

Grey Water Treatment dengan Menggunakan Teknik Koagulasi pada Kapal Penumpang KM Labobar

Dimas Ilham Akbar, Hari Prastowo, Taufik Fajar Nugroho
Departemen Teknik Sistem Perkapalan, Institut Teknologi Sepuluh Nopember (ITS)
e-mail: h-prastowo@its.ac.id

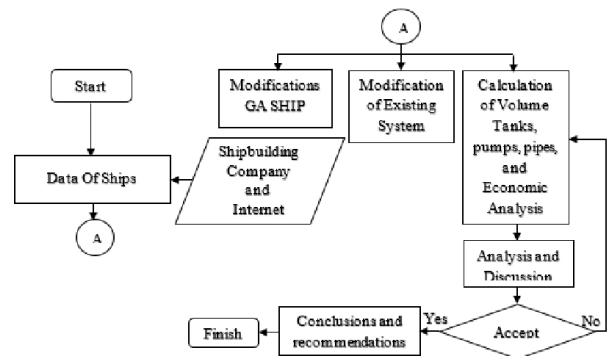
Abstrak—Kapal penumpang KM. Labobar membutuhkan air bersih. Air bersih akan tersedia jika kapal dalam keadaan bersandar di pelabuhan karena pada saat itu dilakukan pengisian air bersih yang ada di kapal. Jika kebutuhan air tawar di kapal penumpang KM. Labobar meningkat maka air limbah domestik gray water (nonconsumable) akan juga meningkat. Limbah pada dasarnya harus melalui suatu proses treatment agar nantinya limbah tersebut aman pada saat dibuang ataupun saat digunakan lagi. Proses treatment dilakukan untuk menghindari pencemaran laut dan menurunkan kualitas air laut. Adanya permasalahan tersebut maka harus dilakukan recycle yaitu suatu pengolahan kembali pada sistem pembuangan limbah gray water dengan menggunakan teknik koagulasi. Treatment ini dilakukan agar dapat menghemat kebutuhan biaya serta menghemat pengisian air tawar pada kapal. Koagulasi merupakan suatu proses destabilisasi partikel koloid dan kemudian mengendap selama selang waktu tertentu. Pembahasan yang ada pada tulisan ini meliputi mendesain sistem pengolahan air limbah, memodifikasi existing system dan general arrangement yang ada pada KM. Labobar, perhitungan biaya dari sistem pengolahan serta menganalisa kelayakan ekonomis jika sistem ini di aplikasikan di KM. Labobar. Berdasarkan analisa data dapat dibuat tangki treatment sebanyak 2 pada frame 70-75, treatment ini akan menghasilkan sebanyak 100,758 m³ setiap harinya. Selain itu dibuat 2 tangki holding tank pada frame 132-142 yang bisa menampung sebesar 14,4 m³ setiap tangki. Dilakukan juga analisa ekonomi menggunakan sistem Payback Period, yang akan mengalami keuntungan pada saat menginjak tahun kedua.

Kata Kunci—Grey Water, KM. Labobar, Treatment Koagulasi, Waste Treatment

I. PENDAHULUAN

KAPAL penumpang merupakan sarana transportasi yang menghubungkan antar pulau. Pada tugas akhir ini, saya akan menggunakan jenis kapal penumpang yaitu KM. Labobar dengan kapasitas penumpang sebanyak 3084 orang. Kapal KM. Labobar memerlukan air tawar yang layak pakai bagi para penumpangnya. Jika kebutuhan air tawar meningkat maka air limbah domestik meningkat pula. Air limbah di kapal ini dibagi menjadi dua jenis yaitu *grey water* dan *black water*. *Grey water* merupakan bagian dari limbah cair domestik yang proses pengalirannya atau sumbernya bukan dari toilet, misalnya seperti air bekas mencuci dan mandi. Sehingga kapal KM. Labobar diharapkan memiliki sistem pengolah limbah grey water yang berfungsi mengolah kembali agar bisa digunakan untuk beraktifitas para penumpang.

Proses *water treatment* dibagi menjadi tiga jenis yaitu *physical water treatment plant*, *biological water treatment*



Gambar 1. Metodologi

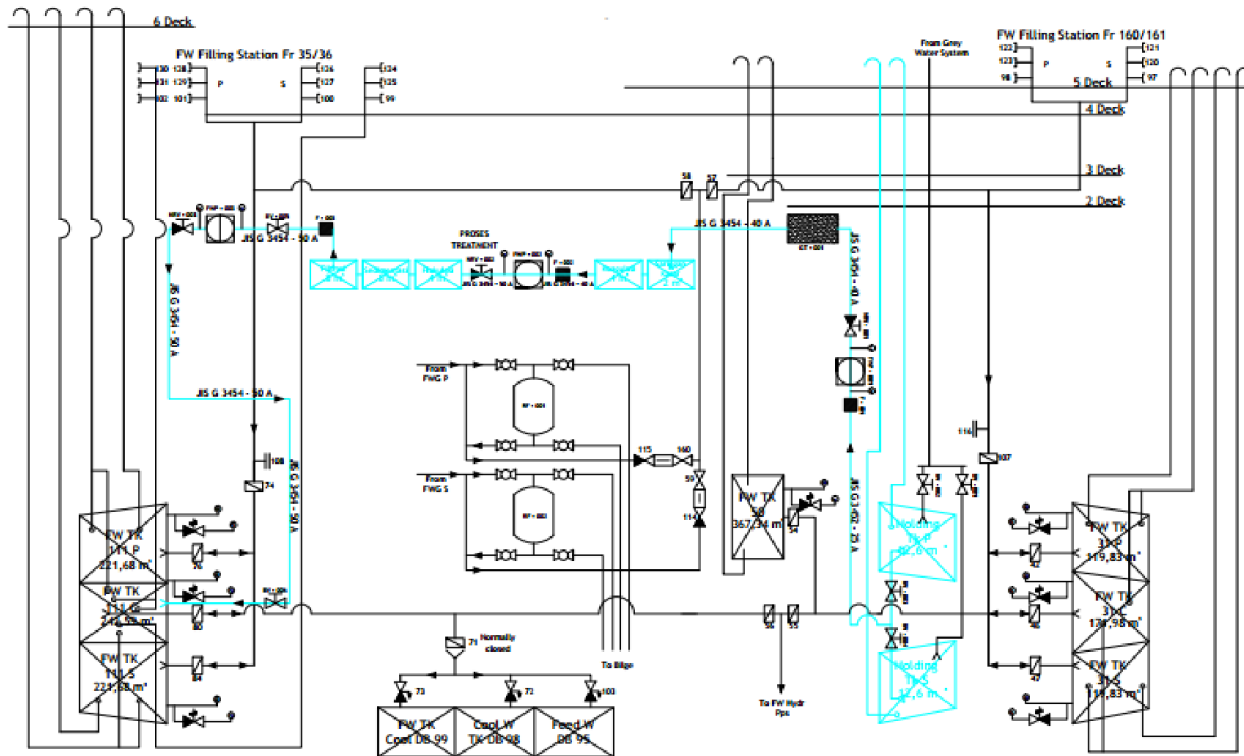
plant, dan *chemical water treatment plant*[1]. Pada proses fisika ini dilakukan cara penghilangan polutan seperti sedimentasi ataupun penyaringan[2]. Lalu pada proses biologi terdapat peran mikroorganisme sebagai proses penghancuran atau penghilangan kontaminan. Hal ini dilakukan agar dapat menghilangkan dan mengurangi bahan organik dari air limbah sehingga dapat diterima sesuai dengan aturan yang telah ditentukan[3]. Sedangkan pada proses kimiawi dilakukan dengan cara penambahan bahan kimia untuk memecah konstituen padat[4]. Sehingga pada kapal penumpang harus mempunyai sistem *water treatment* yang paling optimal dengan mempertimbangkan biaya operasional, biaya investasi, ketersediaan ruang pada kapal, serta standar mutu dari water treatment.

Masalah yang terjadi jika tidak di *treatment* dengan benar dapat mengakibatkan pencemaran air laut dan menurunkan kualitas air laut. Keadaan lingkungan yang seperti itu juga dapat mempengaruhi kondisi habitat laut, serta kesehatan manusia yang ada[5]. Hal ini dikarenakan semakin banyaknya jumlah penumpang yang diangkut. Sehingga akan semakin meningkat jumlah air limbah yang dihasilkan. Maka dari itu diperlukan perlakuan khusus pada apapun jenis air yang akan dibuang di laut.

Pada kapal penumpang, sistem air tawar sangatlah penting. Air tawar mempunyai kegunaan yaitu untuk kebutuhan mendinginkan mesin, mencuci, mandi, serta minum[6]. Pengisian air tawar dilakukan pada saat kapal bersandar di pelabuhan. Maka dari itu untuk menghemat kebutuhan biaya, perlu dilakukan *recycle* yaitu suatu pengolahan kembali pada sistem air tawar tersebut.

II. METODOLOGI

Dalam penyusunan tugas akhir ini terdapat langkah-langkah yang akan digunakan dalam proses pengerjaan.



Gambar 2. Modifikasi Existing System

Fungsi dari metodologi ini yaitu memudahkan dalam melakukan urutan pekerjaan apa yang harus dikerjakan:

A. Modifikasi Existing System

Existing System merupakan sistem dari kapal yang sudah terpasang dan ada didalam kapal[7]. Jika telah mendapatkan semua informasi data kapal maka dilakukan modifikasi pada existing system sehingga nantinya dapat mengetahui alur cara kerja treatment dan mengetahui peletakan tangki baru pada kapal KM Labobar.

B. Modifikasi General Arrangement

Setelah modifikasi existing system maka langkah selanjutnya yaitu memodifikasi bagian general arrangement kapal. General arrangement merupakan gambar dari ruangan dan komponen yang ada di kapal. Desain dari alat juga harus sesuai dengan rencana garis yang ada[8]. Hal ini bertujuan agar dapat menentukan peletakan tangki baru yang ada di kapal KM Labobar.

C. Perhitungan

Melakukan perhitungan grey water, kadar grey water, pipa yang dibutuhkan, serta pompa untuk keperluan treatment yang ada pada kapal KM Labobar dengan menggunakan data dari beberapa sumber.

D. Melakukan Analisa Ekonomi

Dengan melakukan beberapa proses pengerjaan diatas maka membuat suatu analisa ekonomi. Analisa ekonomi ini digunakan untuk mengetahui kelayakan dari treatment yang saya buat.

E. Analisa dan Pembahasan

Proses pengerjaan yang terakhir yaitu menganalisa dan

membuat pembahasan. Jika pada perhitungan dan analisa ada yang tidak cocok maka dapat kembali ke proses modifikasi, perhitungan.

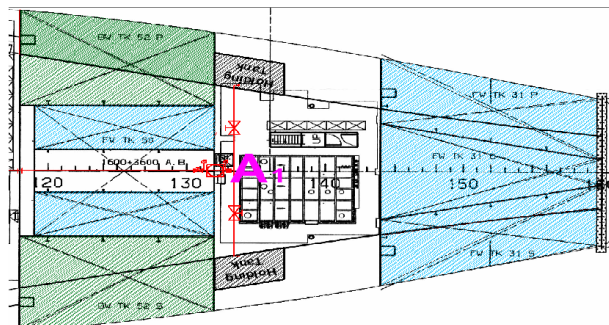
F. Kesimpulan dan Saran

Melakukan penarikan kesimpulan atas berbagai analisa yang telah dilakukan dan masih bersifat sementara. Karena tidak menutup kemungkinan untuk dilakukan penyempurnaan.

III. HASIL DAN PEMBAHASAN

A. Perhitungan Grey Water di KM. Labobar

Seperti yang kita ketahui, air dibagi menjadi dua macam yaitu black water dan grey water. Jika black water itu yang bersumber dari WC atau toilet dan untuk membuang limbah jenis ini harus mematuhi peraturan MARPOL sehingga tidak boleh dibuang langsung ke laut. Sedangkan berbeda dengan grey water yang sumbernya didapat bukan dari toilet, melainkan dari air bekas mandi dan mencuci. Bagian dari



Gambar 3. Modifikasi General Arrangement

grey water adalah sekitar 75% dari total volume limbah cair domestik[9]. Sedangkan ada juga yang menyimpulkan 60-80% dari total volume kebutuhan air bersihlah yang akan menjadi limbah cair domestik[10]. Jadi untuk menghitung volume dari grey water ini dilakukan dengan cara:

$$V_{gray\ water} = V_{fresh\ water} \times 75\% \quad (1)$$

Jadi Volume dari grey water itu sebanyak 1007,58 m³ dalam keadaan kapal berlayar selama 10 hari. Sehingga jika dihitung 1 hari maka volume grey water menjadi 100,758 m³.

B. Peletakan Ruangan Di Kapal

Untuk menentukan ruangan di kapal dibutuhkan beberapa data informasi kapal yaitu *existing system, general arrangement*. Hal ini di gunakan untuk menganalisa dan mendapatkan ruangan yang bisa digunakan untuk menentukan tangki yang baru.

1) Letak Holding Tank

Hal yang paling penting yaitu menentukan letak holding tank atau yang disebut dengan collected waste water. Tanki ini harus diletakkan dimana dek tersebut tidak ada aktifitas dari penumpang kapal. Volume dari collected waste water ini yaitu 14,4 m³ setiap tangki. Sedangkan sesuai yang diharapkan letak dari holding tank ini harus dengan metode gravitasi, sehingga tidak ada penambahan pompa. Jika dilihat dari analisis General Arrangement dari kapal KM. Labobar ini letak tangki holding tank berada diatas double bottom, dimana terdapat ruangan kosong pada bagian Portside & Starboard tepatnya pada frame 132-142 dapat dilihat pada Gambar 3.

2) Letak Pompa

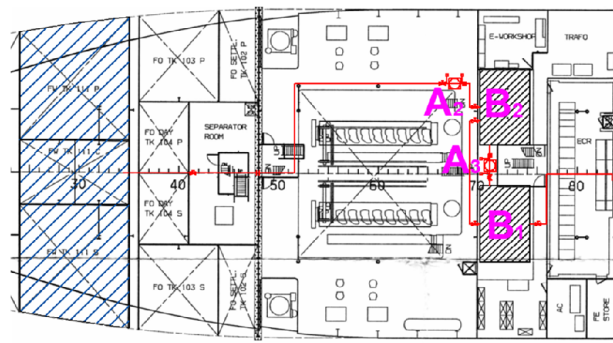
Kegunaan pompa yaitu membantu dalam memindahkan fluida cair yaitu air, pompa yang di pakai dalam instalasi grey water treatment ini yaitu jenis pompa sentrifugal[11]. Pompa pada instalasi ini diletakkan di posisi yang jauh dari lalu lalang manusia dan dapat dijangkau ABK kapal. Agar nilai NPSH (Net Positive Suction Head) kecil maka pompa diletakkan dekat dengan suction. Maka dari itu pompa pada instalasi ini diletakkan di Deck 1 & Deck 2 dan ditandai dengan huruf A dapat dilihat pada Gambar 3 dan 4.

3) Letak Pipa

Jika hendak mentransfer fluida dari suatu tempat menuju tempat lain ada beberapa komponen yang penting salah satunya yaitu pipa[12]. Pemilihan bahan atau jenis dari pipa ini juga sangat penting. Hal itu bisa dilihat dari jenis fluida cair yang mau dialirkan. Sedangkan untuk panjang pipa sendiri dapat diukur dari sumber menuju tempat penampungan akhirnya. Untuk pipa dari grey water treatment ini sendiri sudah melalui beberapa analisa general arrangement kapal. Dari analisa gambar tersebut, pipa dialirkan dari holding tank menuju ke tangki penampungan atau *waste water treatment*. Setelah dihitung panjang pipa yang ada pada gambar tersebut yaitu:

- a. Dari *Holding Tank – Waste Water Treatment* sepanjang 53,13 m dapat dilihat pada Gambar 3.
- b. Dari *Waste Water Treatment – Tangki penampung air bersih* sepanjang 40,71 m dapat dilihat pada Gambar 4.

Panjang pipa diatas termasuk salah satu pipa terpanjang. Pengukuran di fungsikan agar dapat mengetahui juga nilai head dari pompa yang akan digunakan.



Gambar 4. Modifikasi Grey Water Treatment

Tabel 1. Kadar Limbah

Parameter	Kadar
pH	6,5
COD	290
BOD	250
TSS	200
N	40
P	8
Surfactant	36,5

4) Letak Grey Water Treatment

Dari gambar tampak atas pada kapal KM. Labobar diatas, telah dianalisa General Arrangementnya dari data kapal yang sudah ada, dimana tangki ini memerlukan space yang besar dari beberapa macam komponen yang lainnya. Desain dari tangki treatment sendiri memiliki 2 tangki treatment untuk grey water di bagian deck 2. Tangki treatment ini berfungsi sebagai pembersih dari grey water agar air bisa digunakan lagi. Tangki treatment ditandai dengan huruf B dapat dilihat pada Gambar 4.

C. Karakteristik Air Limbah

Sebelum merencanakan sistem grey water treatment, sudah seharusnya mengetahui kadar air limbah yang ada pada kapal KM. Labobar. Dimana kadar limbah ini nanti yang akan melalui proses treatment menggunakan koagulasi. Sehingga air limbah grey water yang ada di kapal penumpang KM. Labobar ini dapat digunakan kembali (*nonconsumable*). Berdasarkan penelitian sebelumnya, kadar limbah grey water telah didapat data sebagai berikut:

Dengan adanya sistem treatment dengan menggunakan koagulasi-flokulasi ini bisa mengurangi kadar pH, BOD, COD, TSS, N, P secara drastis sehingga air tersebut dapat digunakan kembali.

D. Perhitungan Kadar Limbah

Volume limbah yang akan di olah dengan menggunakan treatment ini yaitu sebesar 107,58 m³/hari. Volume tersebut lah yang akan berlanjut menuju proses pengolahan limbah dengan menggunakan metode koagulasi. Kandungan dari air limbah grey water dapat dilihat pada Tabel 1.

1) Koagulasi-flokulasi

Dimana untuk rangkaian proses koagulasi-flokulasi bisa mengurangi kadar limbah sebesar 75% COD, 79% BOD, 76% TSS, 18% Nitrogen, 89% Phospat, serta 75% kandungan sabun (surfactant)[13] dapat dilihat pada Tabel 2.

Tabel 2.
Kadar Proses Koagulasi-flokulasi

Parameter	sebelum	Removal (%)	Sesudah
pH	6,5	0%	6,5
COD	290	75%	72,50
BOD	250	79%	53,75
TSS	200	76%	47,60
N	40	30%	28,00
P	8	89%	0,87
Surfactant	36,5	75%	9,05

Tabel 3.
Kadar Proses Sedimentasi

Parameter	sebelum	Removal (%)	sesudah	Baku Mutu
pH	6,50			
COD	72,50	55%	32,63	50
BOD	53,75	61%	20,96	30
TSS	47,60	81%	9,04	50
N	28,00			30
P	0,87			1
Surfactant	9,05			10

Tabel 4.
Kadar Proses Filtrasi

Parameter	sebelum	Removal (%)	sesudah	Baku Mutu
pH	6,50			
COD	32,63	15%	27,73	50
BOD	20,96	39%	12,89	30
TSS	9,04	32%	6,14	50
N	28,00			30
P	0,87			1
Surfactant	9,05	99,89%	0,01	10

Tabel 5.
Spesifikasi Pipa 1

Galvanised Carbon Steel Pipe by JIS G 3452			
Inside diameter	=	27,6	mm
Thickness	=	3,2	mm
Outside diameter	=	34	mm
Nominal pipe size	=	25A	
Ukuran	=	1	inch

Tabel 6.
Spesifikasi Pipa 2

Galvanised Carbon Steel Pipe by JIS G 3454			
Inside diameter	=	39,6	mm
Thickness	=	4,5	mm
Outside diameter	=	48,6	mm
Nominal pipe size	=	40A	Sch60
Ukuran	=	1.1/2	inch

2) *Sedimentasi*

Sedangkan untuk proses selanjutnya yaitu sedimentasi membantu juga mengurangi kadar sebesar 55% COD, 61% BOD, 81% TSS[14] dapat dilihat pada Tabel 3.

3) *Filtrasi*

Proses terakhir yaitu filtrasi. Proses ini dapat mengurangi kadar limbah sebesar 15% COD, 39% BOD, 32% TSS, dan 99,89% surfactant[15] dapat dilihat pada Tabel 4.

E. *Perhitungan Pipa*

Pipa merupakan penghubung antara satu kompartemen menuju ke kompartemen lainnya. Pada perhitungan pipa dapat dihitung menggunakan persamaan (2):

$$Q = A \times V \tag{2}$$

Tabel 7.
Spesifikasi Pipa 3

Galvanised Carbon Steel Pipe by JIS G 3454			
Inside diameter	=	49,5	mm
Thickness	=	5,5	mm
Outside diameter	=	60,5	mm
Nominal pipe size	=	50A	Sch80
Ukuran	=	2	inch

Tabel 8.
Spesifikasi Pompa

Spesifikasi Pompa	
Merk =	EBARA
Type =	Centrifugal Pump
Model =	CDXM 90/10
Head =	22,3
Kapasitas =	5,4 m ³ /jam
Power =	3 phase 230V (0.75kW, 1 HP)
Sealing =	Carbon/Ceramic

Tabel 9.
Kebutuhan Listrik

No	Item	Jumlah	Daya (kW)	Total Daya (kW)
1	Pompa Limbah 1	1	0,75	0,75
2	Pompa Limbah 2	1	0,75	0,75
3	Pompa Limbah 3	1	0,75	0,75
4	Dosing pump	1	0,18	0,18
Total Daya				2,43

Tabel 10.
Harga Listrik/Tahun

Harga Kebutuhan Listrik	
Nilai kWh perhari yaitu	= Total Daya x 24 jam
	= 2,43 x 24
	= 58,32 kWh
Harga/kWh	= Rp1.500 /kWh
Biaya pengeluaran per tahun	= Jumlah kWh x harga per hari x 365
	= 72 x 1500 x 365
	= Rp31.930.200

1) *Holding Tank-Kompartemen B1*

Debit air pada tangki yaitu 0.00116 m³/sec, dengan luas sebesar 0.000583 m². Jadi spesifikasi diameter pipa dapat dilihat pada Tabel 5.

2) *Kompartemen B1-B2*

Debit air pada tangki yaitu 0.002331 m³/sec, dengan luas sebesar 0.001166 m². Jadi spesifikasi diameter pipa dapat dilihat pada Tabel 6.

3) *Menuju Tangki Air Hasil*

Debit air pada tangki yaitu 0.003497 m³/sec, dengan luas sebesar 0.001748 m². Jadi spesifikasi diameter pipa dapat dilihat pada Tabel 7.

F. *Perhitungan Pompa*

Pompa yaitu suatu alat yang dapat digunakan untuk proses pemindahan fluida dari suatu tempat menuju tempat lainnya. Sehingga pada perhitungan pompa dapat dihitung menggunakan rumus:

$$H = H_s + H_p + H_v + H_{total} \tag{3}$$

$$Losses : \lambda \times L \times v^2 / (D \times 2g) \tag{4}$$

Tabel 11.
Biaya Operasional

Item	Spesifikasi	Jumlah	Satuan	Harga Satuan	Total
Kaporit		423 kg (5buah)	buah	Rp350.000	Rp1.750.000
Gravel	D = 12-18mm	165 kg	kg	Rp290.000	Rp47.850.000
Silica	D= 8-12mm	165 kg	kg	Rp310.000	Rp51.150.000
Karbon aktif	D=4-8mm	165 kg	kg	Rp355.000	Rp58.575.000
Al(SO4)3		109,5 kg	kg	Rp2.247.500	Rp246.101.250
Total					Rp405.426.250

Tabel 12.
Biaya Perawatan

Maintenance		
Maintenance 1	Rp	297.000.000
Maintenance 2	Rp	14.850.000
Maintenance 3	Rp	15.592.500
Maintenance 4	Rp	16.372.125
Maintenance 5	Rp	17.190.731
Maintenance 6	Rp	18.050.268
Maintenance 7	Rp	18.952.781
Maintenance 8	Rp	19.900.420
Maintenance 9	Rp	20.895.441
Maintenance 10	Rp	21.940.213

Tabel 13.
Total Biaya Operasional

Year	Operational Cost	Maintenance Cost	Total Operational
1	Rp 438.000.000	Rp 297.000.000	Rp 735.000.000
2	Rp 459.900.000	Rp 14.850.000	Rp 474.750.000
3	Rp 482.895.000	Rp 15.592.500	Rp 498.487.500
4	Rp 507.039.750	Rp 16.372.125	Rp 523.411.875
5	Rp 532.391.738	Rp 17.190.731	Rp 549.582.469
6	Rp 559.011.324	Rp 18.050.268	Rp 577.061.592
7	Rp 586.961.891	Rp 18.952.781	Rp 605.914.672
8	Rp 616.309.985	Rp 19.900.420	Rp 636.210.405
9	Rp 647.125.484	Rp 20.895.441	Rp 668.020.926
10	Rp 679.481.759	Rp 21.940.213	Rp 701.421.972

1) Pompa 1

Pada pompa 1 memiliki Hs sebesar 7 m, Hp is 0 m, and Hv yaitu 0 m. Dengan total headloss pompa sebesar 19.63.

2) Pompa 2

Pada pompa 2 memiliki Hs sebesar 0.8 m, Hp is 0 m, and Hv yaitu 0 m. Dengan total headloss pompa sebesar 19.63.

Tabel 14.
Total Kebutuhan Fresh Water

Waktu	Total Fresh Water	Unit	Harga/m3	Total
10 hari	1007,58	m3	Rp75.000	Rp75.568.500
1 bulan	3022,74	m4	Rp75.000	Rp226.705.500
1 tahun	36776,67	m5	Rp75.000	Rp2.758.250.250

Tabel 1.
Keuntungan per Tahun

Investasi	Total Operation	Pendapatan	Pemasukan
Rp297.000.000	Rp735.000.000	Rp2.758.250.250	-Rp1.032.000.000
	Rp474.750.000	Rp2.758.250.250	Rp2.283.500.250
	Rp498.487.500	Rp2.758.250.250	Rp2.259.762.750
	Rp523.411.875	Rp2.758.250.250	Rp2.234.838.375
	Rp549.582.469	Rp2.758.250.250	Rp2.208.667.781
	Rp577.061.592	Rp2.758.250.250	Rp2.181.188.658
	Rp605.914.672	Rp2.758.250.250	Rp2.152.335.578
	Rp636.210.405	Rp2.758.250.250	Rp2.122.039.845
	Rp668.020.926	Rp2.758.250.250	Rp2.090.229.324
	Rp701.421.972	Rp2.758.250.250	Rp2.056.828.278

3) Pompa 3

Pada pompa 3 memiliki Hs sebesar is 2.2 m, Hp is 0 m, and Hv yaitu 0 m. Dengan total headloss pompa sebesar 19.63. Pompa pada rencana pengolahan grey water ini menggunakan jenis pompa sentrifugal dengan spesifikasi pompa yang sama. Sehingga spesifikasi pompa dapat dilihat pada Tabel 8.

G. Analisis Ekonomi

Agar tau sistem grey water treatment ini dapat membawa keuntungan atau kerugian maka dilakukan suatu analisa

Tabel 16.
Harga Grey Water Treatment System

Items	Specification	Quantity	Unit	Cost	Total Cost
Wastewater Pump	Head: 22,3m; Q: 5,4 m3/jam	3	buah	Rp7.250.000	Rp21.750.000
Pipe 1	25A 1"	66,9	m	Rp403.000	Rp26.960.700
Pipe 2	Sch 60 1.1/2"	2,08	m	Rp521.000	Rp1.083.680
Pipe 3	Sch 80 2"	32,3	m	Rp702.000	Rp22.674.600
Tank Plate		1450,08	kg	Rp30.000	Rp87.004.800
Mixer		5	buah	Rp2.450.000	Rp12.250.000
Grease Trap	76 l/min; 3" (A)	1	buah	Rp1.525.000	Rp1.525.000
Strainer		3	buah	Rp3.564.500	Rp10.693.500
Non return valve		9	buah	Rp4.250.400	Rp38.253.600
Butterfly valve		7	buah	Rp396.000	Rp2.772.000
Pressure Indicator		6	buah	Rp308.880	Rp1.853.280
Elbow 90		11	buah	Rp83.000	Rp913.000
T Joint		1	buah	Rp110.000	Rp110.000
Dosing pump		1	buah	Rp4.250.000	Rp4.250.000
Dosing tank		1		Rp2.500.000	Rp2.500.000
Fee Transfer		1		Rp6.000.000	Rp6.000.000
Desain		10%		Rp234.594.160	Rp23.459.416
Instalation		15%		Rp218.844.160	Rp32.826.624
Total Investment (Rp)					Rp296.880.200
Jadi total investasi					Rp297.000.000

secara ekonomi yaitu melalui instalasi alat, biaya operasional, dan menghitung biaya yang akan dihemat untuk suatu sistem lainnya. Berikut merupakan analisa secara ekonominya yaitu:

1) *Harga Grey Water Treatment System*

Harga dari sistem pengolahan limbah ini yaitu Rp. 297.000.000 rupiah dapat dilihat pada Tabel 16.

2) *Biaya Operasional (Tabel 11)*

Biaya operasional dihitung dari kebutuhan listrik ditambah dengan biaya bahan. Maka dari itu biaya operasional sebesar Rp. 438.000.000 rupiah.

3) *Biaya Perawatan (Tabel 12)*

Setelah langkah menghitung biaya maintenance selanjutnya yaitu melakukan perhitungan total biaya operasional, dimana biaya tersebut merupakan jumlah operasional keseluruhan ditambahkan dengan jumlah maintenance. Biaya dibawah ini terkena inflasi 5% per tahunnya. Berikut merupakan total biaya operasional yaitu:

4) *Total Biaya Operasional (Tabel 13)*

Total Biaya Operasional dapat dihitung dengan rumus:

$$T_{Operasional} = Maintenance\ Cost + Operational\ Cost \quad (6)$$

Total biaya diatas terkena inflasi 5% per tahun.

5) *Biaya Fresh Water (Tabel 14)*

Biaya fresh water yaitu Rp 75.000 per m³. Jadi dapat dihitung dengan rumus:

$$F.W_{biaya} = F.W_{kebutuhan} \times F.W_{biaya/m^3} \quad (7)$$

6) *Keuntungan Tahunan (Tabel 15)*

Dapat kita lihat dari analisa keuangan, jika kapal penumpang KM. Labobar menggunakan alat sistem pengolah limbah greywater ini akan menguntungkan. Karena dapat menyimpan pengeluaran yang tinggi pertahun, sehingga akan mencapai *BEP (Break Event Point)* pada tahun kedua yaitu sebanyak Rp. 2.284.000.000.

IV. KESIMPULAN

Desain sistem pengolahan air limbah ini dirancang dengan 2 tangki pengolahan dengan volume 5,775 m³ dan 19,25 m³. Dengan menggunakan 3 jenis ukuran pipa standar JIS dengan ukuran 25A 1", sch 60 1.1/2", dan sch 80 2". Desain lainnya

yaitu ada 3 pompa dengan spesifikasi yang sama pada *treatment system* ini, dengan spesifikasi *head* pompa 22,3 m, Q pompa 5,4 m³/jam, dan *sealing* pompa berbahan karbon.

Dilakukan pula proses modifikasi pada *existing system* dan *general arrangement* kapal untuk peletakan tangki baru. Tangki baru terletak pada *frame* 132-142 untuk *holding tank* dan *frame* 70-75. Pada bagian analisis keuangan, dapat disimpulkan jika *grey water treatment system* ini membutuhkan biaya awal sebesar Rp. 297.000.000 rupiah. Sehingga akan mencapai *BEP (Break Event Point)* pada tahun kedua dengan keuntungan sebanyak Rp. 2.284.000.000.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] F. Adany, "Proses Pengolahan Air Limbah Secara Fisika, Kimia dan Biologi," *Inst. Teknol. Sepuluh Novemb.*, no. December, 2017.
- [2] A. Bhargava, "Physico-chemical waste water treatment technologies: an overview," vol. 4, no. 05, p. 12, 2016, doi: 10.18535/ijstre/v4i05.05.
- [3] N. I. Said, "Teknologi pengolahan air limbah dengan proses biofilm tercelup," *J. Teknol. Lingkung.*, vol. 1, no. 2, 2011.
- [4] F. A. Nasr, H. S. Doma, H. S. Abdel-Halim, and S. A. El-Shafai, "Chemical industry wastewater treatment," *Environmentalist*, vol. 27, no. 2, pp. 275–286, 2007.
- [5] A. Babol, "Penting menjaga kebersihan laut demi kesehatan dan kelangsungan biota laut."
- [6] D. Kurniawan and A. Baheamsyah, "Studi kebutuhan air tawar pada pengembangan landing shiptank (LST) 128 meter berdasarkan perilaku manusia," *Undergrad. Theses*, 2011.
- [7] K. Anil, K. Reddy, and M. A. Baki, "Ship management system," 2018.
- [8] G. Suhardjito, "Tentang rencana umum," *Email gsuhardjito@yahoo.com*, 2009.
- [9] E. Eriksson, K. Auffarth, M. Henze, and A. Ledin, "Characteristics of grey wastewater," *Urban water*, vol. 4, no. 1, pp. 85–104, 2002.
- [10] G. Tchobanoglous *et al.*, "Wastewater engineering: treatment, disposal and reuse," 1991.
- [11] Sularso and H. Tahara, *Pompa dan Kompresor*. 2000.
- [12] I. R. Raswari, *Perencanaan dan Penggambaran Sistem Perpipaan*. Jakarta: Universitas Indonesia (UI-Press), 2007.
- [13] M. P. Kavvalakis, E. G. Dialynas, and G. E. Dialynas, "Advanced treatment of laundry wastewater with coagulation and flocculation."
- [14] D. Sukumaran, R. Saha, and R. C. Saxena, "Performance evaluation of prevailing biological wastewater treatment systems in West Bengal, India," *Appl. Ecol. Environ. Sci.*, vol. 1, pp. 1–4, 2015.
- [15] I. B. W. Gunam *et al.*, "Combination of filter media to reduce total suspended solids, biochemical and chemical oxygen demand in wastewater using installation of horizontal roughing filter," *Asian J. Microbiol. Biotech. Env. Sc.*, vol. 18, no. 4, pp. 867–873, 2016.