,68	16,9	5,91
Lagun Mas	General cargo	3.127	96,5	15,8	5,95
Menang Jaya	General cargo	2.867	88	14,5	6,3
Multi Spirit	General cargo	2.826	91	14,7	5
Odyssey	General cargo	2.820	93,7	16	6,03
Pacific 88	General cargo	2.815	88,4	15	6,29
Pul Mandiri	General cargo	3.147	84,24	14,5	5,85
Serenity - 09	General cargo	3.113	92,7	15,1	5,31

Sumber: BKI





$$Loa = 96,199 - (0,0009 \times 3.000) = 93,499 \text{ m}$$

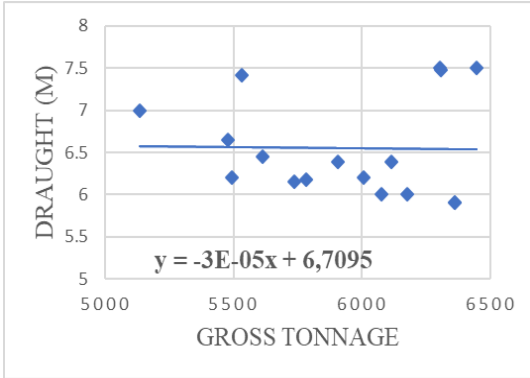
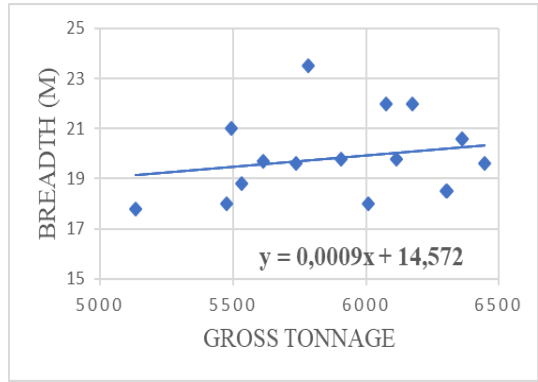
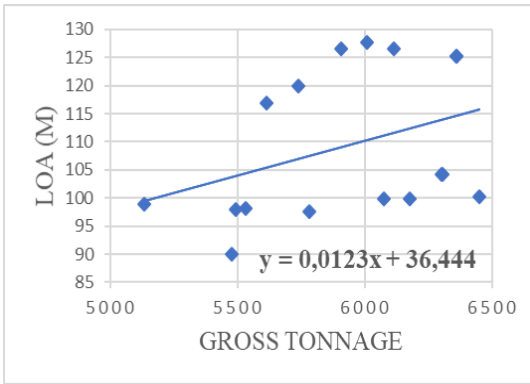
$$Breadth = (0,0016 \times 3.000) + 10,392 = 15,192 \text{ m}$$

$$Draught = (0,0002 \times 3.000) + 5,3921 = 5,992 \text{ m}$$

Kapal niaga 6.000 GT

Nama kapal	Tipe kapal	Gros tonase	Loa (m)	B (m)	T (m)
Asike Global	General cargo	5.477	89,95	18	6,65
CTP. Honour	General cargo	5.906	126,5	19,8	6,39
CTP. Innovation	General cargo	6.114	126,65	19,8	6,39
Felya	General cargo	6.306	104,15	18,5	7,48
Georgia Sejahtera	General cargo	5.532	98,17	18,8	7,42
Intan Daya – 10	General cargo	5.782	97,5	23,5	6,18
Intan Daya 12	General cargo	5.492	98	21	6,2
Intan Daya 22	General cargo	6.175	99,8	22	6
Intan Daya 32	General cargo	6.075	99,8	22	6
Kuala Mas	General cargo	6.007	127,73	18	6,2
Meratus Kendari 1	General cargo	5.737	120	19,6	6,15
Meratus Palembang	General cargo	5.612	117	19,7	6,45
Simore	General cargo	5.133	98,95	17,8	7
Sombar	General cargo	6.302	104,15	18,5	7,5
Spirit Sejati	General cargo	6.448	100,33	19,6	7,5
Tanto Sakti I	General cargo	6.361	125,3	20,6	5,9
Tanto Sakti II	General cargo	6.361	125,3	20,6	5,9

Sumber: Registrasi Kapal BKI dan NK



$$Loa = (0,0123 \times 6.000) + 36,444 = 110,244 \text{ m}$$

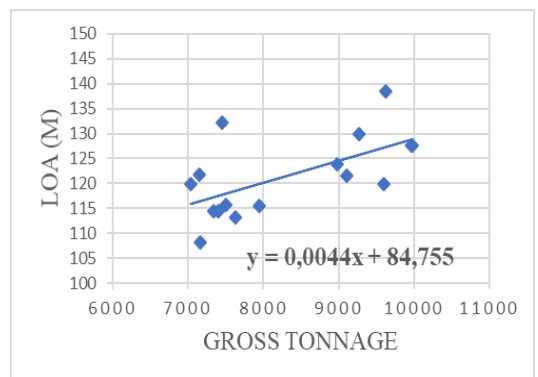
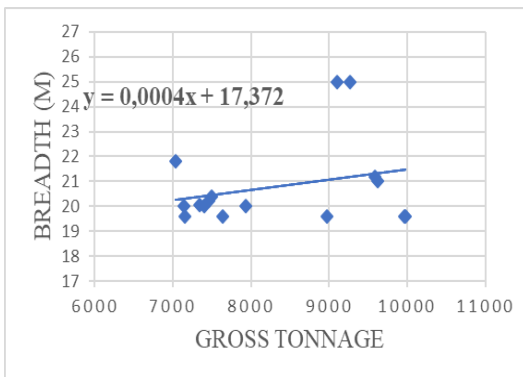
$$Breadth = (0,0009 \times 6.000) + 14,572 = 19,972 \text{ m}$$

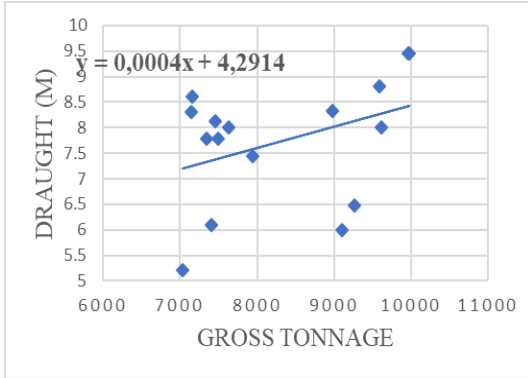
$$Draught = (0,00003 \times 6.000) + 6,7095 = 6,53 \text{ m}$$

Kapal Niaga 9.000 GT

Nama kapal	Tipe kapal	Gros tonase	Loa (m)	B (m)	T (m)
Apollo Leader	<i>General cargo</i>	8.974	123,83	19,6	8,33
Apollo Miyo	<i>General cargo</i>	7.156	108,22	19,6	8,6
Bari Gold	<i>General cargo</i>	9.979	127,67	19,6	9,46
Bayani	<i>General cargo</i>	9.593	119,9	21,2	8,81
BBC Campana	<i>Bulk carrier</i>	9.618	138,5	21	8
Bright Coral	<i>General cargo</i>	9.965	127,67	19,6	9,46
Ardhianto	<i>General cargo</i>	7.633	113,22	19,6	8
CC Sejati	<i>General cargo</i>	7.937	115,4	20	7,45
Hijau Terang	<i>General cargo</i>	7.455	132,3	20,2	8,13
Intan Daya 228	<i>General cargo</i>	9.269	129,8	25	6,47
Intan Daya 368	<i>General cargo</i>	9.099	121,5	25	6
Jales Mas	<i>General cargo</i>	7.032	119,9	21,8	5,2
Abusamah	<i>Bulk carrier</i>	7.497	115,7	20,4	7,78
Isa Winter	<i>Bulk carrier</i>	7.145	121,8	20	8,3
Pusri Indonesia	<i>Bulk carrier</i>	7.339	114,5	20,04	7,78
Soemantri Brodjo	<i>Bulk carrier</i>	7.404	114,5	20	6,09

Sumber: Registrasi Kapal BKI dan NK





$$Loa = (0,0044 \times 9.000) + 84,755 = 124,355 \text{ m}$$

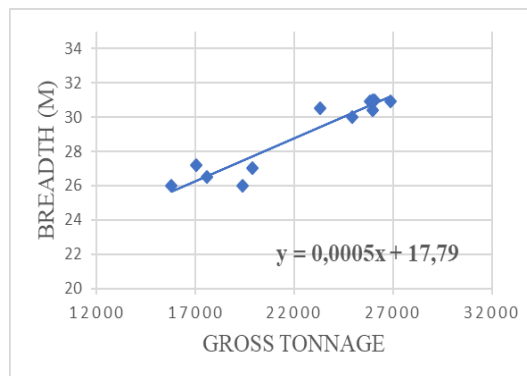
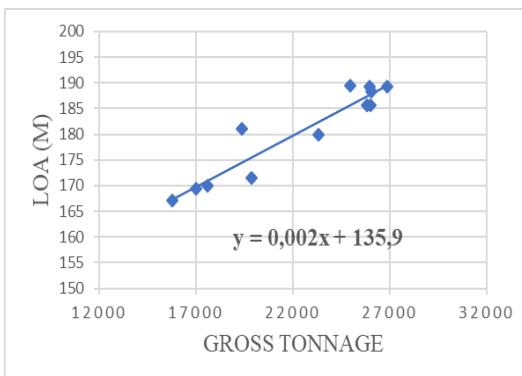
$$Breadth = (0,0004 \times 9.000) + 17,372 = 20,972 \text{ m}$$

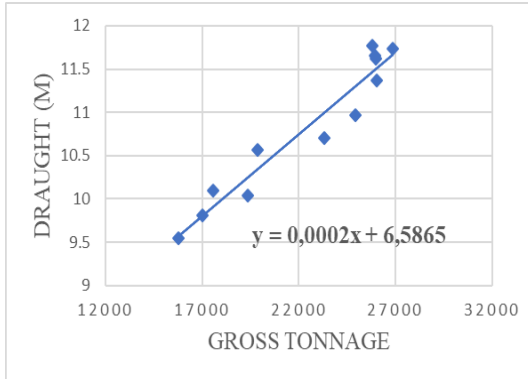
$$Draught = (0,0004 \times 6.000) + 4,2914 = 7,892 \text{ m}$$

Kapal niaga 12.000 GT

Nama kapal	Tipe kapal	Gros tonase	Loa (m)	B (m)	T (m)
Admiralty Spirit	<i>General cargo</i>	19.883	171,6	27	10,57
Africa Flory	<i>General cargo</i>	19.357	181	26	10,04
Africa Pride	<i>General cargo</i>	17.590	170	26,5	10,1
Intan Baruna	<i>Bulk arrier</i>	17.019	169,37	27,2	9,81
Isa Lucky	<i>Bulk arrier</i>	15.763	167,2	26	9,54
Berkah 99	<i>Bulk arrier</i>	26.850	189,33	30,95	11,73
DK 02	<i>Bulk arrier</i>	25.807	185,73	30,95	11,77
KT 05	<i>Bulk arrier</i>	25.982	185,74	30,4	11,62
KT 06	<i>Bulk arrier</i>	25.943	189,33	31	11,66
Lumoso Permai	<i>Bulk arrier</i>	26.040	188,33	31	11,37
Andhika Kalyani	<i>Bulk arrier</i>	23.300	179,99	30,5	10,7
Azzahra	<i>Bulk arrier</i>	24.943	189,5	30	10,97

Sumber: Registrasi Kapal BKI dan NK





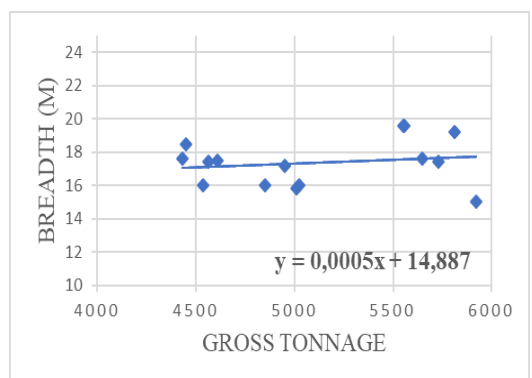
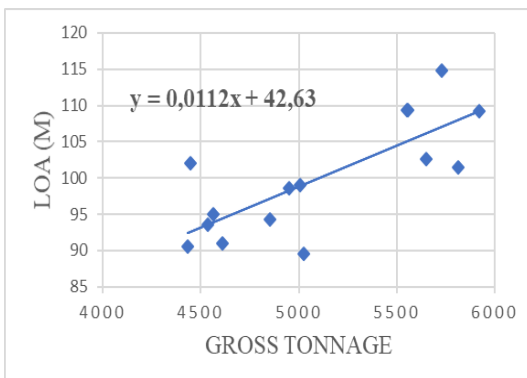
$$\text{Loa} = (0,002 \times 12.000) + 135,9 = 159,9 \text{ m}$$

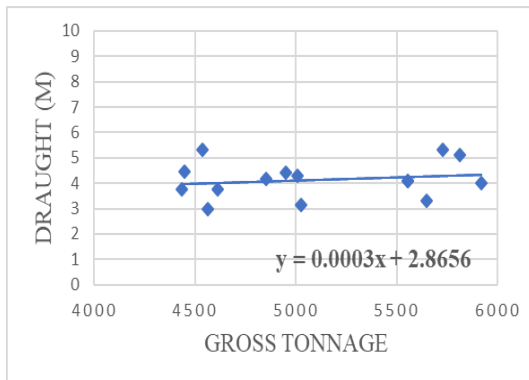
$$\text{Breadth} = (0,0005 \times 12.000) + 17,79 = 23,79 \text{ m}$$

$$\text{Draught} = (0,0002 \times 12.000) + 6,5865 = 8,987 \text{ m}$$

Kapal penumpang 5.000 GT

Nama kapal	Tipe kapal	Gros tonase	Loa (m)	B (m)	T (m)
Pantokrator	Passenger ferry	5.920	109,2	15	4
Wira Kencana	Passenger ferry	5.648	102,6	17,6	3,3
Legundi	Passenger ferry	5.556	109,4	19,6	4,1
Batu Mandi	Passenger ferry	5.553	109,4	19,6	4,1
Farina Nusantara	Passenger ferry	5.025	89,58	16	3,16
Suki 2	Passenger ferry	5.008	99,01	15,8	4,3
Elysia	Passenger ferry	4.949	98,63	17,2	4,43
Jetliner	Passenger ferry	4.563	95	17,4	3
Swarna Bahtera	Passenger ferry	4.538	93,6	16	5,31
Mitra Nusantara	Passenger car ferry	5.813	101,5	19,2	5,11
Nusa Agung	Passenger car ferry	5.730	114,85	17,4	5,31
Egon	Passenger car ferry	4.851	94,3	16	4,16
Raja Basi – I	Passenger car ferry	4.611	91	17,5	3,75
SMS Kertanegara	Passenger car ferry	4.449	102	18,45	4,45
HM Baruna I	Passenger car ferry	4.432	90,6	17,6	3,75





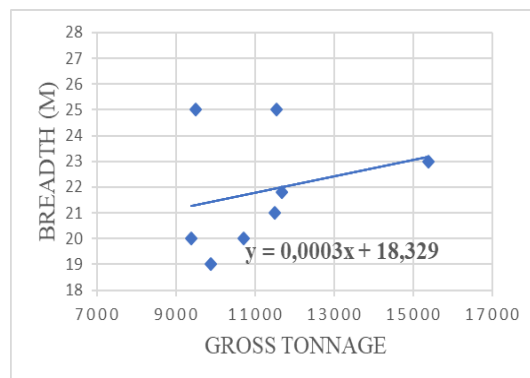
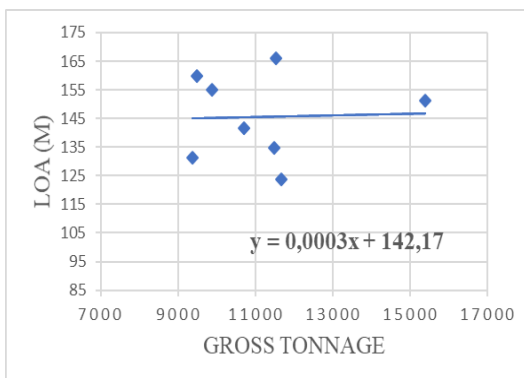
$$Loa = (0,0112 \times 5.000) + 42,63 = 98,63 \text{ m}$$

$$Breadth = (0,0005 \times 5.000) + 14,887 = 17,387 \text{ m}$$

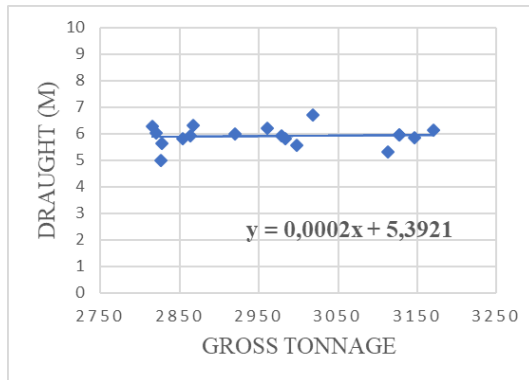
$$Draught = (0,0003 \times 12.000) + 2,8656 = 4,366 \text{ m}$$

Kapal penumpang 10.500 GT

Nama kapal	Tipe kapal	Gros tonase	Loa (m)	B (m)	T (m)
Dharma Rucitra 1	<i>Passenger ferry</i>	11.479	134,6	21	5,7
Mutiara Persada III	<i>Passenger ferry</i>	15.380	151,13	23	6,38
Mutiara Timur I	<i>Passenger ferry</i>	11.523	166	25	6,15
Dharma Kartika IX	<i>Passenger ferry</i>	9.865	155,04	19	5,8
Mutiara Sentosa II	<i>Passenger ferry</i>	9.479	160	25	6
Santika Nusantara	<i>Passenger car ferry</i>	10.707	141,75	20	5,98
Satya Kencana IX	<i>Passenger car ferry</i>	11.657	123,83	21,8	6,01
Niki Sejahtera	<i>Passenger car ferry</i>	9.365	131,16	20	6



$$Loa = (0,0003 \times 10.500) + 142,17 = 145,32 \text{ m}$$



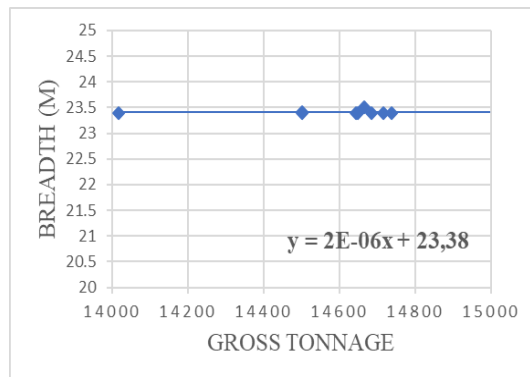
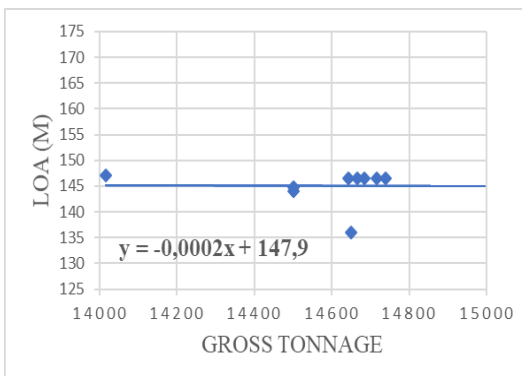
$$\text{Breadth} = (0,0003 \times 10.500) + 18,329 = 21,479 \text{ m}$$

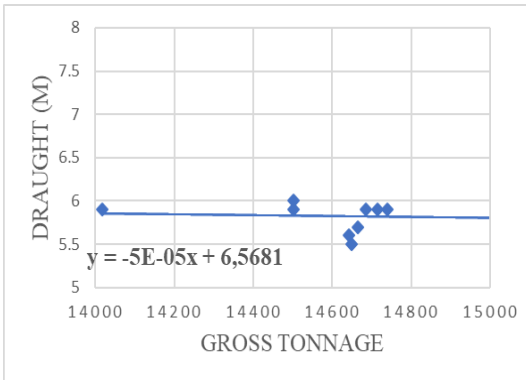
$$\text{Draught} = (0,00007 \times 10.500) + 5,2198 = 5,955 \text{ m}$$

Kapal penumpang 14.500 GT

Nama kapal	Tipe kapal	Gros Tonase	Loa (m)	B (m)	T (m)
Bukit Siguntang	Passenger ship	14.643	146,5	23,4	5,6
Dorolonda	Passenger ship	14.685	146,5	23,4	5,9
Gunung Dempo	Passenger ship	14.017	147	23,4	5,9
Kelud	Passenger ship	14.665	146,5	23,5	5,7
Labobar	Passenger ship	15.136	146,3	23,4	5,9
Lambelu	Passenger ship	14.649	136,03	23,4	5,5
Nggapulu	Passenger ship	14.739	146,5	23,4	5,9
Sinabung	Passenger ship	14.716	146,5	23,4	5,9
Tidar	Passenger ship	14.501	144	23,4	5,9
Umsini	Passenger ship	14.501	144,8	23,42	6

Sumber: Registrasi Kapal BKI





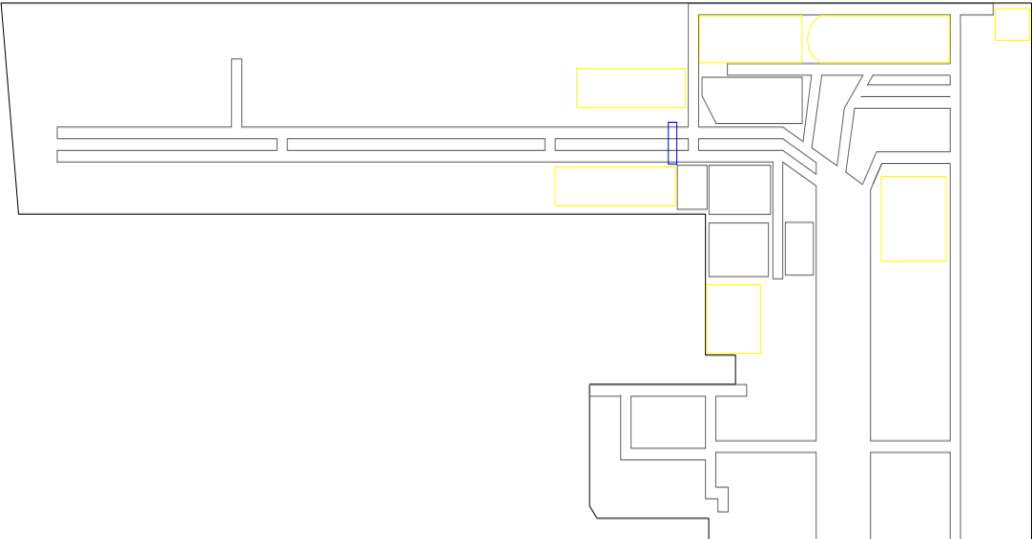
$$Loa = 147,9 - (0,0002 \times 14.500) = 145 \text{ m}$$

$$Breadth = (0,000002 \times 14.500) + 23,38 = 23,409 \text{ m}$$

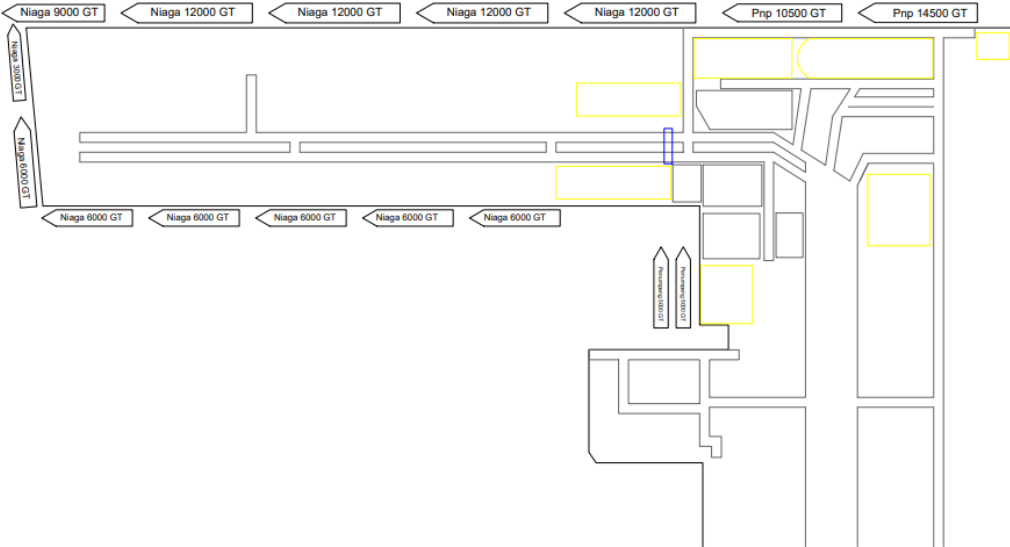
$$Draught = 6,5681 - (0,00005 \times 14.500) = 5,843 \text{ m}$$

Tata letak (*layout*) skenario penempatan kapal di Terminal Jamrud

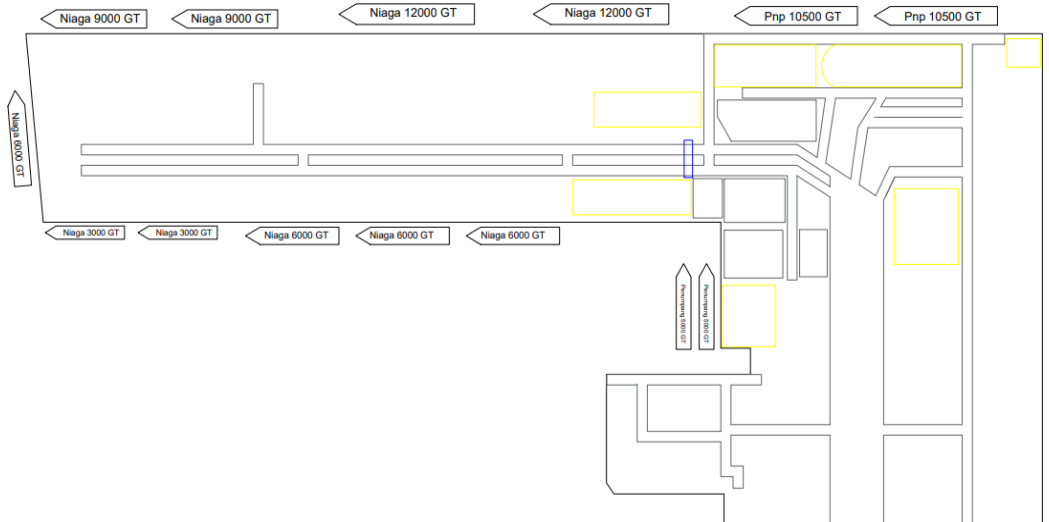
Tata letak (layout) Terminal Jamrud Surabaya



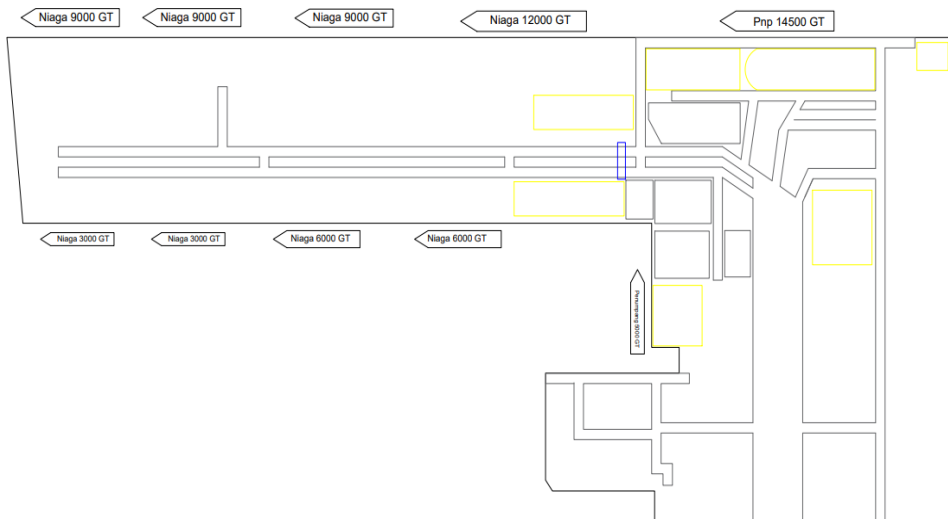
Skenario tinggi



Skenario sedang



Skenario rendah



Lampiran 3: Penentuan data kapal
Waktu kedatangan dan keberangkatan kapal

Kedatangan (*Arrival*)

Tanggal	Nama kapal	Tipe kapal	ATA (UTC)
6 Mei 2020	Dharma Rucitra VII	Ro-ro	9:05
6 Mei 2020	Niki Sejahtera	Ro-ro	18:21
7 Mei 2020	Satya Kencana III	<i>Passenger ship</i>	14:25
7 Mei 2020	Kirana IX	<i>Passenger ship</i>	12:24
7 Mei 2020	Mila Utama	<i>Passenger car ferry</i>	9:05
8 Mei 2020	Niki Sae	Ro-ro	2:41
8 Mei 2020	KMP DLN Oasis	<i>Passenger ship</i>	11:38
8 Mei 2020	Mutiara Ferindo I	Ro-ro	10:04
8 Mei 2020	Megah Pratiwi	Ro-ro	14:49
9 Mei 2020	KMP Legundi	Ro-ro	2:05
9 Mei 2020	Dharma Kartika IX	Ro-ro	2:10
9 Mei 2020	Dharma Rucitra VII	<i>Passenger car ferry</i>	22:01
9 Mei 2020	Ciremai	<i>Passenger ship</i>	13:17
9 Mei 2020	Mila Utama	<i>Passenger car ferry</i>	8:53
10 Mei 2020	Niki Sae	Ro-ro	12:49
10 Mei 2020	Kirana I	Ro-ro	9:27
10 Mei 2020	KMP DLN Oasis	<i>Passenger ship</i>	14:26
10 Mei 2020	Kirana IX	Ro-ro	18:37
11 Mei 2020	Niki Sejahtera	Ro-ro	17:13

Sumber: Marinetraffic

Keberangkatan (*Departure*)

Tanggal	Nama Kapal	Tipe	GT	ATD (UTC)	Lama Singgah
6 Mei 2020	Mutiara Sentosa II	Ro-ro	9.479	22:39	5j 58m
7 Mei 2020	Niki Sejahtera	Ro-ro	5.109	4:51	10j 30m
7 Mei 2020	Kirana I	<i>Passenger ship</i>	2.326	7:17	10j 5m
7 Mei 2020	Dharma Rucitra VII	<i>Passenger car ferry</i>	16.164	1:28	16j 23m
8 Mei 2020	Mila Utama	Ro-ro	10.833	0:57	15j 52m
8 Mei 2020	Kirana IX	<i>Passenger car ferry</i>	9.168	1:54	13j 30
8 Mei 2020	Niki Sae	<i>Passenger ferry</i>	3.664	14:22	11j 41m
8 Mei 2020	KMP DLN Oasis	<i>Passenger fhip</i>	9.170	17:21	5j 43m
9 Mei 2020	Mutiara Ferindo V	Ro-ro	16.000	1:35	8j 14m
9 Mei 2020	Mutiara Ferindo I	Ro-ro	11.114	4:07	18j 3m
9 Mei 2020	Mila Utama	<i>Passenger car ferry</i>	10.833	17:49	8j 56m
9 Mei 2020	Ciremai	<i>Passenger ship</i>	14.581	18:46	5j 29m
10 Mei 2020	Dharma Rucitra VII	<i>Passenger car ferry</i>	16.164	2:29	4j 28m
10 Mei 2020	Niki Sae	Ro-ro	1.505	18:35	5j 46m
10 Mei 2020	KMP DLN Oasis	<i>Passenger ship</i>	9.170	18:46	4j 20m
11 Mei 2020	Sabuk Nusantara 92	Ro-ro	1.200	10:42	3j 25m
11 Mei 2020	Kirana IX	Ro-ro	9.168	16:30	21j 53m
11 Mei 2020	Megah Pratiwi	Ro-ro	9.168	17:12	22j 36m
11 Mei 2020	Kirana I	Ro-ro	2.326	0:04	14j 37m
11 Mei 2020	KMP DLN Oasis	<i>Passenger ship</i>	9.170	20:44	30j 18m
12 Mei 2020	Niki Sejahtera	Ro-ro	5.109	3:22	10j 9m

Sumber: Marinetraffic

Lama pelayaran kapal

Kapal niaga domestik

Nama kapal	Tipe	GT	Pelabuhan asal	Waktu berangkat (UTC)	Waktu tiba di Surabaya (UTC)	Lama lelayaran
Meratus Karimata	<i>Container ship</i>	6.691	Samarinda	5 Mei 23:08	8 Mei 01:05	2h 2j
Meratus Batam	<i>Container ship</i>	9.991	Kupang	5 Mei 12:31	8 Mei 7:51	2h 19j
Tanto Subur II	<i>Container ship</i>	4.811	Kariangau	5 Mei 18:50	8 Mei 21:20	3h 3j
Hongkong Bridge	<i>Container ship</i>	39.941	Jakarta	7 Mei 16:00	8 Mei 22:54	1h 7j
Meratus Ultima 2	<i>General cargo</i>	4.896	Banjarmasin	5 Mei 20:16	8 Mei 17:21	2h 21j
MSC Imma	<i>Container ship</i>	30.495	Jakarta	6 Mei 06:30	8 Mei 10:06	2h 4j
Meratus Sabang	<i>General cargo</i>	3.256	Benoa	6 Mei 09:02	8 Mei 11:29	2h 2j
Feng Yuan	<i>General cargo</i>	1.321	Kendari	5 Mei 12:14	8 Mei 19:44	3h 8j
Haydn	<i>Container ship</i>	27.786	Semarang	8 Mei 02:09	9 Mei 08:18	1h 6j
Sinar Belawan	<i>Container ship</i>	11.999	Jayapura	4 Mei 05:41	9 Mei 11:41	5h 6j
Mentari Nusantara	<i>General cargo</i>	2.968	Ternate	8 Januari 04:32	18 Januari 16:22	10h 12j
Sungai Mas	<i>Container ship</i>	2.5947	Jakarta	7 Mei 02:08	9 Mei 15:29	2h 13j
Kisik Mas	<i>Container ship</i>	4.990	Wasior	30 April 11:10	9 Mei 15:31	9h 4j
Mentari Crystal	<i>General cargo</i>	2.725	Tobelo	29 April 05:13	7 Mei 22:32	8h 17j
Tanto Sejahtera	<i>Container ship</i>	10.461	Jakarta	2 Mei 21:04	6 Mei 21:32	4h
Meratus Ultima 1	<i>General cargo</i>	4.896	Kariangau	26 Januari 21:22	5 Februari 00:07	9h 3j
Tanto Keluarga	<i>General cargo</i>	6.812	Samarinda	25 Januari 10:40	29 Januari 05:44	3h 19j
Pulau Hoki	<i>Container ship</i>	6.285	Merauke	22 Januari 00:03	30 Januari 18:17	8h 18j
Pulau Hoki	<i>Container ship</i>	6.285	Banjarmasin	3 Februari 02:18	4 Februari 05:16	1h 3j
Curug Mas	<i>Container ship</i>	4.990	Sorong	30 Januari 22:26	6 Februari 02:09	6h 4j
Fortune Island	<i>General cargo</i>	4.736	Jakarta	8 Mei 01:51	10 Mei 23:28	2h 22j
Sari Indah	<i>Bulk carrier</i>	48.065	Jakarta	9 Mei 09:42	10 Mei 23:29	1h 14j
SPIL Nita	<i>Container ship</i>	25.371	Jakarta	8 Mei 18:17	10 Mei 06:51	1h 13j
Armada Serasi	<i>Container ship</i>	5.320	Biak	3 Mei 09:17	10 Mei 09:45	7h
Intan Daya 272	<i>General cargo</i>	8.666	Bahudopi	5 Mei 06:11	11 Mei 00:48	5h 19j
Mentari Express	<i>General cargo</i>	2.993	Ende	5 Mei 16:30	11 Mei 04:56	5h 12j

Meratus Kupang	<i>General cargo</i>	8.170	Tarakan	4 Mei 17:50	11 Mei 12:47	6h 19j
Tanto Raya	<i>Container ship</i>	6.867	Tobelo	5 Mei 09:32	11 Mei 18:29	6h 8j
Mount Gough	<i>Container ship</i>	18.870	Semarang	10 Mei 21:18	11 Mei 23:22	1h 2j
Tanto Horas	<i>General cargo</i>	3.666	Banjarmasin	8 Mei 23:32	12 Mei 00:52	3h 1j
Sinar Ambon	<i>Container ship</i>	3.430	Makassar	9 Mei 19:47	12 Mei 01:15	2h 5j
Tanto Sepakat	<i>General cargo</i>	4.460	Luwuk	6 Mei 22:47	12 Mei 02:23	5h 3j
Icon Corintus	<i>Container ship</i>	4.038	Pontianak	9 Mei 10:12	12 Mei 02:55	2h 16j

Sumber: Marinetraffic

Kapal niaga internasional

Nama kapal	Tipe	GT	Pelabuhan asal	Waktu berangkat (UTC)	Waktu tiba di Surabaya (UTC)	Lama pelayaran
Navios Verde	<i>Container ship</i>	39.906	Singapura	5 Mei 07:13	8 Mei 21:13	3h 14j
Qian Kun	<i>General cargo</i>	24.112	Singapura	4 Mei 06:14	6 Mei 22:22	2h 16j
Neptune	<i>Bulk carrier</i>	20.867	Sriracha	3 Mei 02:41	11 Mei 00:46	7h 22j
Ocean Mercy	<i>General cargo</i>	6.269	Tutucorin	21 April 17:25	8 Mei 09:11	16h 16j
African Hawk	<i>Bulk carrier</i>	17.944	Kandla	23 April 02:33	7 Mei 22:37	14h 20j
BBC Emsland	<i>General cargo</i>	7.878	Minhang	25 April 01:12	8 Mei 02:08	13h 1j
Ever Being	<i>Containership</i>	30.000	Kaohsiung	5 Mei 21:57	10 Mei 14:03	4h 16j
Navios Destiny	<i>Container ship</i>	39.906	Singapura	1 Mei 22:42	5 Mei 13:24	3h 15j
Meratus Dili	<i>General cargo</i>	5.296	Dili	30 April 08:23	10 Mei 06:31	9h 22j
Ocean Thyme	<i>Bulk carrier</i>	44.543	Rio Grande	3 April 20:37	9 Mei 02:25	5h 6j

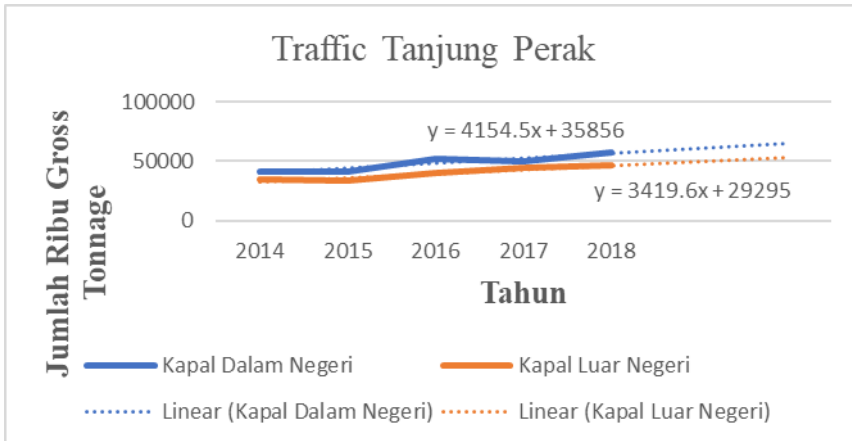
Sumber: Marinetraffic

Kapal Penumpang

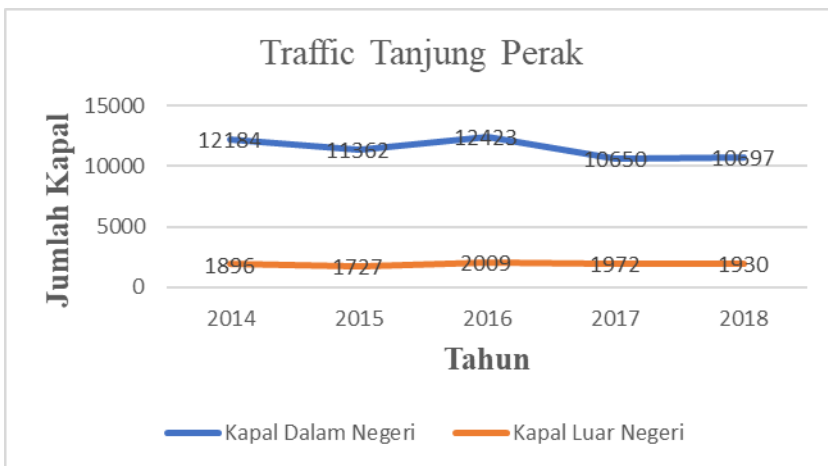
Nama kapal	Tipe	GT	Pelabuhan asal	Waktu berangkat (UTC)	Waktu tiba di Surabaya (UTC)	Lama pelayara
KLM Panda	<i>Passenger ship</i>		Bima	5 May 03:07	10 May 05:29	5d 2h
Mutiara Sentosa	Ro-ro	9.479	Makassar	2 Februari 13:07	4 Februari 14:03	2h 1j
Kirana I	Ro-ro	2.326	Banjarmasin	7 Maret 07:44	8 Maret 04:18	20h 34m
Kirana I	Ro-ro	2.326	Banjarmasin	9 Maret 18:44	10 Maret 15:44	21j
Mila Utama	Ro-ro	10.833	Banjarmasin	3 Februari 10:18	4 Februari 09:46	23j 28m
Niki Sejahtera	Ro-ro	5.109	Ende	10 Mei 05:38	11 Mei 17:13	1h 12j
Megah Pratiwi	Ro-ro	9.168	Banjarmasin	9 Mei 21:33	10 Mei 18:36	21j 3m
Kirana IX	Ro-ro	9167	Banjarmasin	9 Mei 22:37	10 Mei 18:37	20j
Ciremai	<i>Passenger ship</i>	14.581	Jakarta	8 Mei 09:29	9 Mei 13:17	1h 4j
Dharma Ferry VII	Ro-ro	12.415	Balikpapan	27 Januari 23:33	29 Januari 10:42	1h 11j
Dharma Kartika IX	Ro-ro	6.801	Banjarmasin	8 Mei 06:16	9 Mei 02:10	19j 54m
Niki Barokah	Ro-ro	3.869	Banjarmasin	8 Mei 10:32	9 Mei 07:02	20j 30m
KMP DLN Oasis	<i>Passenger ship</i>	9.170	Lembar	7 Mei 16:13	8 Mei 11:38	19j 25m
Megah Pratiwi	Ro-ro	9.168	Banjarmasin	6 Mei 16:06	8 Mei 14:49	1h 22j
Niki Sae	Ro-ro	1.505	Banjarmasin	7 Mei 07:32	8 Mei 02:41	19j 9m
Mutiara Ferindo V	Ro-ro	16.000	Banjarmasin	6 Mei 06:12	8 Mei 17:21	2h 11j

Sumber: Marinetrans

Lampiran 4: Trafik di Terminal Jamrud



Grafik Tren Peningkatan Jumlah GT di Tanjung Perak
 Sumber: Badan Pusat Statistik



Trafik Jumlah Kapal di Tanjung Perak
 Sumber: Badan Pusat Statistik

Lampiran 5: Fasilitas Pemilahan Limbah Padat

Spesifikasi *Hammer Mill*

FEATURE

With extensive application(Except oily, sticky and fibred materials), interior parts are multiple & replaceable.

APPLICATION

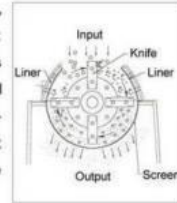
Foodstuff, Chemical, Plastic, Mineral, Dye, Feed, Herbs, Gypsum, Oyster shell, Glass, Paper & other materials crushing.

SPECIFICATION

Model	HP(kw)	Rotation Speed(RPM)	Capacity(kg/hr)	Dimension (L x W x H mm.)
HM-1	2	3500	20-50	630x360x680
HM-3	5	3500	40-100	750x450x840
HM-5	7 1/2	3200	80-200	900x540x900
HM-7 1/2	10	3200	150-400	1000x660x1120
HM-10	15	3000	300-800	1250x700x1300
HM-20	20	3000	600-1500	1300x750x1400

FLOWCHART

With high speed rotation of knives, materials are crushed by the impact and cut force. If material size remains big, impact will exceed the centrifugal force, Knives will recede (moving back and forth) to protect knife shaft and crushing efficiency remains the same.



Spesifikasi *Magnetic Separator*

Model **SPM** SUSPENDED PERMANENT MAGNETIC SEPARATOR

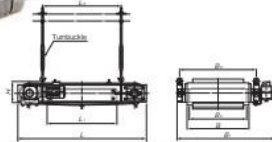
Fully automatic discharge type

Environmentally Friendly

As for separation in wood material for biomass power generator!



SPM-60F



*The shape of hanging bracket is different among SPM-100F, 120F, 65120~65160.

The suspended permanent magnetic separator employs a fully automatic discharge system by using a powerful permanent magnet. The operating method is similar to that of the suspended electromagnetic separator. This model is suitable for removing iron from relatively thin layer of materials on a belt conveyor.

[Application]

Suitable for removing iron from raw materials used in the food industry, chemical industry and various other industries, and can also be installed in wastes sorting systems to remove iron.

[Features]

- Permanent magnet type, no DC power source is needed.
- Simple but robust construction for easy maintenance.
- The weather resistant construction allows this separator to be easily installed on existing outdoor conveyors.
- The permanent magnet system requires minimal maintenance cost.
- New line up has a longer body discharge and larger width for wider conveyor belts.
- An extra powerful type is also available.
- An overhead pulley suspension (parallel suspension) type is also available.
- An optional intrusion preventing plate is also available.

[mm (in)]

Model	Corresponding Conveyor Belt Width (#1)		Corresponding Conveyor Installation Distance	Belt Width			Overall Dimensions			Magnet Dimensions		Power Consumption	Mass
	Cross-suspension	Parallel suspension (#2)		B	L	B ₁	H	L ₁	B ₂	L ₂	B ₃	Drive motor	
SPM-30F	400 (15.7)	—	90 (3.54) - 130 (5.11)	300 (11.8)	1000 (39.3)	677 (26.6)	248 (9.76)	440 (17.3)	470 (18.5)	400 (15.7)	250 (9.84)	0.4 kW	170kg / 374lb
SPM-40F	300 (11.8) - 500 (19.6)	—	350 (13.7)	400 (15.7)	1100 (43.3)	777 (30.6)	—	540 (21.2)	570 (22.4)	500 (19.6)	350 (13.7)	—	270kg / 595lb
SPM-60F	500 (19.6) - 650 (25.5)	300 (11.8) - 450 (17.7)	150 (5.90) - 200 (7.87)	600 (23.6)	1270 (50.0)	1015 (39.9)	—	700 (27.5)	770 (30.3)	650 (25.5)	490 (19.2)	—	300kg / 660lb
SPM-60F	650 (25.5) - 800 (31.5)	500 (19.6) - 650 (25.5)	—	700 (27.5)	1470 (57.8)	1115 (43.8)	—	242 (9.50)	900 (35.4)	870 (34.2)	800 (31.5)	0.75kW	610kg / 1344lb
SPM-100F	800 (31.5) - 1000 (39.3)	650 (25.5) - 800 (31.5)	—	900 (35.4)	1900 (74.8)	1435 (56.6)	—	1100 (43.3)	1170 (46.0)	1000 (39.3)	800 (31.5)	—	1150kg / 2535lb
SPM-120F	1100 (43.3) - 1300 (51.1)	800 (31.5) - 950 (37.4)	200 (7.87) - 250 (9.84)	1050 (41.3)	2200 (86.6)	1605 (63.1)	312 (12.2)	1400 (55.1)	1320 (51.9)	1300 (51.1)	950 (37.4)	1.5 kW	1600kg / 3527lb
SPM-65120	—1050 (41.3)	—	—	—	1870 (73.6)	—	—	1000 (39.3)	—	1200 (47.2)	—	—	880kg / 1940lb
SPM-65140	—1200 (47.2)	—	—	700 (27.5)	2070 (81.5)	1147 (45.1)	258 (10.1)	1200 (47.2)	—	1400 (55.1)	650 (25.5)	0.75kW	990kg / 2182lb
SPM-65160	—1400 (55.1)	—	—	—	2270 (89.3)	—	—	1400 (55.1)	—	1600 (62.9)	—	—	1100kg / 2425lb

*The outdoor specification is the standard.

(#1) Belt conveyor width for each model is just reference. As the model to be selected can be different depending on flow width and volume to be treated, please consult with us.

(#2) The parallel suspension specification is optional.


Spesifikasi Bag Opener

	BB
Working width	1,780 mm
Number of push-boards	12 pieces
Feeding height	approx. 800 mm
Total height	2,500 mm
Hopper length min.	6,000 mm
Total length min.	8,400 mm
Extension in steps of	1,500 mm
Hopper length max.	12,000 mm
Total length max.	14,400 mm
Bale dimensions max. (w x h x l)	1,200 x 1,200 x 2,500 mm
Bale weight	approx. 400 - 800 kg
Power requirement Moving Floor	4 to 22 kW
Bale Breaking Unit	7.5 to 11 kW
Weight	11.5 t
Throughput	up to 10 t/h

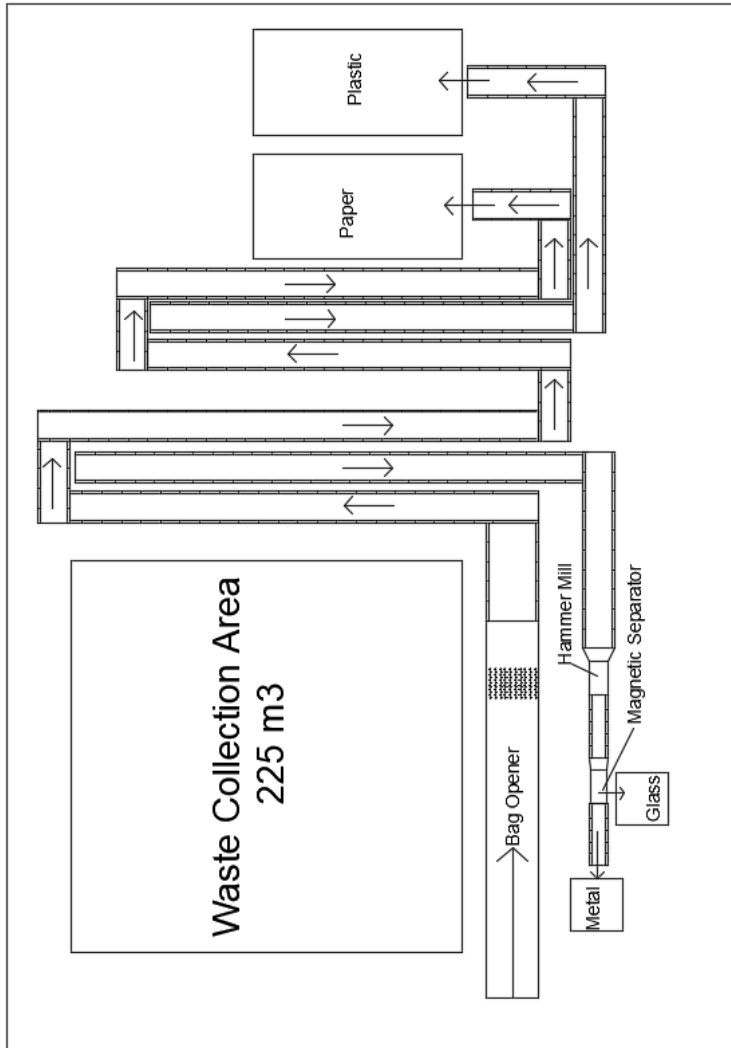
* Throughput can vary depending on the material, material properties, moisture and composition. All values are approximate.



Spesifikasi Motor Conveyor Belt

Type	Features	Output Power	Speed Control Range	Power Supply
	<p>Brushless DC Motors & Gear Motors (BLDC Motors) provide high speed stability, energy saving and space saving. Brushless DC motors also allow for stable speed control even with a fluctuating load and offer constant torque over a wide speed range.</p>	<p>15 W (1/50 HP) up to 400 W (1/2 HP)</p>	<p>80 ~ 4000 r/min</p>	<p>Single-Phase 100-120 VAC Single-Phase 200-240 VAC Three-Phase 200-240 VAC 24 VDC 48 VDC</p>

Desain Fasilitas Pemilahan



Lampiran 6: Responden

Responden, bekerja di Kapal Independence of the Seas milik Royal Carribean International, bersertifikat BST, CCM dan SAT

KEMENTERIAN PERHUBUNGAN REPUBLIK INDONESIA
DIREKTORAT JENDERAL PERHUBUNGAN LAUT

MINISTRY OF TRANSPORTATION OF THE REPUBLIC OF INDONESIA
DIRECTORATE GENERAL OF SEA TRANSPORTATION

SERTIFIKAT KETERAMPILAN
CERTIFICATE OF PROFICIENCY

Nomor Seri/ Serial No.
CP3445692

Nomor Sertifikat/ Certificate No.
6211927898011119

Dengan ini dinyatakan bahwa
This is to certify that

Nama
: **SYADIKIN HIZKYANA**

Tempat dan tanggal lahir : **BANDUNG , 28 July 1997**
Place and date of birth

telah menyelesaikan pelatihan dan lulus evaluasi :
has completed approved training and passed the assessment of

BASIC SAFETY TRAINING

yang dilaksanakan oleh : **BINA SENA MARITIME TRAINING CENTER** di : **Jakarta**
which has held by at : **01 July 2019 to 10 July 2019**

Sesuai ketentuan STCW 1978 beserta dengan amandemennya, Peraturan : Section A -VI/1 STCW 2010
in accordance with the provisions of STCW 1978 as amended, Regulation Section A -VI/1 STCW 2010
yang telah mendapat pengesahan dari Direktorat Jenderal Perhubungan Laut selaku Administrasi.
which has been approved by the Directorate General of Sea Transportation as Administration.

Jakarta , 17 July 2019

An. Direktur Jenderal Perhubungan Laut
Gub. Director General of Sea Transportation
Ketua/Direktur/Kepala
Principal/Director/Head

Tandatangan Pemilik
Signature of the Holder


HARTONO, SE. MM



Sertifikat ini berlaku untuk 5 (lima) tahun sejak tanggal diterbitkan
This Certificate is valid for 5 (five) years commenced from the date of issuance