



ITS
Institut
Teknologi
Sepuluh Nopember

TUGAS AKHIR – ME184834

MODIFIKASI SISTEM SCRUBBER DARI SISTEM AIR LAUT MENJADI AIR TAWAR PADA SISTEM INERT GAS KAPAL *CRUDE OIL TANKER* 85.000 DWT

Faris Zulfar Rosyadi

NRP 04211540000041

Dosen Pembimbing

Ir. Hari Prastowo, M.Sc.

Nurhadi Siswantoro, S.T., M.T.

**DEPARTEMEN TEKNIK SISTEM PERKAPALAN
FAKULTAS TEKNOLOGI KELAUTAN
INSTITUT TEKNOLOGI SEPULUH NOPEMBER
2019**

TUGAS AKHIR – ME 184834

**MODIFIKASI SISTEM SCRUBBER DARI SISTEM AIR
LAUT MENJADI AIR TAWAR PADA SISTEM INERT GAS
KAPAL *CRUDE OIL TANKER* 85.000 DWT**

Faris Zulfar Rosyadi

NRP 0421154000041

Dosen Pembimbing

Ir. Hari Prastowo, M.Sc.

Nurhadi Siswanto, S.T., M.T.

DEPARTEMEN TEKNIK SISTEM PERKAPALAN

FAKULTAS TEKNOLOGI KELAUTAN

INSTITUT TEKNOLOGI SEPULUH NOPEMBER

2019

BACHELOR THESIS – ME 184834

***MODIFICATION OF SEA WATER SCRUBBER SYSTEM
INTO FRESH WATER OF INERT GAS SYSTEM ON THE
CRUDE OIL TANKER 85,000 DWT***

Faris Zulfar Rosyadi

NRP 0421154000041

Supervisors

Ir. Hari Prastowo, M.Sc.

Nurhadi Siswantoro, S.T., M.T.

MARINE ENGINEERING DEPARTMENT

FACULTY OF MARINE TECHNOLOGY

SEPULUH NOPEMBER INSTITUTE OF TECHNOLOGY

2019

LEMBAR PENGESAHAN

**MODIFIKASI SISTEM SCRUBBER DARI SISTEM AIR LAUT MENJADI
AIR TAWAR PADA SISTEM INERT GAS KAPAL *CRUDE OIL TANKER*
85.000 DWT**

TUGAS AKHIR

Diajukan Untuk Memenuhi Salah Satu Syarat
Memperoleh Gelar Sarjana Teknik
pada
Bidang Studi Marine Operation And Maintenance (MOM)
Program Studi S-1 Departemen Teknik Sistem Perkapalan
Fakultas Teknologi Kelautan
Institut Teknologi Sepuluh Nopember

Oleh :

Faris Zulfar Rosyadi
NRP. 0421154000041

Disetujui oleh Pembimbing Tugas Akhir :

Ir. Hari Prastowo, M.Sc.

()

Nurhadi Siswantoro, S.T., M.T.

()

LEMBAR PENGESAHAN

MODIFIKASI SISTEM SCRUBBER DARI SISTEM AIR LAUT MENJADI AIR TAWAR PADA SISTEM INERT GAS KAPAL *CRUDE OIL TANKER* 85.000 DWT

TUGAS AKHIR

Diajukan Untuk Memenuhi Salah Satu Syarat
Memperoleh Gelar Sarjana Teknik
pada
Bidang Studi Marine Operation And Maintenance (MOM)
Program Studi S-1 Departemen Teknik Sistem Perkapalan
Fakultas Teknologi Kelautan
Institut Teknologi Sepuluh Nopember

Oleh :

Faris Zulfar Rosyadi
NRP. 0421154000041

Disetujui oleh Kepala Departemen Teknik Sistem Perkapalan :



Dr. Eng. M. Badrus Zaman., ST., MT.
NIP. 197708022008011007

Modifikasi Sistem Scrubber Dari Sistem Air Laut Menjad Air Tawar Pada Sistem Inert Gas Kapal *Crude Oil Tanker* 85.000 DWT.

Nama Mahasiswa : Faris Zulfar Rosyadi
NRP : 0421154000041
Departemen : Teknik Sistem Perkapalan ITS
Dosen Pembimbing 1 : Ir. Hari Prastowo, M.Sc.
Dosen Pembimbing 2 : Nurhadi Siswantoro, S.T., M.T.

Abstrak

Setiap kapal yang mengangkut muatan hidrokarbon harus dilengkapi sistem inert gas. Secara definisi Inert gas merupakan gas yang tidak mengalami reaksi kimia ketika mendapatkan suatu perlakuan. Pada kapal tanker, fungsi dari inert gas sistem sendiri adalah untuk mencegah terjadinya kebakaran maupun ledakan yang diakibatkan oleh kadar oksigen yang terkandung di dalam tanki kargo. Untuk menyebabkan timbulnya api, diperlukan 3 faktor utama yaitu bahan bakar, panas, dan oksigen dengan kadar minimal diatas 11% dari total udara. Inert gas dapat dihasilkan dengan beberapa cara, salah satunya adalah dengan memanfaatkan gas buang boiler.

Inert gas dihasilkan dengan cara dibersihkan terlebih dahulu menggunakan sistem scrubber dengan media air laut. Penggunaan air laut sebagai media pembersih inert gas memiliki beberapa keuntungan, yaitu mudah untuk didapat dan memiliki alkalinitas alami. Namun air laut memiliki sifat korosif yang menyebabkan penggunaan material pada komponen sistem scrubber sistem inert gas harus tahan terhadap korosi. Sifat korosif air laut juga menyebabkan perawatan komponen harus dilakukan lebih sering agar komponen tersebut dalam kondisi baik. Sehingga, penggunaan air laut untuk membersihkan inert gas tidak efektif dikarenakan biaya komponen yang mahal dan perawatan yang dilakukan harus lebih sering. Oleh karena itu, melalui penelitian ini dilakukan suatu modifikasi pada scrubber air laut menjadi scrubber air tawar.

Sistem scrubber air tawar memiliki keunggulan dibanding dengan sistem scrubber air laut. Keunggulan sistem scrubber air tawar diantaranya memiliki tingkat korosif yang rendah sehingga menyebabkan penggunaan material yang tidak mahal. Dengan tingkat korosif yang rendah juga menyebabkan perawatan komponen menjadi lebih jarang. Kemampuan sistem scrubber air tawar dalam membersihkan gas buang lebih efektif dibanding sistem scrubber air laut dikarenakan pada sistem air tawar tidak bergantung kepada kondisi perairan, melainkan menggunakan bahan kimia berupa alkali (NaOH) sebagai penetral kandungan asam pada gas buang.

Dengan dilakukan modifikasi pada sistem scrubber air laut menjadi air tawar, menyebabkan perlu dilakukan penambahan komponen. Adapun komponen yang ditambahkan ke dalam sistem scrubber antara lain adalah penambahan tanki NaOH, *expansion tank* air tawar, pompa air laut, pompa air tawar, pompa NaOH, heat exchanger, dan *wash water treatment unit*. Perhitungan ekonomi selanjutnya dilakukan pada penelitian ini untuk mengetahui biaya instalasi yang diperlukan agar modifikasi ini dapat digunakan di kapal. Biaya instalasi mencakup biaya komponen, pajak, biaya pengiriman, dan biaya asuransi. Dengan melakukan estimasi biaya, maka

total biaya instalasi atas modifikasi sistem scrubber air tawar membutuhkan biaya setidaknya Rp 1.532.149.820,99. Sehingga berdasarkan analisa kelayakan teknis dan ekonomis, modifikasi sistem scrubber air laut menjadi air tawar sistem inert gas pada kapal *Crude Oil Tanker* 85.000 DWT dapat dilakukan dengan estimasi biaya instalasi sekitar 1,5 M Rupiah.

Kata Kunci : Inert Gas, Scrubber, Air Laut, Air Tawar, Modifikasi.

Modification of Sea Water Scrubber System into Fresh Water of Inert Gas System on the Crude Oil Tanker 85,000 DWT

Name of Student : Faris Zulfar Rosyadi
NRP : 0421154000041
Department : Teknik Sistem Perkapalan ITS
Supervisor 1 : Ir. Hari Prastowo, M.Sc.
Supervisor 2 : Nurhadi Siswantoro, S.T., M.T.

Abstract

Each ship carrying hydrocarbons must be equipped with an inert gas system. By definition Inert gas is a gas that does not experience chemical reactions when getting a treatment. On tankers, the function of an inert gas system is to prevent fires and explosions caused by the oxygen content contained in the cargo tank. To cause fire, 3 main factors are needed, namely fuel, heat, and oxygen with a level of at least above 11% of the total air. Inert gas can be produced in several ways, one of which is by utilizing exhaust gas boiler.

Inert gas is produced by cleaning using a scrubber system with sea water media. Using sea water as inert gas cleaning medium has several advantages, which are easy to obtain and have natural alkalinity. However seawater has corrosive properties that cause the use of material in the scrubber system components of the gas inert system to be resistant to corrosion. Corrosive properties of seawater also cause maintenance of components to be carried out more often so that the components are in good condition. Thus, the use of seawater to clean inert gas is ineffective because the cost of components is expensive and the treatment must be more frequent. Therefore, through this research a modification of seawater scrubbers was made into fresh water scrubbers.

Freshwater scrubber systems have advantages over sea water scrubber systems. The advantages of a freshwater scrubber system include having a low corrosive level which causes the use of inexpensive materials. With a low level of corrosiveness, component care is less frequent. The ability of a freshwater scrubber system to clean exhaust gas is more effective than a sea water scrubber system because in freshwater systems it does not depend on the condition of the waters, but uses chemicals (NaOH) to neutralize the acid content of the exhaust gas.

With modifications to the scrubber system sea water becomes fresh water, causing the addition of components. The components added to the scrubber system include adding NaOH tanks, expansion of freshwater tanks, seawater pumps, freshwater pumps, NaOH pumps, heat exchangers, and wash water treatment units. Economic calculations are then carried out in this study to determine the installation costs needed so that these modifications can be used on ships. Installation costs include component costs, taxes, shipping costs, and insurance costs. By estimating costs, the total installation costs for the modification of the freshwater scrubber system require a cost of at least Rp 1,532,149,820.99. So that based on technical and economic feasibility analysis, modification of the sea water scrubber system into fresh water

inert gas on the 85,000 DWT Crude Oil Tanker can be done with an estimated installation cost of around 1.5 Bill. Rupiah.

Key Words : Inert Gas, Scrubber, Sea Water, Fresh Water, Modification.

KATA PENGANTAR

Puji syukur kehadiran Allah SWT yang telah memberikan kekuatan dan kesempatan kepada penulis untuk menyelesaikan Tugas Akhir dengan judul “Modifikasi Sistem Scrubber Dari Sistem Air Laut Menjad Air Tawar Pada Sistem Inert Gas Kapal Crude Oil Tanker 85.000 DWT” dengan hasil yang optimal. Tugas akhir ini diajukan sebagai salah satu syarat kelulusan program studi sarjana di Departemen Teknik Sistem Perkapalan Fakultas Teknologi Kelautan Institut Teknologi Sepuluh Nopember, Surabaya. Penulis sadar bahwa hasil dari pengerjaan tugas akhir ini masih terdapat kekurangan sehingga diperlukan kritik dan saran agar tugas akhir ini menjadi lebih bermanfaat.

Dalam proses pengerjaan tugas akhir ini serta proses dalam menempuh program studi sarjana tidak lepas dari bantuan dan dukungan dari berbagai pihak. Oleh karena itu penulis menyampaikan terimakasih kepada pihak-pihak di bawah ini,

1. Keluarga penulis, Ibu Lilik Zulaihah, Bapak Budhi Rasono, Faisal Rasyid Zulkarnaen, dan Virliani Rachmawati yang selalu mendukung dan mendoakan penulis.
2. Bapak Irfan Syarief Arief, S.T., M.T. selaku dosen wali yang selalu memberikan semangat dan motivasi kepada penulis.
3. Bapak Ir. Hari Prastowo, M.Sc. selaku pembimbing tugas akhir pertama dan Bapak Nurhadi Siswantoro, S.T., M.T. selaku pembimbing tugas akhir kedua, yang telah membimbing penulis dalam proses pengerjaan Tugas Akhir.
4. Bapak Dr. Eng. Badrus Zaman, S.T., M.T., selaku Kepala Departemen Teknik Sistem Perkapalan yang selalu semangat membentuk karakter penulis untuk menjadi pribadi yang lebih baik.
5. Seluruh dosen Departemen Teknik Sistem Perkapalan yang dengan ikhlas membagikan ilmu kepada penulis agar menjadi *engineer* yang siap menghadapi kehidupan pasca kampus.
6. Wahyu Ivan Satyagraha dan Bagas Radiya Putra sebagai teman yang berperan besar dalam kehidupan penulis selama di perantauan.
7. Moch. Dimas Andrea, Sekar Palupi, Ayu Furoidah Michelle Angela, dan Noca Dea sebagai teman yang memberikan motivasi kepada penulis.
8. Safira Riyandita yang senantiasa memberikan dukungan dan menemani penulis selama masa perkuliahan.
9. Teman-teman member laboratorium Marine Operation and Maintenance (MOM) yang sama-sama berjuang untuk menyelesaikan tugas akhir.
10. Teman-teman laboratorium Marine Machinery and System (MMS) yang selalu memberikan dukungan kepada penulis di perkuliahan.
11. Seluruh teman-teman satu angkatan SALVAGE'15 serta kakak tingkat dan adik tingkat
12. Pihak-pihak yang belum bisa penulis cantumkan namanya satu persatu.

Surabaya, 30 Juli 2019

Faris Zulfar R.

“Halaman Ini Sengaja Dikosongkan”

DAFTAR ISI

BAB I PENDAHULUAN	1
1.1. Latar Belakang	1
1.2. Rumusan Masalah	2
1.3. Batasan Masalah	2
1.4. Tujuan Penelitian	2
1.5. Manfaat Penelitian	3
BAB II TINJAUAN PUSTAKA	5
2.1. Segitiga Api	5
2.2. Kapal Tanker	5
2.3. Sistem Inert Gas	6
2.3.1. Regulasi	6
2.3.2. Sumber Inert Gas	7
2.3.3. Kandungan Gas Buang Boiler	8
2.3.4. Komponen Sistem Inert Gas	9
2.4. Sistem Scrubber	14
2.4.1. Tipe Scrubber	14
2.4.2. Komponen Utama Sistem Scrubber	16
2.5. Perancangan Sistem Scrubber	18
2.5.1. Reaksi Kimia di dalam Tanki Scrubber	18
2.5.2. Kebutuhan Pompa	18
2.5.3. Perpindahan Panas	19
2.5.4. Pengolahan <i>Wash Water</i>	19
2.6. Studi Kelayakan	20
BAB III METODE PENELITIAN	21
3.1. Metode Penelitian	21
3.2. Identifikasi dan Perumusan Masalah	22
3.3. Studi Literatur dan Pengumpulan Data	23
3.4. Penggambaran <i>Process Flow Diagram</i> Sistem Scrubber Sebelum dan Sesudah Modifikasi	23
3.5. Perhitungan Spesifikasi Komponen Sistem Scrubber Setelah Modifikasi	

3.6.	Penggambaran Modifikasi P&ID Sistem Scrubber Air Tawar	23
3.7.	Penggambaran Modifikasi <i>Inert Gas Room Arrangement</i>	23
3.8.	Perhitungan Ekonomi Modifikasi Sistem Scrubber	24
3.9.	Kesimpulan dan Saran	24
BAB 4 ANALISIS DATA DAN PEMBAHASAN		25
4.1.	Data Kapal	25
4.2.	Analisa Sistem Scrubber	25
4.2.1.	Sistem Scrubber Air Laut	25
4.2.2.	Sistem Scrubber Air Tawar	27
4.3.	Perancangan Sistem Scrubber	28
4.3.1.	Penggambaran <i>Process Flow Diagram</i>	28
4.3.2.	Perhitungan Modifikasi Sistem Scrubber	31
4.3.3.	Pemilihan Komponen	53
4.3.4.	Modifikasi <i>Piping & Instrumentation Diagram</i>	54
4.3.5.	Modifikasi <i>Inert Gas Room Arrangement</i>	56
4.3.6.	Penyesuaian Kebutuhan Listrik	57
4.4.	Perhitungan Ekonomi	59
4.4.1.	Biaya Instalasi	61
BAB V KESIMPULAN DAN SARAN		63
5.1.	Kesimpulan	63
5.2.	Saran	64
DAFTAR PUSTAKA		65
LAMPIRAN		67
BIODATA PENULIS		83

DAFTAR GAMBAR

Gambar 2 1. Segitiga api.....	5
Gambar 2 2. ULCC Tanker.....	5
Gambar 2 3. P&ID Scrubber Sistem Inert Gas pada kapal <i>Crude Oil</i> Tanker 85.000 DWT	10
Gambar 2 4. Blower.....	11
Gambar 2 5. Pompa Air Laut.....	11
Gambar 2 6. Sea Water Nozzle.....	11
Gambar 2 7. Filter Demister	12
Gambar 2 8. Float Level Switch	12
Gambar 2 9. Oxygen Analyzer	12
Gambar 2 10. Pressure Gauge.....	13
Gambar 2 11. Deck Water Seal.....	13
Gambar 2 12. Wet Scrubber.....	13
Gambar 2 13. Open Type Scrubber	15
Gambar 2 14. Closed Type Scrubber	16
Gambar 2 15. Komponen Utama Scrubber	17
Gambar 3 1. Diagram Alir Penelitian	22
Gambar 4. 1. Proses Pembersihan Gas Buang di Scrubber.....	26
Gambar 4. 2. PFD Sistem Scrubber Air Laut	29
Gambar 4. 3. PFD Sistem Scrubber Air Tawar.....	31
Gambar 4. 4. <i>Scrubber Wash Water Treatment</i>	35
Gambar 4. 5. Moody Diagram NaOH.....	42
Gambar 4. 6. Moody Diagram Air Laut.....	46
Gambar 4. 7. Moody Diagram Air Tawar Suction.....	50
Gambar 4. 8. Moody Diagram Air Tawar Discharge.....	51
Gambar 4. 9. P&ID Modifikasi Sistem Scrubber	55
Gambar 4. 10. Modifikasi <i>Inert Gas Room Arrangement</i>	56

“Halaman Ini Sengaja Dikosongkan”

DAFTAR TABEL

Tabel 1. Klasifikasi Status kadar Oksigen di dalam tanki kargo	1
Tabel 2. Kandungan Gas Buang Boiler	8
Tabel 3. Kandungan Gas sesudah masuk scrubber	14
Tabel 4. Batas Kandungan Wash Water	17
Tabel 5. Data <i>Ship Particular</i> Kapal.....	25
Tabel 6. Keuntungan dan Kerugian Sistem Scrubber Air Laut	26
Tabel 7. Keuntungan dan Kerugian Sistem Scrubber Air Tawar.....	27
Tabel 8. Kadar Zat Gas Buang Boiler.....	32
Tabel 9. Specific Heat Gas Buang	37
Tabel 10. Fittings Suction NaOH.....	43
Tabel 11. Fittings Discharge NaOH.....	44
Tabel 12. Fittings Suction Air Laut	46
Tabel 13. Fittings Discharge Air Laut	47
Tabel 14. Fittings Suction Air Tawar.....	50
Tabel 15. Fittings Discharge Air Tawar.....	52
Tabel 16. Tabel Pemilihan Pipa	53
Tabel 17. Tabel Pemilihan Pompa	53
Tabel 18. Electrical Load Pada Kapal Crude Oil Tanker.....	57
Tabel 19. Perhitungan Electrical Load pada kondisi Bongkar Muat	58
Tabel 20. Daftar Komponen Sistem Scrubber Air Tawar.....	59
Tabel 21. Daftar Pipa dan Fitting Sistem Scrubber Air Tawar	60
Tabel 22. Daftar Komponen	61
Tabel 23. Daftar Pipa & Fitting	61
Tabel 24. Biaya Instalasi	61
Tabel 25. Analisa Sistem Scrubber Air Laut	63
Tabel 26. Analisa Sistem Scrubber Air Tawar	63
Tabel 27. Spesifikasi Pompa Tambahan	63

“Halaman Ini Sengaja Dikosongkan”

BAB I

PENDAHULUAN

1.1. Latar Belakang

Setiap kapal yang mengangkut muatan hidrokarbon harus dilengkapi sistem inert gas. Secara definisi Inert gas merupakan gas yang tidak mengalami reaksi kimia ketika mendapatkan suatu perlakuan. Pada kapal tanker, fungsi dari inert gas sistem sendiri adalah untuk mencegah terjadinya kebakaran maupun ledakan yang diakibatkan oleh kadar oksigen yang terkandung di dalam tanki kargo. Untuk menyebabkan timbulnya api, diperlukan 3 faktor utama yaitu bahan bakar, panas, dan oksigen dengan kadar minimal diatas 11% dari total udara.

Tabel 1. Klasifikasi Status kadar Oksigen di dalam tanki kargo¹

Kadar O ₂	Status
11 %	Max. Oxygen Level
8 %	Max. Oxygen Level Allowed
5 %	Satisfactory Oxygen Level
<3 %	Best Oxygen Level

Dari data pada Tabel 1. Menunjukkan kadar oksigen yang diizinkan untuk berada di dalam tanki kargo. Kadar oksigen maksimum yang diizinkan berada dalam tanki kargo adalah sebanyak 8 persen dari total udara. Adapun kadar oksigen yang direkomendasikan berada di dalam tanki kargo adalah di bawah 5 persen, dengan kadar di bawah 3 persen sebagai kadar terbaik.

Inert gas dapat dihasilkan dengan beberapa cara, salah satunya adalah dengan memanfaatkan *flue gas* atau gas buang dari boiler. Gas buang boiler dapat digunakan sebagai inert gas karena gas buang tersebut memiliki kadar oksigen yang rendah. Pada kapal *Crude Oil Tanker* berukuran 85.000 DWT, memanfaatkan gas buang dari boiler untuk kemudian digunakan sebagai inert gas. Inert gas dari gas buang boiler tersebut tidak dapat langsung digunakan ke dalam tanki kargo, namun harus melalui proses pembersihan terlebih dahulu dari kotoran berupa partikel padat yang ikut terbawa dari hasil pembakaran boiler. Pada kapal ini, dilakukan pembersihan gas buang pada scrubber dengan menggunakan air laut sebagai media utama pembersihan inert gas. Untuk penggunaan media air laut, air laut diambil dengan menggunakan pompa air laut yang langsung didistribusikan ke dalam scrubber untuk digunakan sebagai media pembersih gas buang boiler. Setelah digunakan, air laut tersebut langsung dialirkan keluar dari kapal melalui *overboard*.

Penggunaan air laut sebagai media pembersih inert gas memiliki beberapa keuntungan, yaitu mudah untuk didapat dan memiliki alkalinitas alami. Namun air laut memiliki sifat korosif yang menyebabkan penggunaan material pada komponen sistem scrubber sistem inert gas harus tahan terhadap korosi. Sifat korosif air laut juga menyebabkan perawatan komponen harus dilakukan lebih sering agar komponen tersebut dalam kondisi baik. Sehingga, penggunaan air laut untuk membersihkan inert gas tidak efektif dikarenakan biaya komponen yang mahal dan perawatan yang dilakukan harus lebih sering.

¹ Sri Endah Susilowati, "Inert Gas System Kapal Motor Tanker Gandini", ISSN 2338-8102, September 2015

Oleh karena itu, melalui penelitian ini dilakukan suatu modifikasi pada sistem scrubber sistem inert gas kapal *Crude Oil Tanker* berukuran 85.000 DWT yang menggunakan air laut sebagai media pembersih gas buang menjadi menggunakan air tawar sebagai media pembersih gas buang. Alasan utama penggunaan air tawar adalah karena sifat air tawar tidak korosif, sehingga memungkinkan penggunaan material yang tidak perlu sebaik ketika menggunakan media air laut. Dengan sifat air tawar yang tidak korosif, maka perawatan komponen pun tidak dilakukan terlalu sering. Sehingga dengan dilakukannya penelitian ini akan memberikan gambaran terkait dengan modifikasi sistem scrubber pada sistem inert gas kapal tanker dari penggunaan air laut menjadi air tawar.

1.2. Rumusan Masalah

Rumusan masalah yang akan dibahas dalam penelitian ini adalah sebagai berikut:

1. Bagaimana permasalahan yang timbul dari penggunaan sistem scrubber air laut sehingga memungkinkan untuk diganti menjadi sistem scrubber air tawar pada Sistem Inert Gas?
2. Bagaimana modifikasi *Piping and Instrumentation Diagram* sistem scrubber air laut menjadi sistem scrubber air tawar pada Sistem Inert Gas Kapal *Crude Oil Tanker* 85.000 DWT?
3. Bagaimana modifikasi *Inert Gas Room Arrangement* terhadap penambahan peralatan pada Sistem Inert Gas Kapal *Crude Oil Tanker* 85.000 DWT?
4. Bagaimana perhitungan Estimasi Biaya Instalasi yang dikeluarkan dengan modifikasi Sistem Scrubber Pada Sistem Inert Gas Kapal *Crude Oil Tanker* 85.000 DWT?
5. Bagaimana Kelayakan Teknis dan Ekonomis terhadap penerapan modifikasi Sistem Scrubber Pada Sistem Inert Gas Kapal *Crude Oil Tanker* 85.000 DWT?

1.3. Batasan Masalah

Batasan masalah dalam penelitian ini adalah sebagai berikut :

1. Penelitian ini dilakukan pada kapal *Crude Oil Tanker* berukuran 85.000 DWT.
2. Modifikasi scrubber dilakukan sampai P&ID, tidak sampai *Detail Drawing* ataupun *Construction Drawing*.
3. Perhitungan ekonomi yang dilakukan hanya analisa dari segi biaya investasi pada sistem yang telah dimodifikasi.

1.4. Tujuan Penelitian

Tujuan dari dilakukannya penelitian ini adalah sebagai berikut :

1. Mengetahui permasalahan yang timbul dari penggunaan sistem scrubber air laut sehingga memungkinkan untuk diganti menjadi sistem scrubber air tawar pada Sistem Inert Gas.
2. Mendapatkan hasil modifikasi *Piping and Instrumentation Diagram* sistem scrubber air laut menjadi sistem scrubber air tawar pada Sistem Inert Gas Kapal *Crude Oil Tanker* 85.000 DWT.

3. Mendapatkan hasil modifikasi *Inert Gas Room Arrangement* terhadap penambahan peralatan pada Sistem Inert Gas Kapal *Crude Oil Tanker* 85.000 DWT.
4. Mendapatkan hasil perhitungan Estimasi Biaya Instalasi yang dikeluarkan dengan modifikasi Sistem Scrubber Pada Sistem Inert Gas Kapal *Crude Oil Tanker* 85.000 DWT.
5. Mendapatkan hasil Kelayakan Teknis dan Ekonomis terhadap penerapan modifikasi Sistem Scrubber Pada Sistem Inert Gas Kapal *Crude Oil Tanker* 85.000 DWT.

1.5. Manfaat Penelitian

Manfaat dari penelitian ini adalah sebagai berikut :

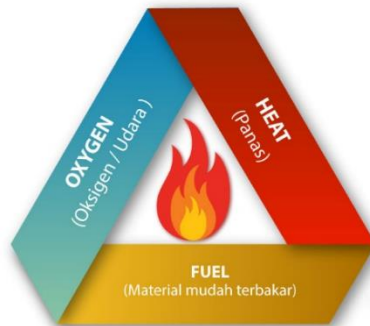
1. Memberikan gambaran terkait dengan modifikasi sistem scrubber pada sistem inert gas kapal *crude oil tanker*.
2. Memberikan rekomendasi kepada pihak yang terlibat seperti pemilik kapal dan operator kapal dalam menentukan pemilihan media pembersih sistem scrubber pada sistem inert gas.

“Halaman Ini Sengaja Dikosongkan”

BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

2.1. Segitiga Api



Gambar 2 1. Segitiga api
Sumber : saberindo.co.id

Api merupakan suatu reaksi kimia yang melibatkan beberapa unsur pembentuk seperti, sumber panas, benda mudah terbakar, dan oksigen. Proses pembentukannya dapat dijelaskan oleh segitiga api pada Gambar 2.1. Berikut merupakan ketiga unsur pembentuk api, antara lain :

1. Sumber panas

Sumber panas merupakan sumber pengapian yang apabila memiliki energi yang cukup dapat menjadi pemantik. Terdapat beberapa sumber utama energi panas antara lain, reaksi kimia, proses mekanik, elektrik, dan nuklir.

2. Bahan mudah terbakar

Bahan mudah terbakar dapat berupa benda padat, cair, dan gas. Akan tetapi untuk padatan dan cairan harus dikonversikan menjadi benda gas untuk dapat terbakar. Ketiga benda tersebut dapat terbakar apabila bereaksi dengan udara dan di pantik.

3. Oksigen

Oksigen yang terkandung dalam udara dapat menjadi pemicu kebakaran. Oksigen juga bisa didapat dari seyawa kimia yang disebut oksidator yang dibutuhkan untuk pembakaran.

2.2. Kapal Tanker



Gambar 2 2. ULCC Tanker
Sumber : maritime-connector.com

Kapal tanker ialah kapal yang dirancang untuk mengangkut fluida, baik itu fluida cair maupun gas. Kapal tanker dapat digunakan untuk mengangkut fluida seperti minyak, bahan kimia, dan gas. Gambar 2.2. merupakan salah satu tipe kapal tanker yang termasuk kategori ULCC. Berdasarkan ukurannya, kapal tanker dibagi sebagai berikut :

- Panamax Tanker : 35.000 – 60.000 DWT
- Alfranax Tanker : 70.000 – 120.000 DWT
- Suez Tanker : 120.000 – 165.000 DWT
- Very Large Crude Carrier : 200.000 – 310.000 DWT
- Ultra Large Crude Carrier : 310.000 – 550.000 DWT

2.3. Sistem Inert Gas

Sistem Inert Gas adalah suatu sistem yang digunakan untuk mempertahankan kadar oksigen di dalam tanki agar tetap rendah sehingga tidak memungkinkan timbulnya kebakaran. Sistem inert gas bekerja dengan memasukkan gas inert ke dalam tanki muatan untuk mendesak udara terutama oksigen keluar dari dalam tanki (Oil Companies International Marine Forum (OCIMF), 2017). Aturan mengenai pemasangan sistem inert gas pada kapal tanker merupakan keharusan yang diatur di dalam IMO (*International Maritime Organization*) dan badan klasifikasi.

2.3.1. Regulasi

2.3.1.1. Safety of Life at Sea

Penggunaan Sistem Inert Gas diatur dalam International Convention for the Safety of Life at Sea (SOLAS) Chapter II-2 Part B : Prevention of Fire and Explosion, Regulation 4. Pada tahun 1980, aturan terkait pemasangan sistem inert gas pada kapal tanker berukuran 100.000 DWT atau lebih berstatus “entry into force”. Pada tahun 1981, dilakukan amandemen sehingga ukuran kapal tanker yang harus dilengkapi dengan sistem inert gas adalah pada kapal berukuran 20.000 DWT ke atas.

Per tanggal 1 Januari 2016, Amandemen SOLAS terbaru kembali menjadi aturan yang berstatus “entry into force”, yaitu terkait ukuran kapal yang harus dilengkapi sistem inert gas. Teruntuk kapal tanker bangunan baru yang berukuran 8.000 DWT atau lebih, yang sedang dibangun maupun akan dibangun, harus dilengkapi sistem inert gas ketika membawa muatan mudah terbakar.

2.3.1.2. Biro Klasifikasi Indonesia

Aturan mendetail terkait Sistem Inert Gas juga diatur dalam *class*, sebagaimana BKI mengatur terkait penggunaan inert gas pada kapal tanker pada *Volume III Rules for Machinery Installations, Section 15 Special Requirement for Tankers, Part D Sistem Inert Gas for Tankers*. BKI mengatur terkait regulasi teknis penggunaan sistem inert gas seperti :

- Pada kondisi normal, sistem inert gas harus mampu mencegah udara luar masuk ke dalam tanki dan harus menjaga kadar oksigen di dalam tanki kurang dari 8%.
- Sistem inert gas harus mampu mengeluarkan gas hidrokarbon dari dalam tanki pada kondisi tanki kosong hingga kadar hidrokarbon yang tersisa kurang dari 2%

- Kadar oksigen yang dialirkan oleh sistem inert gas, baik melalui inert gas maupun nitrogen tidak melebihi 5%

2.3.1.3. *Maritime Safety Committee (MSC).367(93)*

Sistem inert gas sebagaimana mengacu pada Chapter II-2, harus dirancang, dibangun, dan diuji sebagaimana aturan yang tertulis. Sistem ini dirancang untuk mempertahankan atmosfer di dalam tanki kargo sehingga tidak mudah terbakar. Sistem inert gas harus mampu untuk :

- Mengisi inert gas ke dalam tanki kargo kosong dan menjaga atmosfer di bagian mana pun dari tanki dengan kandungan oksigen tidak melebihi 8% dari total volume dan pada tekanan positif di pelabuhan dan di laut, kecuali jika diperlukan agar tanki seperti itu menjadi bebas dari gas (*gas-free*).
- Menghilangkan kebutuhan udara untuk memasuki tanki selama operasi normal kecuali bila diperlukan agar tanki menjadi bebas dari gas (*gas free*).
- Membersihkan tanki kargo dari kandungan hidrokarbon atau uap yang mudah terbakar, sehingga ketika dilakukan proses *gas freeing* tidak akan menciptakan atmosfer yang mudah terbakar di dalam tanki.
- Mengirimkan gas inert ke tanki kargo dengan kapasitas aliran setidaknya 125% dari kapasitas aliran maksimum peralatan bongkar muat pada kapal. Untuk kapal *chemical tanker* dan kapal *product tanker*, administrasi dapat menerima sistem inert gas yang memiliki kapasitas pengiriman lebih rendah asalkan kapasitas aliran maksimum peralatan bongkar muat tanki kargo yang disuplai oleh sistem dibatasi tidak lebih dari 80% kapasitas inert gas.
- Mengirimkan inert gas dengan kandungan oksigen tidak lebih dari 5% dari total volume ke tanki kargo dengan kapasitas aliran yang disyaratkan.

2.3.2. **Sumber Inert Gas**

Prinsip kerja dari Sistem Inert Gas adalah untuk menjaga kadar oksigen (O₂) di dalam tanki tidak lebih dari 8% pada tekanan atmosfer. Cara untuk menjaga agar kadar oksigen rendah adalah dengan mendorong gas yang terdapat di dalam tanki dengan gas inert. Untuk mendapatkan inert gas dapat dilakukan dengan berbagai cara.

Menurut Smith (1985), inert gas dapat diperoleh dengan cara berikut : (1) Gas buang mesin diesel, (2) Nitrogen, (3) Gas pembakaran burner, (4) Gas buang mesin boiler.

1. **Gas Buang Mesin Diesel**

Inert gas dihasilkan dengan memanfaatkan gas buang dari *Main Engine*. Metode ini tidak memerlukan pembakaran sendiri, sehingga komponen yang digunakan tidak banyak. Namun penggunaan gas buang mesin diesel tidak efektif dikarenakan kadar oksigen yang dihasilkan masih cukup tinggi, yaitu sekitar 12%.

2. Nitrogen

Sistem inert gas ini menggunakan Nitrogen (NO_2) sebagai inert gas. Nitrogen biasa digunakan pada kapal *chemical tanker*. Hal tersebut dikarenakan dengan menggunakan Nitrogen tidak menghasilkan kotoran yang dapat mengkontaminasi kargo.

3. Gas Pembakaran Burner

Inert gas dihasilkan melalui pembakaran yang dilakukan oleh burner atau yang disebut Inert Gas Generator. Metode ini memerlukan komponen tambahan untuk menghasilkan gas inert. Dengan menggunakan burner, kadar oksigen yang dihasilkan dapat diatur agar sesuai dengan kebutuhan.

4. Gas Buang Boiler

Inert gas dihasilkan dengan memanfaatkan gas buang yang dari boiler. Dengan memanfaatkan gas buang boiler, sistem inert gas tidak melakukan pembakaran sendiri yang menyebabkan jumlah komponen menjadi lebih sedikit.

2.3.3. Kandungan Gas Buang Boiler

Pada kapal Crude Oil Tanker berukuran 85.000 DWT menggunakan gas buang boiler sebagai sumber penghasil inert gas. Gas tersebut kemudian dialirkan ke dalam tanki melalui pipa atau sistem yang telah dibersihkan dan didinginkan. Pada gas buang boiler tersebut terdapat gas dan partikel yang perlu dibersihkan sebagaimana dapat dilihat pada tabel 2 :

Tabel 2. Kandungan Gas Buang Boiler²

Zat	Kadar	Karakteristik
N_2	77 % by Volume	Bersifat Inert
CO_2	13 % by Volume	Bersifat Inert dan <i>Toxic</i>
H_2O	5 % by Volume	Bersiaft Inert
O_2	4 % by Volume	<i>Flammable</i>
SO_2	0,3 % by Volume	Korosif dan <i>Toxic</i>
Zat	Kadar	Karakteristik
NO_x	0,04 % by Volume	<i>Toxic</i>
CO	0,1 % by Volume	<i>Toxic</i>
Kotoran dan Abu	$\pm 150 \text{ mg / m}^3$	Berpotensi menyumbat sistem

Dari Tabel 2. dapat dilihat kandungan yang terdapat pada gas buang boiler. Dari kandungan tersebut yang penting untuk dibersihkan sebelum dialirkan ke dalam tanki kargo adalah Gas SO_2 serta kotoran dan abu. Gas Sulfur Dioksida (SO_2) harus dikeluarkan karena bersifat korosif. Sifat korosif tersebut berpotensi merusak komponen pada material kapal sehingga penting untuk dibersihkan. Kotoran dan abu juga merupakan salah satu faktor yang harus dibersihkan, karena apabila dibiarkan mengalir, kotoran tersebut berpotensi untuk menyumbat sistem (Hendyta, 2009).

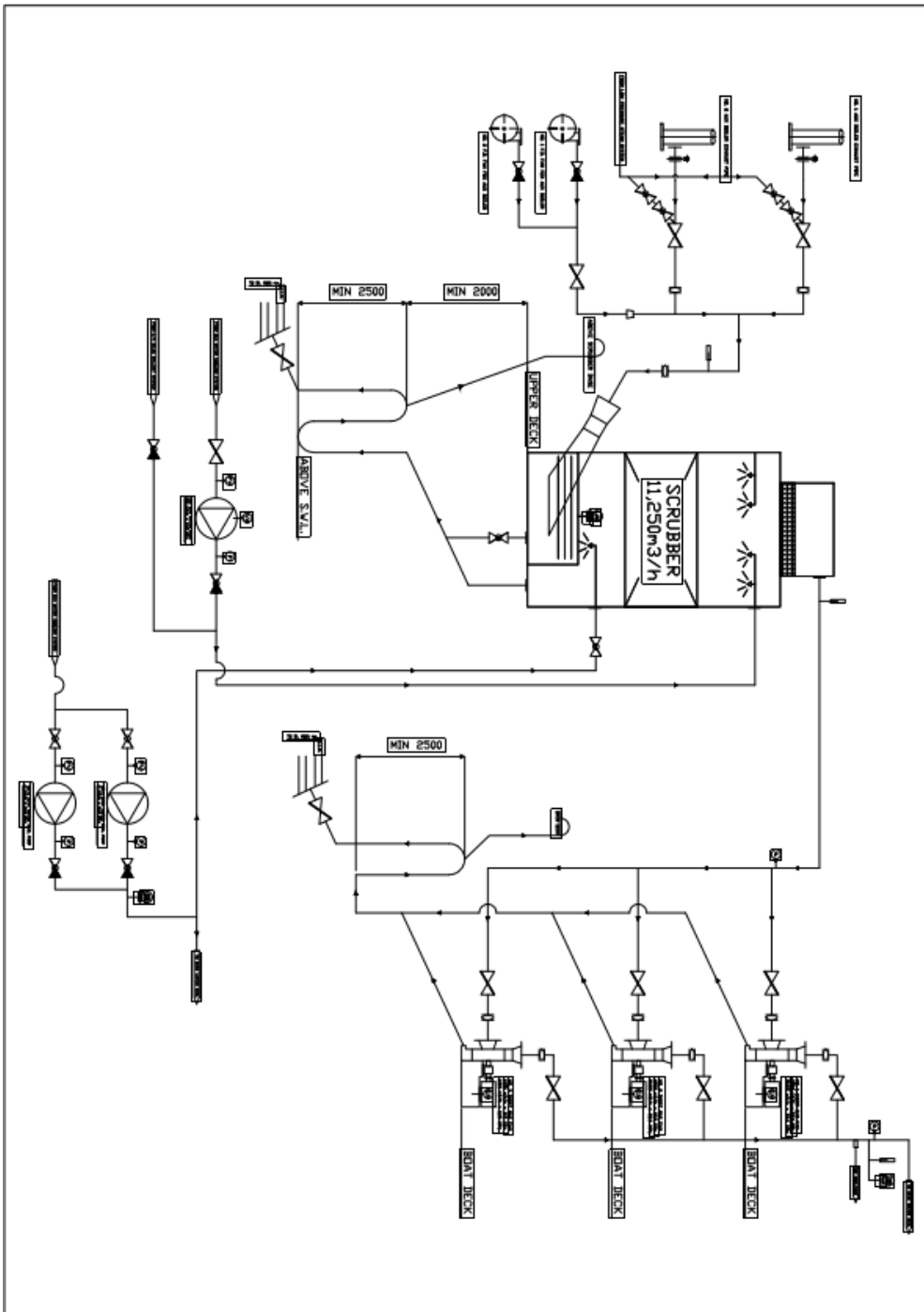
² Prasetya Sigit Santosa, "Penggunaan Inert Gas System Pada Kapal Tanker", BAHARI Jogja Vol. VII no. 11/2007

Selain kandungan-kandungan gas buang yang harus dibersihkan, terdapat parameter lain yang juga harus diberi perlakuan. Parameter tersebut adalah temperatur gas buang. Gas buang hasil pembakaran boiler memiliki temperatur setidaknya 300° C. Suhu tersebut terlalu tinggi, sehingga perlu didinginkan terlebih dahulu sebelum digunakan ke dalam tanki kargo.

2.3.4. Komponen Sistem Inert Gas

Penelitian ini dilakukan pada kapal *Crude Oil Tanker* berukuran 85.000 DWT. Pada kapal ini menggunakan Sistem Inert Gas dengan memanfaatkan gas buang boiler sebagai penghasil inert gas. Inert gas yang dihasilkan oleh gas buang boiler kemudian dibersihkan dengan menggunakan air laut sebagai media utama pembersihnya. Setelah dibersihkan, inert gas tersebut dialirkan menuju *Deck Water Seal* untuk melalui proses pembersihan kembali dan kemudian dialirkan menuju tanki kargo (Susilowati, 2015).

Dari Gambar 2.3. dapat dilihat proses pembersihan inert gas melalui scrubber beserta komponen-komponennya. Adapun komponen yang terdapat pada proses pembersihan inert gas berupa blower, pompa air laut, nozzle, filter demister, level switch, drain valve, oxygen analyzer, pressure connection, deck water seal, dan scrubber.



Gambar 2.3. P&ID Scrubber Sistem Inert Gas pada kapal *Crude Oil Tanker* 85.000 DWT

Secara skematis, komponen pada Sistem Inert Gas adalah sebagai berikut :

A. Blower



Gambar 2 4. Blower
Sumber : gidonline.com

Blower berfungsi untuk mensuplai udara. Udara yang disuplai merupakan gas hasil pembakaran, baik dari hasil pembakaran boiler, main engine, maupun burner.

B. Pompa Air Laut



Gambar 2 5. Pompa Air Laut
Sumber : pacificmarine.net

Pompa digunakan untuk mengalirkan fluida. Pada sistem inert gas digunakan pompa air laut untuk mengalirkan air laut yang kemudian digunakan untuk mendinginkan suhu gas pembakaran, serta membersihkan kotoran dan debu gas pembakaran.

C. Nozzel



Gambar 2 6. Sea Water Nozzle
Sumber : naffco.com

Merupakan alat yang digunakan untuk mengontrol karakteristik aliran fluida saat keluar dari ruang tertutup atau pipa. Nozzle pada sistem inert gas digunakan pada scrubber, dan dialirkan dalam bentuk *spray*.

D. Filter Demister



Gambar 2 7. Filter Demister
Sumber : demisterpads.com

Merupakan filter yang terbuat dari baja, yang digunakan untuk memisahkan air dan udara yang terkandung dalam kabut air. Kabut air dihasilkan dari proses pembersihan gas buang yang bersuhu tinggi dengan air sebagai media pembersih dan pendingin. Kabut air yang mengalir melalui demister akan menghasilkan gas yang terbebas dari air.

E. Level Switch



Gambar 2 8. Float Level Switch
Sumber : indiamart.com

Digunakan untuk mengatur ketinggian air pada scrubber. Apabila ketinggian air berkurang dari batas yang telah ditentukan, sehingga pompa akan menyala dan kembali mengisi scrubber sampai batas yang telah ditentukan.

F. Drain Valve

Merupakan katup yang digunakan untuk menguras cairan dari tanki atau tempat penyimpanan air. Pada sistem inert gas, drain valve digunakan untuk menguras Scrubber dari air laut yang ditampung.

G. O₂ Analyzer



Gambar 2 9. Oxygen Analyzer
Sumber : indiamart.com

Merupakan alat pembaca kadar oksigen di dalam tanki. Mengingat fungsinya yang penting, maka alat ini rutin dilakukan kalibrasi.

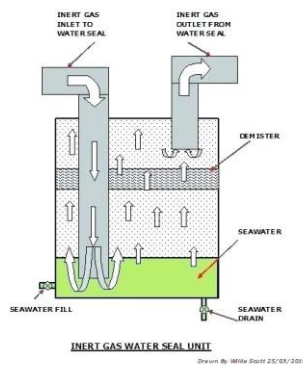
H. Pressure Connection



Gambar 2 10. Pressure Gauge
Sumber : diverite.com

Berfungsi untuk mengukur tekanan udara di dalam tanki kargo.

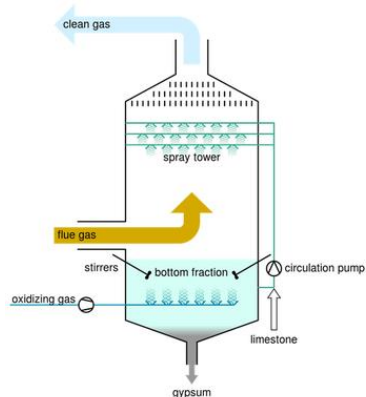
I. Deck Water Seal



Gambar 2 11. Deck Water Seal
Sumber : britghubengineering.com

Deck Water Seal merupakan tanki yang berfungsi untuk menyaring gas inert sebelum masuk ke dalam tanki kargo. Deck water seal menggunakan air laut sebagai media pembersih gas inert. Setelah melalui pembersihan dengan air laut, gas inert akan kembali melalui filter yaitu adalah demister yang digunakan untuk memisahkan gas dengan cair.

J. Scrubber



Gambar 2 12. Wet Scrubber
Sumber : energyeducation.ca

Merupakan tanki tempat berlangsungnya proses pembersihan gas buang hasil pembakaran. Pada scrubber terdapat outlet dari gas buang hasil pembakaran, nozzle tempat keluarnya air laut dalam bentuk spray yang berfungsi untuk membersihkan gas buang dari partikel padat yang terbawa oleh gas buang. Setelah melalui air laut, gas buang akan mengalir melalui filter demister untuk membuang kandungan air yang ikut terbawa oleh gas.

2.4. Sistem Scrubber

Sistem scrubber banyak digunakan pada berbagai bidang industri, salah satunya adalah industri perkapalan. Terkhusus pada kapal tanker, kegunaan sistem scrubber adalah untuk menyaring gas hasil pembakaran yang kemudian dialirkan menuju tanki kargo dalam sistem inert gas.

Proses pembersihan gas buang oleh scrubber dilakukan dengan menggunakan cairan. Setelah menggunakan cairan untuk membersihkan gas buang, gas tersebut mengalir melalui filter demister sebelum dialirkan oleh blower menuju tanki kargo. Menurut Smith (1985), yang melakukan analisis berdasarkan volume kondisi unsur-unsur gas sesudah masuk scrubber adalah sebagai berikut :

Tabel 3. Kandungan Gas sesudah masuk scrubber³

Jenis Gas	Kandungan
<i>Carbon dioxide, CO₂</i>	12 %
<i>Oxygen, O₂</i>	4.5 %
<i>Sulphur dioxide, SO₂</i>	0.02 %
<i>Nitrogen, N₂</i>	77 %

Pada Tabel 3. dapat dilihat kandungan gas yang terdapat setelah dilakukan proses pembersihan melalui scrubber. Diantara kandungan tersebut terdapat CO₂ dengan kadar 12%, SO₂ dengan kadar 0.02 %, N₂ dengan kadar 77%, dan O₂ dengan kadar 4.5%.

2.4.1. Tipe Scrubber

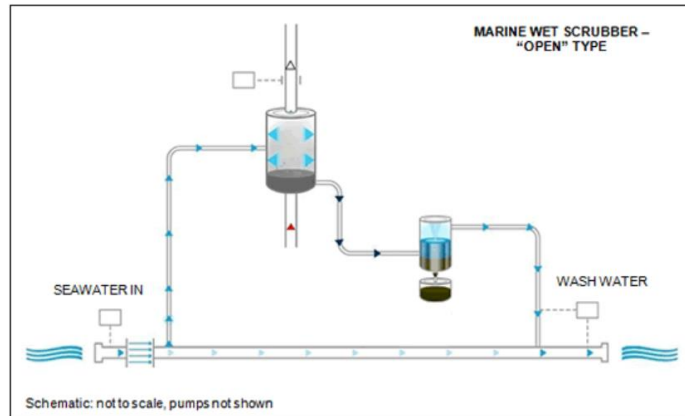
Terdapat beberapa tipe dari scrubber. Yang membedakan dari tipe tersebut adalah media yang digunakan untuk membersihkan gas buang, baik itu gas buang yang dihasilkan dari burner / generator, atau dari boiler. Tipe-tipe dari scrubber tersebut adalah *open type scrubber* dan *closed type scrubber*.

Open type scrubber merupakan scrubber yang menggunakan air tempat kapal tanker berlayar sebagai media yang membersihkan gas buang. Open type scrubber biasa menggunakan air laut sebagai media pembersihnya, sehingga disebut sebagai sea water scrubber. Adapun secara skematik, *open type scrubber* atau yang disebut scrubber air laut dapat dilihat pada Gambar 2.14. *Closed type scrubber* merupakan sistem scrubber yang menggunakan air tawar sebagai media pembersih gas buang. Adapun secara skematik, *closed type scrubber* atau yang disebut scrubber air tawar dapat dilihat pada gambar 2.15.

³ Sri Endah Susilowati, "Inert Gas System Kapal Motor Tanker Gandini", ISSN 2338-8102, September 2015

2.4.1.1. Sistem Scrubber Air Laut

Dari Gambar 2.14. dapat dilihat proses yang terjadi pada scrubber air laut. Dalam scrubber air laut atau "*open type*" scrubber, air laut digunakan sebagai air cuci untuk scrubbing, dan air limbah yang dihasilkan akan dibersihkan kemudian dibuang kembali ke laut. Alkalinitas alami dari air laut digunakan untuk menetralkan keasaman yang dihasilkan dari pembuangan kandungan sulfur oksida (SO_x).



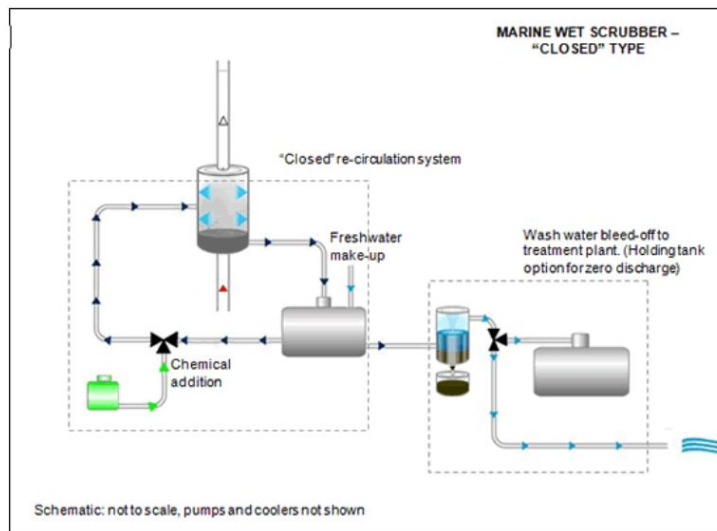
Gambar 2.13. Open Type Scrubber
Sumber : Exhaust Gas Scrubber Washwater Effluent

Dalam membersihkan gas buang, volume air laut yang diperlukan untuk membersihkan gas buang sebanding dengan alkalinitas dan suhu air yang digunakan (DNV, 2009). Konsumsi energi dari penggunaan sistem scrubber air laut adalah 2 hingga 3 persen dari output daya mesin yang dibersihkan (Filancia, 2009).

Proses pada sistem scrubber air laut membutuhkan gas buang untuk dilarutkan dengan air laut agar melarutkan Sulfur Oksida (SO_x). Kandungan Sulfur Oksida yang dihasilkan oleh mesin biasanya terdiri dari 95% Sulfur Dioksida (SO_2) dan 5% Sulfur Trioksida (SO_3) (EGCSA, 2010). Ketika dilarutkan, terjadi reaksi dimana sulfur dioksida diionisasi menjadi bisulfit dan sulfit, yang kemudian mudah teroksidasi menjadi sulfat dalam air laut yang mengandung oksigen (Hassellöv dan Turner, 2007).

2.4.1.2. Sistem Scrubber Air Tawar

Dari Gambar 2.15. dapat dilihat proses yang terjadi pada sistem scrubber air tawar. Dalam sistem scrubber air tawar atau *closed type scrubber*, air tawar ditambahkan alkali kimia seperti soda kaustik yang keudian digunakan sebagai penetral ketika proses *scrubbing*. Air tawar yang telah digunakan di sirkulasi kembali, dan setiap kehilangan akibat penguapan akan diganti dengan air tawar tambahan. Air tawar yang telah digunakan tersebut diolah untuk kemudian digunakan kembali, sedangkan kotorannya akan dibuang (Maulana, Kristanto, & Dahlan, 2018).

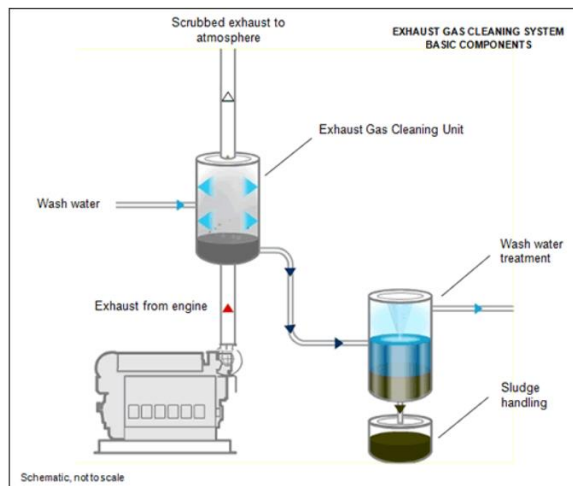


Gambar 2 14. Closed Type Scrubber
Sumber : Exhaust Gas Scrubber Washwater Effluent

Sistem scrubber air tawar dapat secara berkala dioperasikan dalam "mode nol pembuangan", yaitu metode membersihkan gas buang tanpa membuang air hasil pembersihan tersebut ke laut (SSG, 2007). Sistem Scrubber air tawar biasa digunakan ketika diperlukan pembersihan dengan efisiensi tinggi atau ketika alkalinitas yang terdapat pada air laut tidak mencukupi untuk membersihkan gas buang. Kemampuan untuk mengoperasikan EGCS dengan sistem tertutup akan menguntungkan ketika berlayar di perairan dengan alkalinitas rendah. Efisiensi pembuangan gas buang Sulfur Oksida (SO_x) dari scrubber air tawar biasanya lebih dari 90 persen dan efisiensi pembersihan hingga 97 persen dapat diperoleh untuk pembuangan dari mesin generator.

2.4.2. Komponen Utama Sistem Scrubber

Untuk menghasilkan inert gas, terdapat beberapa proses yang dilalui oleh gas tersebut pada sistem scrubber. Dari Gambar 2.13. dapat dilihat proses-proses yang dilalui. Terdapat proses pembersihan gas buang dengan memanfaatkan media air. Kemudian terdapat proses *treatment* terhadap air yang digunakan untuk membersihkan gas buang sehingga menghasilkan *sludge*. Oleh karena itu, setiap scrubber setidaknya akan dilengkapi dengan 3 komponen utama (Office of Wastewater Management, 2011):



Gambar 2 15. Komponen Utama Scrubber
Sumber : Exhaust Gas Scrubber Washwater Fluent

2.4.2.1. Exhaust Gas Cleaning Unit

Merupakan chamber yang berguna sebagai tempat bertemunya gas buang boiler maupun engine dengan air, baik itu berupa air laut maupun air tawar. Proses bertemunya air dengan gas buang juga merupakan proses pembersihan gas buang dari debu dan kotoran hasil pembakaran. Pada sistem ini, tempat bertemunya gas buang dengan media pembersih adalah pada tanki scrubber. Gas buang dapat mengalir ke dalam tanki scrubber dengan memanfaatkan blower yang terpasang pada sistem. Sedangkan air sebagai media pembersih dapat mengalir ke dalam tanki scrubber dengan memanfaatkan pompa.

2.4.2.2. Wash Water Treatment Unit

Merupakan alat yang digunakan untuk membuang polutan terlarut dalam air, seperti Sulfur Oksida (SO_x), dan Nitrogen Oksida (NO_x). Kandungan-kandungan tersebut telah berubah bentuk menjadi Sulfat dan Nitrat yang terlarut dalam air setelah proses scrubbing. Air hasil proses scrubbing juga mengandung padatan tersuspensi, logam berat, hidrokarbon, dan hidrokarbon polisiklik aromatik (PAHs). Sebelum air hasil proses scrubbing dibuang, harus diberi perlakuan untuk menghilangkan zat padat.

Regulasi terkait dengan kualitas *wash water* diatur dalam *Marine Environment Protection Committee* (MEPC).184 (59) Annex 9 Section 10. Adapun aspek yang diperhatikan dalam aturan tersebut antara lain :

⁴Tabel 4. Batas Kandungan Wash Water

Parameter	Value
pH	> 6,5
PAH	1,226 $\mu\text{g/l}$
Turbidity	25 FNU
Nitrate	60 mg/l

⁴ MEPC.184 (59) . (2009). *Guidelines for Exhaust Gas Cleaning Systems*.

2.4.2.3. Sludge Handling

Sludge Handling merupakan proses pembuangan sludge atau kotoran yang tertampung dalam *Sludge tank* atau tanki pengendapan. Sludge yang tertampung setelah dilakukan proses scrubbing dapat digabung dengan sludge yang dihasilkan oleh *oily water bilge system*.

2.5. Perancangan Sistem Scrubber

2.5.1. Reaksi Kimia di dalam Tanki Scrubber

Di dalam tanki scrubber, terdapat reaksi kimia yang terjadi antara gas buang dengan air sehingga gas buang tersebut menjadi bersih dan bebas dari kandungan asam. Pada sistem air laut, menggunakan alkalinitas yang dimiliki air laut untuk membersihkan gas buang. Sedangkan pada sistem scrubber air tawar, menggunakan alkali tambahan sebagai pereaksi terhadap kandungan asam di dalam zat buang. Alkali yang umum digunakan pada sistem air tawar adalah sodium hidroksida (NaOH) (Chang, 2008). Setidaknya terdapat 3 persamaan reaksi yang terjadi ketika proses pembersihan gas buang pada sistem air tawar :

1. $\text{NaOH} + \text{SO}_2$
2. $\text{NaOH} + \text{NO}$
3. $\text{NaOH} + \text{NO}_2$

Dengan mengetahui persamaan reaksi yang terjadi di dalam tanki scrubber tersebut, maka dapat dihitung kebutuhan NaOH untuk membersihkan gas buang dari boiler kapal.

2.5.2. Kebutuhan Pompa

Media utama pembersih gas buang dalam sistem scrubber adalah dengan menggunakan air. Pada *open type scrubber*, air yang digunakan adalah air laut. Pada *closed type scrubber*, air yang digunakan adalah air tawar. Fluida cair dialirkan ke dalam tanki scrubber dengan menggunakan pompa. Pompa adalah suatu alat untuk memindahkan zat cair atau fluida dari suatu tempat ke tempat lain melalui media perpipaan. Prinsip dari pompa adalah mengubah energi mekanis menjadi energi kinetis. Adapun dalam menentukan kebutuhan pompa perlu diketahui beberapa variabel, diantaranya adalah head dan kapasitas pompa (Sularso & Tahara, 2000).

Head adalah energi per satuan berat yang harus disediakan untuk mengalirkan sejumlah zat cair yang direncanakan sesuai dengan kondisi instalasi pompa, atau tekanan untuk mengalirkan sejumlah zat cair, yang umumnya dinyatakan dalam satuan panjang. Menurut persamaan Bernauli, ada tiga macam head (energi) fluida dari sistem instalasi aliran, yaitu, energi tekanan, energi kinetik dan energi potensial. Hal ini dapat dinyatakan dengan rumus sebagai berikut:

$$H_t = \left[\frac{(p_1 - p_2)}{\rho g} + \frac{(v_1^2 - v_2^2)}{2g} + (z_1 - z_2) \right] \quad (2.1.)$$

Dimana :

H_t = Head Total (m)

p = Tekanan fluida (atm)

v = Laju aliran fluida (m/s)

- z = Ketinggian fluida (m)
 ρ = Massa Jenis fluida (kg/m^3)
 g = Percepatan gravitasi (m^2/s)

Kapasitas aliran adalah banyaknya fluida yang mengalir pada sistem dalam satuan waktu. Kapasitas aliran fluida ditentukan oleh kecepatan aliran dan luas penampang sistem perpipaan. Rumus dari kapasitas aliran adalah sebagai berikut :

$$Q = v \times A \quad (2.2.)$$

Dimana :

- Q = Kapasitas aliran (m^3/h)
 A = Luas penampang (m^2)
 v = Laju aliran fluida (m/s)

Setelah diketahui kebutuhan kapasitas aliran serta head yang harus diatasi oleh pompa, maka spesifikasi pompa untuk sistem ini dapat ditentukan.

2.5.3. Perpindahan Panas

Di dalam sistem scrubber, selain terjadi proses pembersihan gas buang dengan media air terjadi juga proses perpindahan panas. Salah satu alasan penggunaan media air untuk membersihkan gas buang selain untuk menghilangkan kotoran serta kandungan asam pada gas, namun juga untuk mendinginkan inert gas yang akan dialirkan ke dalam tanki kargo. Hal ini penting untuk dilakukan mengingat tanki kargo pada kapal tanker mengangkut muatan yang sangat mudah terbakar.

Dalam menentukan perpindahan panas yang terjadi di dalam sistem scrubber dapat menggunakan persamaan perpindahan kalor berikut (Kern, 1983):

$$Q = m \times c_p \times \Delta T \quad (2.3.)$$

Dimana :

- Q = Banyaknya kalor yang diterima atau dilepas oleh suatu benda (J)
 m = Massa benda yang menerima atau melepas kalor (kg)
 c_p = kalor jenis zat (J/kgK)
 ΔT = Perubahan Suhu (K)

Selain digunakan untuk mengetahui perpindahan panas yang terjadi didalam tanki scrubber, perlu diketahui juga perpindahan panas yang terjadi pada sistem scrubber terutama pada sistem scrubber air tawar. Hal tersebut dikarenakan aturan pemerintah terkait membuang limbah ke laut. Sebagaimana peraturan pemerintah Republik Indonesia dalam Peraturan Menteri Lingkungan Hidup No. 8 Tahun 2009, dimana limbah yang diizinkan untuk dibuang ke laut tidak boleh melebihi suhu 40°C .

2.5.4. Pengolahan Wash Water

Baik pada sistem scrubber air laut maupun air tawar, harus memiliki alat pengolahan limbah air hasil pembersihan gas buang atau yang disebut *wash water treatment*. Hal tersebut dikarenakan pada *wash water* mengandung banyak kontaminan yang dapat mencemarkan lingkungan. Sebelum membuang air hasil

pembersihan tersebut ke laut harus dilakukan proses pengolahan. Adapun proses pengolahan yang dilakukan untuk membersihkan *wash water* adalah sebagai berikut (Wartsila Finland, 2017):

1. Proses pengendapan untuk memisahkan air dengan kandungan minyak yang turut terbawa
2. Proses koagulasi dan flokulasi untuk memisahkan partikel padat dan kotoran yang terbawa oleh *wash water*.
3. Proses pengapungan untuk memisahkan kontaminan dan air yang akan dibuang
4. Menyaring air yang akan dibuang dengan filter
5. Mengalirkan kotoran yang telah terkumpul ke dalam *sludge tank*

2.6. Studi Kelayakan

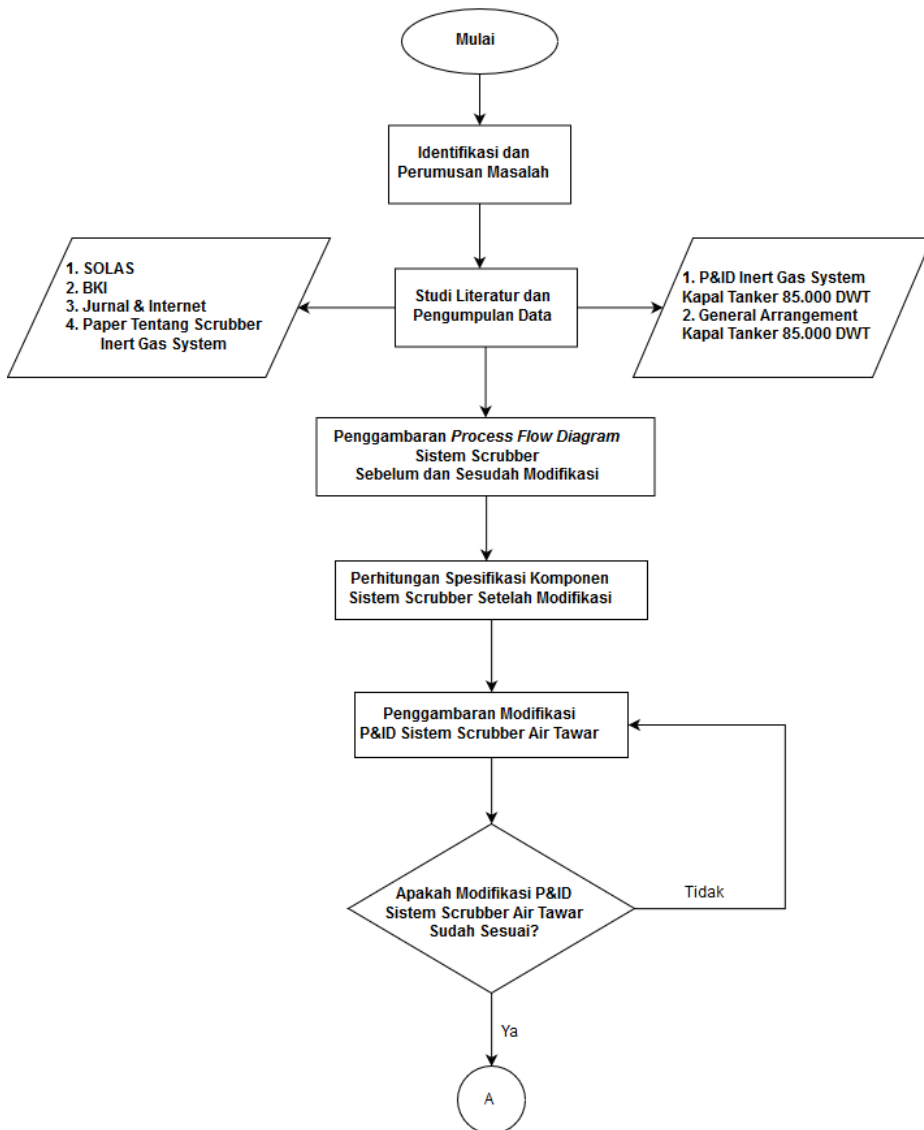
Studi kelayakan merupakan suatu analisa yang dilakukan untuk mengetahui kelayakan dari suatu project untuk dikerjakan. Studi kelayakan bertujuan untuk menemukan kekuatan dan kelemahan proyek yang diusulkan, peluang dan sumber daya yang dibutuhkan untuk melaksanakannya, yang kemudian mengarah kepada prospek keberhasilan. Terdapat berbagai jenis studi kelayakan, seperti teknis, ekonomi, hukum, operasional, dan penjadwalan. Pada studi kelayakan teknis, studi tersebut meninjau teknis operasi dari suatu project. Pada modifikasi yang dilakukan pada penelitian ini, studi kelayakan teknis meninjau aspek-aspek yang berkaitan untuk kemudian dilihat apakah modifikasi pada sistem scrubber ini dapat dilakukan.

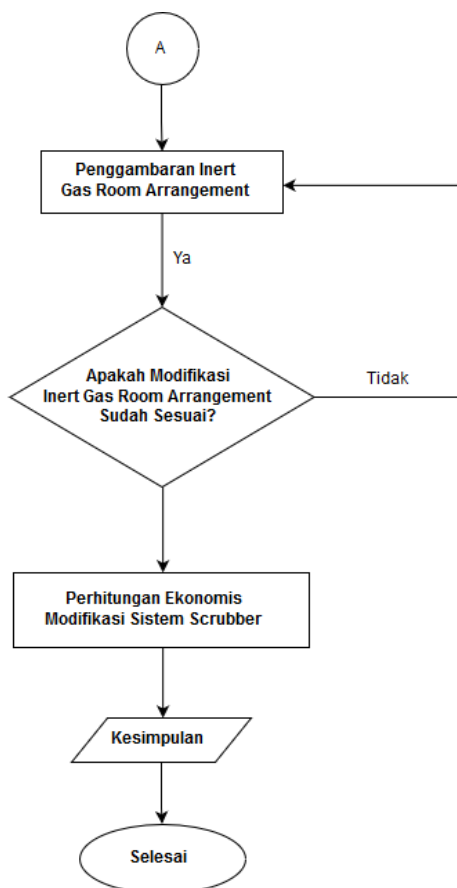
Pada studi kelayakan ekonomi, studi ini meninjau dari segi biaya atas dilakukannya suatu project. Terdapat 2 jenis biaya yang ditinjau pada studi kelayakan ekonomi. Pertama adalah biaya investasi awal atau yang disebut *Capital Expenditure*. Biaya investasi awal suatu kegiatan pengeluaran modal investasi yang penting dalam suatu perusahaan. Biaya investasi awal didefinisikan sebagai biaya aset baru + biaya pemasangan - beserta perhitungan pajak yang berasal dari penambahan aset. Kedua adalah biaya operasional atau yang disebut *Operational Expenditure*. Biaya operasional adalah biaya-biaya yang dikeluarkan dalam mengoperasikan project tersebut ketika sudah beroperasi. Perhitungan ini mencakup semua kebutuhan operasional termasuk biaya operasional alat, biaya perawatan, dan biaya pekerja.

BAB III METODE PENELITIAN

3.1. Metode Penelitian

Metode Penelitian merupakan kerangka dasar suatu penelitian yang meliputi semua kegiatan untuk memecahkan suatu permasalahan dengan tahapan-tahapan yang sudah disusun, seperti perumusan masalah, tinjauan pustaka, perancangan, perhitungan, validasi, dan hasil. Dari hasil dalam suatu penelitian diharapkan dapat memberikan solusi yang konkrit. Dalam skripsi ini disusun diagram alir metode penelitian seperti yang terlihat pada gambar 3.1





Gambar 3 1. Diagram Alir Penelitian

3.2. Identifikasi dan Perumusan Masalah

Dalam skripsi ini tahapan pertama yang dilaksanakan adalah identifikasi dan perumusan masalah. Permasalahan yang diambil adalah pada sistem inert gas kapal *crude oil tanker* berukuran 85.000 DWT. Pada setiap kapal tanker harus dilengkapi dengan sistem inert gas sebagai suplai udara ke dalam tanki cargo untuk mencegah timbulnya api akibat kadar oksigen yang terlalu tinggi. Dalam proses produksi inert gas, digunakan berbagai *treatment* untuk membersihkan *flue gas* yang kemudian digunakan sebagai inert gas. *Flue gas* dibersihkan dari kotoran dan partikel padat yang ikut terbawa oleh gas. Proses pembersihan tersebut dilakukan dengan menggunakan sistem scrubber yang menggunakan air laut sebagai media pembersih. Penggunaan air laut dianggap baik karena mudah diperoleh, dikarenakan pada kapal tanker tersebut berlayar di laut. Namun dengan menggunakan air laut, semua material pada sistem inert gas terutama pada sistem scrubber dituntut agar tahan terhadap korosi. Hal tersebut merugikan karena selain harus menggunakan material yang tahan terhadap korosi, perawatan komponen juga harus sering dilakukan untuk memastikan komponen pada sistem scrubber tetap pada kondisi baik. Oleh karena itu dilakukan suatu modifikasi pada sistem scrubber sistem inert gas yang semula menggunakan air laut sebagai media utama pembersih *flue gas* menjadi menggunakan air tawar sebagai media pembersih utamanya.

3.3. Studi Literatur dan Pengumpulan Data

Studi literatur merupakan tahapan selanjutnya untuk mendapatkan informasi yang mendukung dalam penyelesaian skripsi ini. Informasi tersebut berupa teori, metode pengerjaan, regulasi, dan standar. Studi literatur dapat diperoleh dengan membaca buku, jurnal, paper, regulasi dan standar terkait bahasan pada skripsi ini.

Selain studi literatur, dilakukan juga pengumpulan data guna menunjang dalam pengolahan data sebagai input awal. Berikut merupakan data yang diperlukan dalam skripsi ini diantaranya :

1. *Piping and Instrumentation Diagram* kapal *Crude Oil Tanker* 85.000 DWT
2. *General Arrangement* kapal *Crude Oil Tanker* 85.000 DWT

3.4. Penggambaran *Process Flow Diagram* Sistem Scrubber Sebelum dan Sesudah Modifikasi

Pada tahapan ini dilakukan perancangan PFD atau *Process Flow Diagram* pada scrubber sistem inert gas. Penggambaran PFD dilakukan untuk *existing system* atau sistem yang saat ini digunakan, dan PFD untuk *modified system* atau sistem setelah dimodifikasi. Penggambaran PFD dilakukan untuk mengetahui proses-proses yang dilalui pada sistem scrubber sistem inert gas.

3.5. Perhitungan Spesifikasi Komponen Sistem Scrubber Setelah Modifikasi

Pada tahapan ini dilakukan perhitungan untuk mengetahui kebutuhan komponen pada sistem scrubber yang dimodifikasi. Perhitungan kebutuhan komponen ini mengacu pada sistem yang telah terpasang, sehingga tidak menghitung ulang dari nol melainkan menggunakan sebagian komponen pada sistem lama untuk kemudian ditambahkan dengan komponen pada sistem baru. Sehingga dari perhitungan kebutuhan komponen, dapat ditentukan komponen-komponen dengan spesifikasi yang sesuai untuk sistem scrubber yang baru. Perhitungan dilakukan secara mendetail untuk sistem yang saat ini digunakan dan sistem modifikasi.

3.6. Penggambaran Modifikasi P&ID Sistem Scrubber Air Tawar

Setelah didapatkan data *Piping & Instrumentation Diagram* dari Sistem Inert Gas yang sudah terpasang pada kapal *Crude Oil Tanker* 85.000 DWT, dapat diketahui proses-proses yang dilalui untuk menghasilkan inert gas yang kemudian disuplai ke dalam tanki kargo. Dari proses tersebut dilakukan modifikasi pada komponen-komponen sistem baru berdasarkan kebutuhan yang telah ditentukan pada tahap sebelumnya. Sehingga dengan komponen yang baru dapat dilakukan penggambaran P&ID yang sesuai.

3.7. Penggambaran Modifikasi *Inert Gas Room Arrangement*

Proses selanjutnya adalah modifikasi *inert gas room arrangement*. Setelah mengetahui spesifikasi komponen yang ditambahkan ketika dilakukan modifikasi penggunaan air tawar, maka dilakukan pula modifikasi pada ruangan inert gas atau yang disebut *inert gas room*. Dengan menggunakan data *General Arrangement* pada kapal, maka modifikasi penambahan maupun perubahan komponen dapat dilakukan. Penambahan maupun perubahan komponen tersebut disesuaikan dengan *inert gas room* yang tersedia.

3.8. Perhitungan Ekonomi Modifikasi Sistem Scrubber

Perhitungan ekonomi merupakan perhitungan biaya atas modifikasi yang dilakukan. Perhitungan ekonomi yang dilakukan pada penelitian ini terbatas pada biaya investasi aset yang diperlukan untuk sistem yang telah dimodifikasi. Adapun nilai yang diambil sebagai patokan dalam menentukan harga peralatan adalah berdasarkan data galangan kapal dalam negeri dan *platform online* untuk peralatan kapal

3.9. Kesimpulan dan Saran

Tahap terakhir pada penelitian ini adalah kesimpulan dan saran yang didapatkan dengan menyelesaikan semua tahapan diagram alir pada gambar 3.1 dan harus menjawab semua masalah yang sudah dirumuskan sebelumnya. Sehingga saran dapat diberikan dan penelitian ini dapat dijadikan dasar untuk penelitian selanjutnya terkait modifikasi scrubber sistem inert gas atau penelitian lainnya.

BAB 4

ANALISIS DATA DAN PEMBAHASAN

4.1. Data Kapal

Pada penelitian kali ini, digunakan kapal Crude Oil Tanker berukuran 85.000 DWT untuk dilakukan modifikasi sistem scrubber pada sistem inert gas. Data *ship particular* dari kapal tersebut dapat dilihat pada Tabel 5.

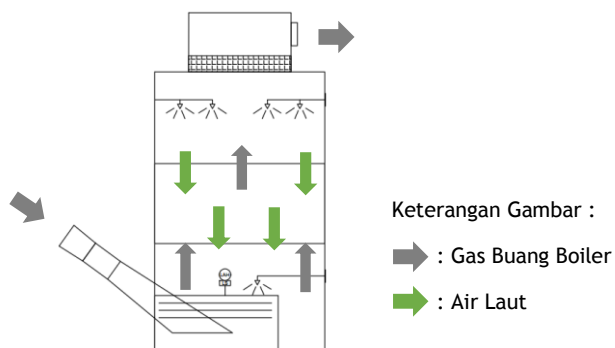
Tabel 5. Data *Ship Particular* Kapal

Jenis Kapal :	Crude Oil Tanker
LOA :	244,50 m
LPP :	233 m
<i>Breadth</i> (Mld) :	44 m
<i>Depth</i> (Mld) :	21,5 m
<i>Max. Draft</i> (Mld) :	12,7 m
<i>Gross Tonnage</i> :	65.000
<i>Deadweight</i> :	85.000
Kecepatan :	13 knot

4.2. Analisa Sistem Scrubber

4.2.1. Sistem Scrubber Air Laut

Pada kapal Crude Oil Tanker berukuran 85.000 DWT menggunakan sistem scrubber air laut pada sistem inert gas. Penggunaan air laut adalah untuk membersihkan *flue gas* boiler dari zat yang mengandung asam seperti SO₂ dan NO_x, serta membersihkan dari debu serta abu yang turut terbawa oleh gas buang tersebut. Proses pembersihan yang dilalui gas buang adalah dengan mengalirkan air laut dari sisi atas scrubber, dengan gas buang yang mengalir dari sisi bawah scrubber. Proses pembersihan gas buang dapat dilihat pada Gambar 4.1.



Gambar 4. 1. Proses Pembersihan Gas Buang di Scrubber

Hasil gas yang dihasilkan dari proses pembersihan gas pada scrubber berupa gas yang bersih, yang bebas dari zat yang memiliki kandungan asam serta kotoran. Untuk media pembersih gas buang yaitu air laut, kemudian akan langsung dibuang kembali ke laut tanpa dilakukan proses pembersihan. Penggunaan air laut sebagai media pembersih gas buang memiliki keuntungan dan kerugian, diantaranya ditunjukkan pada Tabel 6.

Tabel 6. Keuntungan dan Kerugian Sistem Scrubber Air Laut

Keuntungan	Kerugian
Mudah Didapat	Bersifat Korosif
Jumlah Tidak Terbatas	Penggunaan Material yang Lebih Mahal
Memiliki Alkalinitas Alami	Perawatan Komponen Harus Lebih Sering
Sistem Instalasi Lebih Sederhana	Kemampuan membersihkan gas buang tergantung kondisi perairan

Keuntungan dari penggunaan air laut sebagai media pembersih gas buang diantaranya mudah didapat, karena kapal crude oil tanker 85.000 DWT berlayar di laut. Dengan berlayar di laut maka jumlah air laut yang digunakan menjadi tidak terbatas. Hal tersebut berpengaruh terhadap kebutuhan air ketika proses scrubbing yang menyesuaikan dengan gas yang akan dibersihkan. Selain itu, sistem scrubber air laut memiliki proses yang lebih sederhana, yang berdampak kepada jumlah peralatan yang digunakan menjadi lebih sedikit. Keuntungan lainnya adalah sifat dari air laut yang memiliki alkalinitas alami. Hal tersebut digunakan untuk menetralkan keasaman dari gas buang yang dihasilkan boiler tanpa memerlukan zat tambahan sebagai pereaksi.

Namun penggunaan air laut memiliki beberapa kerugian, diantaranya air laut yang bersifat korosif. Sifat korosif tersebut dikarenakan kadar garam yang tinggi yang dimiliki air laut. Sifat korosif yang dimiliki tersebut menyebabkan penggunaan material yang dilalui air laut harus lebih baik, untuk menghindari rusaknya komponen. Dengan tingkat korosif air laut yang tinggi, maka perawatan komponen juga merupakan salah satu aspek yang harus dilakukan lebih sering. Dikarenakan sistem scrubber air laut memanfaatkan sifat alkalinitas yang dibawa oleh air laut, maka tingkat keefektifitasannya dalam membersihkan gas buang juga tergantung dengan kondisi perairan yang dilalui. Apabila kapal melalui daerah pelayaran dengan

alkalinitas yang rendah, maka kemampuan air laut untuk membersihkan gas buang menjadi tidak optimal.

4.2.2. Sistem Scrubber Air Tawar

Sistem scrubber air tawar disebut juga sebagai “*closed type system*”. Sesuai namanya, sistem scrubber air tawar memungkinkan agar media pembersih gas buang boiler pada sistem scrubber sistem inert gas dapat disirkulasikan kembali dan digunakan kembali untuk membersihkan gas buang. Namun, keuntungan dari digunakannya media air tawar ini bukan dari sistem tertutupnya, melainkan dari sifat media air tawar yang tidak korosif sehingga memungkinkan agar *lifetime* peralatan serta perawatan yang menjadi lebih lama. Penggunaan air tawar sebagai media pembersih gas buang memiliki beberapa keuntungan dan kerugian, diantaranya :

Tabel 7. Keuntungan dan Kerugian Sistem Scrubber Air Tawar

Keuntungan	Kerugian
Tingkat Korosif Air Tawar Rendah	Mengangkut tambahan air tawar
Tidak adanya pembuangan air maupun limbah ke laut	Sistem instalasi lebih rumit
Dapat menggunakan material dengan kualitas rendah	Perlu dilakukan penambahan komponen
Perawatan komponen lebih jarang	Perawatan terhadap komponen lebih banyak
Kemampuan membersihkan gas buang tidak tergantung kondisi perairan	

Dari Tabel 7. dapat dilihat bahwa penggunaan sistem scrubber air tawar memiliki keuntungan dan kerugian. Keuntungan dari penggunaan sistem ini adalah sifat air tawar yang memiliki tingkat korosif yang rendah. Hal tersebut berdampak pada penggunaan material yang kualitasnya tidak perlu tinggi, sehingga biaya awal akan lebih rendah. Tingkat korosif air tawar yang rendah juga menyebabkan perawatan pada komponen dilakukan dengan lebih jarang. Penggunaan air tawar disebut juga sebagai *closed type system*, sehingga memungkinkan kapal untuk tidak membuang air hasil proses scrubbing dan limbah ke laut. Selain itu, dalam sistem scrubber air tawar juga menggunakan larutan basa kuat sebagai penetral kandungan asam yang dibawa oleh gas buang. Hal tersebut menyebabkan proses pembersihan gas buang yang lebih optimal sehingga tidak bergantung kepada kondisi perairan.

Namun kerugian dari penggunaan sistem air tawar ini diantaranya menyebabkan kapal perlu untuk mengangkut tambahan air tawar sebagai media pembersih gas buang. Proses pembersihan gas buang pada sistem air tawar juga cenderung lebih rumit, sehingga berdampak pada penambahan komponen yang dilakukan agar sistem ini dapat bekerja dengan optimal. Dengan dilakukan penambahan komponen menyebabkan jumlah komponen yang perlu dilakukan perawatan akan semakin banyak.

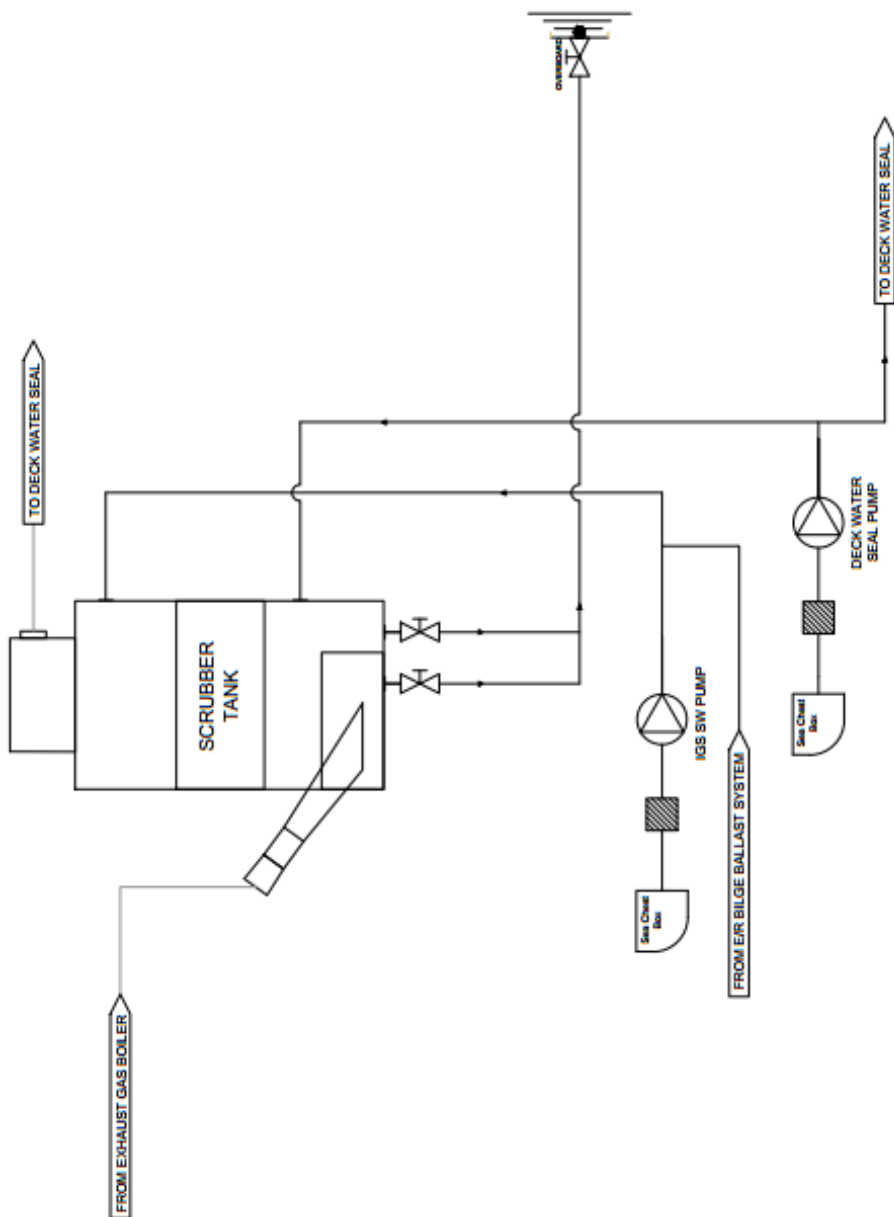
4.3. Perancangan Sistem Scrubber

4.3.1. Penggambaran *Process Flow Diagram*

Dalam melakukan perancangan sistem scrubber, yang pertama dilakukan adalah penggambaran *Process Flow Diagram (PFD)*. PFD dilakukan untuk mengetahui proses-proses yang dilalui dalam suatu sistem, dimana pada sistem ini adalah sistem scrubber sistem inert gas. Terdapat dua sistem yang dilakukan penggambaran, yaitu sistem scrubber air laut dan sistem scrubber air tawar. PFD sistem scrubber air laut dapat dilihat pada Gambar 4.2.

Pada sistem air laut, air laut yang merupakan media utama pembersih gas buang boiler diambil dari laut. Air laut yang diambil akan disimpan sementara di dalam *sea chest box*. Penentuan ukuran *sea chest box* sendiri adalah berdasarkan kebutuhan air laut di kapal. Ketika terjadi proses scrubbing, air laut akan dialirkan dengan memanfaatkan pompa air laut. Terjadi proses penyaringan terlebih dahulu sebelum air laut dialirkan ke pompa, yaitu melalui filter. Penggunaan filter adalah untuk menyaring kotoran-kotoran yang berpotensi menyumbat pompa. Air laut langsung menuju tanki scrubber untuk membersihkan gas buang dari boiler. Proses pembersihan dilakukan dengan cara disemprotkan melalui *nozzle* yang berada di dalam tanki. Fungsi dari penggunaan *nozzle* ini adalah agar air laut yang disemprot dapat tersebar ke seluruh bagian dalam tanki scrubber sehingga dapat membersihkan gas buang secara menyeluruh. Namun selain digunakan dengan cara disemprot, air laut juga digunakan dengan cara ditampung dalam sebuah "kolam" atau yang disebut dengan *seal*. Kolam air laut ini berada di dalam tanki scrubber. Kolam inilah yang merupakan tempat dimana gas buang keluar dari sistem gas buang boiler untuk kemudian dibersihkan.

Media yang digunakan untuk membersihkan gas buang, baik yang mengalir dari sisi atas scrubber maupun yang berada pada *seal* atau kolam, merupakan air laut. Namun penggunaan pompa untuk mengalirkan ke dua bagian ini berbeda. Dimana untuk air laut yang mengalir pada bagian atas scrubber berasal dari pompa sistem inert gas atau disebut *IGS Sea Water Pump*. Apabila *IGS SW Pump* ini tidak dapat berfungsi, terdapat sumber lain, yaitu berasal dari *Engine Room Bilge Ballast System*. Kedua sistem ini sama-sama mensuplai air laut untuk kemudian dialirkan dari sisi atas scrubber dengan cara disemprot. Sedangkan untuk air laut yang berada dalam bentuk "kolam" atau *seal* berasal dari *Deck Water Seal Pump*, yang selain digunakan untuk tanki scrubber digunakan juga untuk *Deck Water Seal*. Air laut yang sudah digunakan untuk membersihkan gas buang akan dialirkan ke *overboard* untuk dibuang kembali ke laut. Proses pembuangan air laut tidak menggunakan pompa, melainkan dengan memanfaatkan perbedaan ketinggian yang menyebabkan air laut mengalir dengan sendirinya.



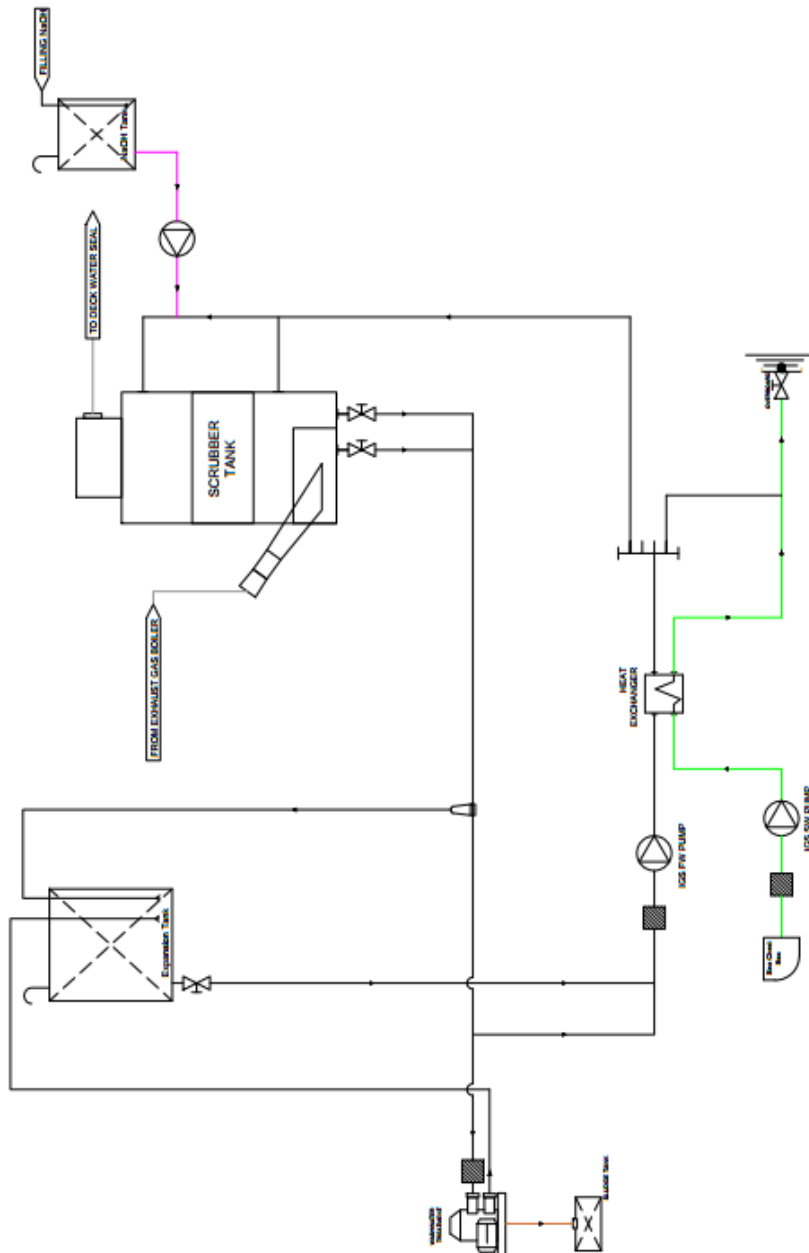
Gambar 4. 2. PFD Sistem Scrubber Air Laut

Pada sistem scrubber air tawar, air tawar dibawa oleh kapal ketika akan berlayar. Air tawar tersebut akan disimpan di dalam sistem perpipaan untuk kemudian dengan menggunakan pompa akan memberikan dorongan ke sisi atas scrubber. Ketika air tawar tersebut dialirkan ke scrubber, air tawar diinjeksikan dengan larutan basa kuat untuk menetralkan kandungan asam yang terbawa pada gas buang. Larutan basa yang biasa digunakan adalah *Sodium Hidroksida (NaOH)*. Dikarenakan air tawar tidak memiliki alkalinitas alami, maka penambahan larutan basa merupakan hal yang diharuskan untuk mencegah kandungan asam larut dan mencemari lingkungan. Seperti sistem scrubber air laut, sistem scrubber air tawar membersihkan gas buang boiler dengan cara disemprot melalui *nozzle* dari sisi atas scrubber, dengan memiliki

“kolam” atau yang disebut *seal* pada sisi bawah scrubber tempat gas buang keluar. Air tawar yang telah digunakan untuk membersihkan gas buang kemudian dibersihkan menggunakan *wash water treatment* untuk dipisahkan antara air dan sludge. Sludge kemudian di alirkan ke sludge tank untuk dibuang, sedangkan air akan di sirkulasikan kembali untuk membersihkan gas buang. Skema pada sistem air tawar dapat dilihat pada Gambar 4.3.

Pada sistem scrubber air tawar memiliki beberapa komponen tambahan yang tidak dimiliki oleh sistem scrubber air laut. Beberapa komponen tersebut antara lain adalah *Chemical Addition*, *Expansion Tank*, *Wash Water Treatment*, dan *Heat Exchanger*.

- *Chemical Addition* merupakan proses penambahan larutan basa kuat yang digunakan untuk menetralkan kandungan asam yang terdapat pada gas buang.
- *Expansion Tank*, yang digunakan sebagai tanki tambahan bagi air untuk memuai, dan juga sebagai suplai air tawar ketika jumlah air dalam sistem berkurang. Dikarenakan suhu panas yang berasal dari gas buang ketika dilakukan proses pembersihan di scrubber, menyebabkan sebagian air mengalami perubahan wujud menjadi gas dan sebagian air memuai.
- *Wash Water Treatment*, yang digunakan untuk mengolah air hasil scrubbing gas buang. Hasil dari *washwater treatment* berupa air tawar yang siap digunakan kembali, serta sludge yang berisi kotoran-kotoran. Air tawar kemudian disirkulasikan kembali untuk membersihkan gas buang, dan sludge dialirkan ke dalam tanki sludge untuk kemudian dibuang.
- *Heat Exchanger* adalah proses mendinginkan kembali air yang telah dibersihkan melalui *wash water treatment* sebelum masuk ke dalam tanki scrubber. Tujuan dari proses pendinginan air tawar adalah agar air tawar tersebut siap digunakan kembali, ataupun agar aman ketika dibuang di laut. Sebagaimana peraturan pemerintah Republik Indonesia dalam Peraturan Menteri Lingkungan Hidup No. 8 Tahun 2009, dimana limbah yang diizinkan untuk dibuang ke laut tidak boleh melebihi suhu 40°C. Proses pendinginan tersebut memanfaatkan pertukaran panas dengan media air laut. Setelah air tawar didinginkan, maka air tawar tersebut dipompa kembali ke dalam tanki scrubber dan siklus sistem scrubber air tawar akan kembali berulang.



Gambar 4. 3. PFD Sistem Scrubber Air Tawar

4.3.2. Perhitungan Modifikasi Sistem Scrubber

4.3.2.1. Komposisi Gas Buang

Tahapan pertama yang dilakukan dalam melakukan modifikasi sistem scrubber adalah menghitung kadar atau komposisi zat pada gas buang yang akan dibersihkan. Pada sistem scrubber, terdapat 3 zat yang akan dibersihkan, yaitu NO, NO₂, dan SO₂. Pembersihan ketiga zat tersebut dikarenakan zat tersebut bersifat asam. Sehingga apabila dibiarkan akan berpotensi untuk merusak lingkungan, salah

satunya adalah dengan menciptakan hujan asam. Adapun kadar zat pada gas buang boiler ditunjukkan pada Tabel 6.

Tabel 8. Kadar Zat Gas Buang Boiler

Zat	Kadar
N ₂	77 % by Volume
CO ₂	13 % by Volume
H ₂ O	5 % by Volume
O ₂	4 % by Volume
SO ₂	0,3 % by Volume
NO _x	0,04 % by Volume
CO	0,1 % by Volume
Kotoran dan Abu	± 150 mg / m³

Dari Tabel 6. dapat dilihat kadar zat yang terbawa di dalam gas buang boiler. Dari zat-zat tersebut, terdapat 3 zat yang akan dibersihkan yaitu NO_x yang terdiri dari NO dan NO₂ dengan kadar 0,04% dan SO₂ dengan kadar 0,3%. Kadar zat tersebut masih dalam satuan persen. Selanjutnya menghitung kadar tersebut menjadi ukuran yang sebenarnya. Acuan yang digunakan untuk menghitung kadar zat adalah dengan laju gas buang secara menyeluruh.

Diketahui :

Laju gas = 11.250 m³/h

Item yang dihilangkan :

- SO₂ = 0,3%
- NO = 90% dari 0,04% Vol. NO_x
- NO₂ = 10% dari 0,04% Vol. NO_x

Sulphur Dioxide (SO₂)

$$\begin{aligned} V \text{ SO}_2 &= 11.250 \times 0,3\% \\ &= 33,75 \text{ m}^3/\text{h} \end{aligned}$$

$$\rho \text{ SO}_2 = 2,63 \text{ kg/m}^3$$

$$\begin{aligned} m \text{ SO}_2 &= 33,75 \times 2,63 \\ &= \mathbf{88,76 \text{ kg/h}} \end{aligned}$$

Nitrogen Monoxide (NO)

$$\begin{aligned} V \text{ NO} &= 11.250 \times 0,04\% \times 90\% \\ &= 4,05 \text{ m}^3/\text{h} \end{aligned}$$

$$\rho \text{ NO} = 1,34 \text{ kg/m}^3$$

$$\begin{aligned} m \text{ NO} &= 4,05 \times 1,34 \\ &= \mathbf{5,427 \text{ kg/h}} \end{aligned}$$

Nitrogen Dioxide (NO₂)

$$\begin{aligned}
 V \text{ NO}_2 &= 11.250 \times 0,04\% \times 10\% \\
 &= 0,45 \text{ m}^3/\text{h} \\
 \rho \text{ NO}_2 &= 1450 \text{ kg}/\text{m}^3 \\
 \\
 m \text{ NO}_2 &= 0,45 \times 1450 \\
 &= \mathbf{652,5 \text{ kg}/\text{h}}
 \end{aligned}$$

4.3.2.2. Penambahan Basa NaOH

Setelah diketahui kadar zat yang akan dibersihkan oleh sistem scrubber, selanjutnya menghitung jumlah penambahan basa NaOH yang diperlukan. Proses penambahan basa dilakukan dikarenakan perbedaan sifat yang dimiliki air tawar dan air laut. Pada air laut memiliki alkalinitas alami, sehingga mampu menetralkan kandungan asam yang terbawa oleh gas buang. Sedangkan sifat alkalinitas tidak dimiliki oleh air tawar, sehingga perlu dilakukan penambahan basa untuk menetralkan asam yang terbawa pada gas buang.

Langkah pertama dalam menentukan penambahan basa NaOH adalah dengan menghitung reaksi yang terjadi dengan senyawa asam yang akan dibersihkan. Dimana pada proses ini asam yang bereaksi dengan basa adalah SO₂, NO, dan NO₂.

Reaksi 1. NaOH + SO₂

Nomor Massa	Na	= 23	H	= 1
	S	= 32	O	= 16

Reaksi	2NaOH	+	SO₂	\leftrightarrow	Na₂SO₃	+	H₂O
Laju Massa	110,96 kg/h		88,76 kg/h		174,76 kg/h		24,99 kg/h
Nomor Massa	40		64		126		18
Laju Mol	2,774 mol/h		1,387 mol/h		1,387 mol/h		1,387 mol/h

Hasil Reaksi :

- Na₂SO₃ = 174,76 kg/h
- H₂O = 24,99 kg/h

Sisa Reaksi :

- NaOH = 22,2 kg/h

Reaksi	2Na₂SO₃	+	O₂	\leftrightarrow	2Na₂SO₄
Laju Massa	174,76 kg/h		22,19 kg/h		196,95 kg/h
Nomor Massa	126		32		142
Laju Mol	1,387 mol/h		0,6935 mol/h		1,387 mol/h

Hasil Reaksi :

- $\text{Na}_2\text{SO}_4 = 196,95 \text{ kg/h}$

Sisa Reaksi :

- $\text{Na}_2\text{SO}_3 = 152,57 \text{ kg/h}$

Reaksi 2. NaOH + NO

Nomor Massa	Na	= 23	H	= 1
	O	= 16	N	= 14

Reaksi	2NaOH	+	4NO	\leftrightarrow	2NaNO₂	+	N₂O	+	H₂O
Laju	3,618		5,427		6,21		1,98		0,81
Massa	kg/h		kg/h		kg/h		kg/h		kg/h
Nomor Massa	40		30		69		44		18
Laju	0,09		0,1809		0,09		0,045		0,045
Mol	mol/h		mol/h		mol/h		mol/h		mol/h

Hasil Reaksi :

- $\text{NaNO}_2 = 6,21 \text{ kg/h}$
- $\text{N}_2\text{O} = 1,98 \text{ kg/h}$
- $\text{H}_2\text{O} = 0,81 \text{ kg/h}$

Sisa Reaksi :

- $\text{NO} = 1,81 \text{ kg/h}$

Reaksi 3. NaOH + NO₂

Nomor Massa	Na	= 23	H	= 1
	O	= 16	N	= 14

Reaksi	2NaOH	+	2NO₂	\leftrightarrow	NaNO₂	+	NaNO₃	+	H₂O
Laju	547,4		652,5		489,38		602,86		127,665
Massa	kg/h		kg/h		kg/h		kg/h		kg/h
Nomor Massa	40		46		69		85		18
Laju	14,185		14,185		7,0925		7,0925		7,0925
Mol	mol/h		mol/h		mol/h		mol/h		mol/h

Hasil Reaksi :

- $\text{NaNO}_2 = 489,38 \text{ kg/h}$
- $\text{NaNO}_3 = 602,86 \text{ kg/h}$
- $\text{H}_2\text{O} = 127,665 \text{ kg/h}$

Total Penambahan Basa NaOH :**Reaksi 1. NaOH + SO₂**

Jumlah NaOH = 110,96 kg/h

Sisa Reaksi = 22,2 kg/h

Reaksi 2. NaOH + NO

Jumlah NaOH = 3,618 kg/h

Reaksi 3. NaOH + NO₂

Jumlah NaOH = 547,4 kg/h

Total Penambahan NaOH untuk satu kali proses scrubbing
 = 110,96 kg/h - 22,2 kg/h + 3,618 kg/h + 547,4 kg/h
 = 639,78 kg/h

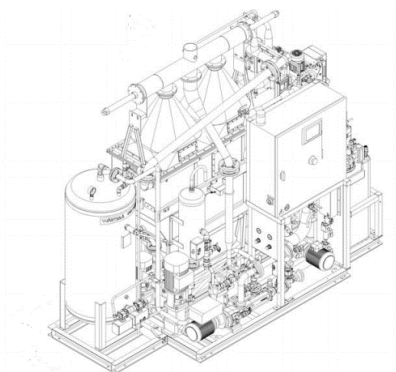
Massa Jenis NaOH = 2130 kg/m³Laju Aliran NaOH = **0,3 m³/hr****4.3.2.3. Wash Water Treatment**

Wash water treatment merupakan suatu proses pengolahan air hasil scrubbing untuk memisahkan air dan kotoran yang dibawa dari proses pembersihan gas buang. Adapun pengolahan air hasil scrubbing atau yang disebut *wash water treatment* adalah dengan menggunakan perangkat dari Wartsila. Spesifikasi dari *wash water treatment* tersebut adalah sebagai berikut :

Merk = Wartsila
 Type = SWT 500
 Capacity = 5 m³/h
 Power = 6 kW

Chemical Consumption

Coagulant = 0,2 l/MWh
 Flocculant = 0,015 l/MWh

Gambar 4. 4. *Scrubber Wash Water Treatment*

Adapun tahapan yang dilakukan membersihkan wash water adalah sebagai berikut :

- Memisahkan minyak yang turut terbawa dalam *wash water* dengan memanfaatkan perbedaan massa jenis sehingga minyak akan mengapung di permukaan
- Menghilangkan partikel padat tersuspensi dengan menggunakan proses koagulasi dan flokulasi
- Memisahkan partikel yang telah terbentuk melalui proses flokulasi dengan memanfaatkan udara terlarut melalui proses pengapungan.
- Melalui air dengan filter yang terbuat dari aktif karbon sebelum dibuang atau digunakan kembali. Penggunaan aktif karbon adalah karena senyawa tersebut efektif untuk menghilangkan senyawa organik, termasuk kandungan PAH dengan proses adsorpsi.
- Mengirimkan kotoran yang telah terkumpul ke dalam *sludge tank*.

Kualitas air yang telah di treatment memiliki karakteristik yang memenuhi regulasi IMO sebagai berikut :

- Tingkat kekeruhan kurang dari 25 FNU
- Nilai PAH tidak melebihi 1226 $\mu\text{g/l}$
- Kadar pH melebihi nilai 6,5
- Kadar nitrat yang terkandung kurang dari 1350 mg/l

4.3.2.4. Perhitungan Proses *Cooling*

Selanjutnya adalah menghitung perpindahan panas yang terjadi selama proses scrubbing. Terdapat 2 kali proses perpindahan panas yang terjadi. Proses yang pertama adalah proses ketika dilakukan pembersihan gas buang di dalam scrubber. Dimana media yang mengalami perpindahan panas adalah gas buang atau gas inert dan air tawar. Proses yang kedua adalah perpindahan panas yang terjadi ketika ingin mendinginkan suhu air tawar dengan menggunakan media air laut.

Proses 1. Perpindahan Panas Gas Inert dan Air Tawar

Perhitungan pada proses 1 ini, yang ingin diketahui adalah suhu keluaran air tawar setelah melalui proses pembersihan di scrubber. Sebagaimana di ilustrasikan pada Gambar 4.1 mengenai proses yang terjadi di dalam scrubber, maka dapat diketahui bahwa air keluaran scrubber atau yang disebut wash water akan mengalami kenaikan suhu. Sehingga kemudian dilakukan perhitungan perpindahan panas sebagai berikut :

Diketahui :

- | | | |
|----------------------------|-------------------------|------------|
| • Suhu gas masuk scrubber | = 300°C | = 573,15 K |
| • Suhu gas keluar scrubber | = 50°C | = 323,15 K |
| • Suhu air masuk scrubber | = 35°C | = 308,15 K |
| • Laju Aliran Air | = 205 m ³ /h | |

Tabel 9. Specific Heat Gas Buang

Zat	Total Vol. (m ³ /h)	Kadar (%)	Kadar (m ³ /h)	Density (kg/m ³)	Massa Aliran (kg/h)	Specific Heat, Cp (kJ/kgK)	m x Cp
N ₂	11250	77.0%	8662.5	1.0564	9151.065	1.042	9535.41
CO ₂		13.0%	1462.5	1.6597	2427.311	0.8666	2103.508
H ₂ O		5.0%	562.5	0.6794	382.1625	1.874	716.1725
O ₂		4.0%	450	1.2068	543.060	0.9217	500.5384
SO ₂		0.3%	33.75	2.927	98.786	0.64	63.2232
NO		0.04%	4.05	1.34	5.427	0.995	5.399865
NO ₂		0.0%	4.5	1450	6525	4.69	30602.25
CO		0.1%	11.25	1.0563	11.88	1.039	12.34683
						Total	43538.85

Dimana :

- ρ Air = 997 kg/m³
- m Air = 204,385 kg/h
- cp Air = 4.18 kJ/kgK
- m x cp Gas = 43538.85 kg/h

Perhitungan :

$$Q_1 = Q_2 \quad (4.1.)$$

$$m \times cp \times \Delta T = m \times cp \times \Delta T \quad (4.2.)$$

$$204,385 \times 4.18 \times (T_2 - 308,15) = 43538.85 \times (573,15 - 323,15)$$

$$T_2 - 308,15 = \frac{10,884,712.5}{204,385 \times 4.18}$$

$$T_2 - 308,15 = 12.74$$

$$T_2 = 320.89 \text{ K}$$

$$T_2 = 47.74^\circ\text{C}$$

Proses 2. Perpindahan Panas Washwater dan Air Laut

Perhitungan pada proses 2 ini adalah untuk mengetahui jumlah kalor yang dilepaskan oleh washwater agar air tersebut siap untuk kembali digunakan pada siklus selanjutnya. Setelah diketahui jumlah kalor yang dilepaskan, maka selanjutnya menentukan kebutuhan air laut sebagai media pendingin.

Diketahui :

- T Air masuk = 47.74°C = 320,89 K
- T Air keluar = 35°C = 308.15 K
- m Air = 204,385 kg/jam
- cp Air = 4.18 kJ/kgK

Maka, jumlah kalor yang dilepaskan sebesar :

$$Q = m \times cp \times \Delta T$$

$$Q = 204,385 \times 4.18 \times (320.89 - 308.15)$$

$$Q = 10,884,155.28 \text{ kJ/jam}$$

$$Q = 3023,38 \text{ kW} = 4054,42 \text{ HP}$$

Kebutuhan Air Laut Pendingin

Diketahui :

- T Air masuk = 30°C = 303.15 K
- T Air keluar = 40°C = 313.15 K
- Kalor (Q) = 10,884,155.28 kJ/jam
- cp Air Laut = 4.012 kJ/kgK

Maka,

$$m = \frac{Q}{cp \times \Delta T}$$

$$m = \frac{10,884,155.28}{4.012 \times (313.15 - 303.15)}$$

$$m = 271,290 \text{ kg/jam}$$

P Air Laut = 1025 kg/m³

Laju Aliran Air Laut = 264.67 m³/jam

4.3.2.5. Perhitungan Tanki

Dengan dilakukan modifikasi air laut, maka setidaknya terdapat 3 tanki yang perlu dilakukan perhitungan untuk mengetahui kebutuhan volume dari tanki tersebut. Adapun tanki yang perlu diketahui volumenya adalah tanki *expansion tank*, tanki NaOH, dan tanki *sludge*.

Expansion Tank Air Tawar

Volume Air Tawar di dalam sistem = 2,67 m³
 Estimasi Ukuran Tanki = 3-4 %
 Kebutuhan Tanki Expansion Tank = 2,67 x 4 %
 = **0,11 m³**

Perhitungan Tanki NaOH

Laju Aliran = 0,3 m³/h
 Estimasi Ukuran Tanki = Kapasitas Produksi Inert Gas
 = 11.250 m³/h
 Tanki Kargo = 128.090,8 m³

$$\begin{aligned} \text{Kebutuhan Tanki NaOH} &= 128.090,8 / 11.250 \times 0,3 \\ &= 3,5 \text{ m}^3 \text{ untuk 1 trip} \\ &= \mathbf{7 \text{ m}^3} \end{aligned}$$

Sludge Tank

$$\begin{aligned} \text{Estimasi Jumlah Sludge} &= 0,1 - 0,4 \text{ gr / MWh of Scrubbed engine} \\ \text{Power Output Boiler} &= 12,7 \text{ MW} \quad (2 \text{ Set}) \\ &= 25,4 \text{ MW} \\ \text{Jumlah Sludge} &= 0,4 \times 25,4 \times 23 \\ &= 233,68 \text{ kg} \\ \text{Massa Jenis Abu} &= 610 \text{ kg/m}^3 \\ \text{Volume Sludge Tank} &= 233,68 / 610 \\ &= \mathbf{0,38 \text{ m}^3} \end{aligned}$$

4.3.2.6. Perhitungan Pipa

Perhitungan pipa dilakukan untuk mengetahui ukuran dan dimensi dari pipa yang berada pada sistem scrubber setelah dimodifikasi. Setidaknya terdapat 3 tipe pipa yang perlu dilakukan perhitungan diantaranya pipa NaOH, pipa air tawar, dan pipa pendingin air laut.

Perhitungan Pipa NaOH

$$\begin{aligned} \text{Laju Aliran} &= 0,3 \text{ m}^3/\text{h} \\ \text{Diameter Pipa} &= 10,5 \text{ mm} \\ &= 0,0105 \text{ m} \\ \text{Luas Penampang Pipa} &= 3,14 \times (0,0105)^2/4 \\ &= 0,000086 \text{ m}^2 \\ \text{Kecepatan Aliran} &= 0,3 / 0,000086 \\ &= 3600 \text{ m/h} \\ &= 1 \text{ m/s} \end{aligned}$$

Ketebalan Pipa

Ketebalan Pipa minimum, menurut BKI Vol III Section 11-C1, untuk material Stainless Steel dengan ukuran 10,5 mm adalah 1,0 mm

Perhitungan Pipa Air Tawar Sebelum Scrubber

$$\begin{aligned} \text{Laju Aliran} &= 205 \text{ m}^3/\text{h} \\ \text{Diameter Pipa} &= 202,6 \text{ mm} \\ &= 0,2026 \text{ m} \\ \text{Luas Penampang Pipa} &= 3,14 \times (0,2026)^2/4 \\ &= 0,032 \text{ m}^2 \\ \text{Kecepatan Aliran} &= 205 / 0,032 \\ &= 6.406,25 \text{ m/h} \\ &= 1,78 \text{ m/s} \end{aligned}$$

Ketebalan Pipa

Ketebalan Pipa minimum, menurut BKI Vol III Section 11-C1, untuk material Cast Iron dengan ukuran 202,6 mm adalah 5,4 mm

Perhitungan Pipa Air Tawar Setelah Scrubber

$$\begin{aligned} \text{Laju Aliran} &= 205 \text{ m}^3/\text{h} \\ \text{Diameter Pipa} &= 304.2 \text{ mm} \\ &= 0,3042 \text{ m} \\ \text{Luas Penampang Pipa} &= 3,14 \times (0,3042)^2 / 4 \\ &= 0,0726 \text{ m}^2 \\ \text{Kecepatan Aliran} &= 205 / 0,0726 \\ &= 2.823,7 \text{ m/h} \\ &= 0,78 \text{ m/s} \end{aligned}$$

Ketebalan Pipa

Ketebalan Pipa minimum, menurut BKI Vol III Section 11-C1, untuk material Cast Iron dengan ukuran 304,2 mm adalah 6,3 mm

Perhitungan Pipa Expansion Tank

$$\begin{aligned} \text{Laju Aliran} &= 5 \text{ m}^3/\text{h} \\ \text{Diameter Pipa} &= 42.2 \text{ mm} \\ &= 0,0422 \text{ m} \\ \text{Luas Penampang Pipa} &= 3,14 \times (0,0422)^2 / 4 \\ &= 0,0014 \text{ m}^2 \\ \text{Kecepatan Aliran} &= 5 / 0,0014 \\ &= 3600 \text{ m/h} \\ &= 1 \text{ m/s} \end{aligned}$$

Ketebalan Pipa

Ketebalan Pipa minimum, menurut BKI Vol III Section 11-C1, untuk material Cast Iron dengan ukuran 42,2 mm adalah 2 mm

Perhitungan Pipa Pendingin Air Laut

$$\begin{aligned} \text{Laju Aliran} &= 265 \text{ m}^3/\text{h} \\ \text{Diameter Pipa} &= 126 \text{ mm} \\ &= 0,126 \text{ m} \\ \text{Luas Penampang Pipa} &= 3,14 \times (0,126)^2 / 4 \\ &= 0,01246 \text{ m}^2 \\ \text{Kecepatan Aliran} &= 265 / 0,01246 \\ &= 21.263,52 \text{ m/h} \\ &= 5,91 \text{ m/s} \end{aligned}$$

Ketebalan Pipa

Ketebalan Pipa minimum, menurut BKI Vol III Section 11-C1, untuk material Stainless Steel dengan ukuran 126 mm adalah 2,3 mm

4.3.2.7. Perhitungan Pompa

Perhitungan pompa dilakukan untuk mengetahui kebutuhan pompa untuk mengalirkan fluida yang berada di dalam sistem scrubber air tawar. Terdapat 3 macam fluida, yaitu NaOH, air tawar, dan air laut. Ketiga macam fluida ini harus diketahui kebutuhan head serta kapasitas alirannya untuk kemudian dapat dipilih pompa yang sesuai.

Perhitungan Pompa NaOH

Head Pompa

$$H = H_z + H_p + H_v + \text{total Head loss.} \quad (4.3.)$$

Dimana,

a) Head Statis (H_z)

Perbedaan Ketinggian antara Tanki dan Sisi Discharge

- Ketinggian pada $Z=0$ terhadap sisi discharge = 1,5 meter
- Ketinggian pada $Z=0$ terhadap sisi suction = -1,35 meter

$$\begin{aligned} H_z &= Z_d - Z_s \\ &= 1,5 - (-1,35) \\ &= 2,85 \text{ m} \end{aligned} \quad (4.4.)$$

b) Head Pressure (H_p)

Perbedaan Tekanan antara sisi Suction di dan Sisi Discharge Pipa

- Tekanan pada sisi suction = Tekanan Atmosfir + Tekanan Hidrostatik
 $= 101.325 \text{ N/m}^2 + (1,35 \rho g)$
 $= 129.533,66 \text{ N/m}^2$
- Tekanan pada sisi discharge = Tekanan Atmosfir
 $= 101.325 \text{ N/m}^2$

$$H_p = (P_d - P_s) / \rho \times g \quad (4.5.)$$

Dimana

$$\begin{aligned} \rho &= 2130 \text{ kg/m}^3 \\ g &= 9,81 \text{ m/s}^2 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} H_p &= (101.325 - 129.533,66) / (2130 \times 9,81) \\ &= -1,35 \text{ m} \end{aligned}$$

c) Head Velocity (H_v)

Perbedaan Kecepatan Aliran pada Sisi Suction dan Discharge

- Kecepatan aliran pada sisi suction = 1 m/s
- Kecepatan aliran pada sisi discharge = 1 m/s

$$H_v = (V^2_d - V^2_s) / 2 g \quad (4.6.)$$

Dimana

$$g = 9,81 \text{ m/s}^2$$

$$\begin{aligned} H_v &= (1-1) / 2 \times 9,81 \\ &= 0 \text{ m} \end{aligned}$$

d) Head Loss (Hl)

Kerugian yang dialami oleh aliran di sepanjang jalur pipa dan fittings. Head Loss dibagi menjadi 2, yaitu Head Loss Major dan Head Loss Minor. Head Loss Major merupakan kerugian yang dialami akibat gesekan yang terjadi di sepanjang jalur pipa antara fluida dan dinding pipa. Head Loss Minor

merupakan kerugian yang dialami akibat fittings dan aksesoris perpipaan lainnya.

a. Suction Line
Head Loss Major

Reynold Number

$$Re = (v \times D) / \nu \quad (4.7.)$$

Dimana,

d = Diameter Pipa
= 0,0105 m

v = Kecepatan Aliran Fluida
= 1 m/s

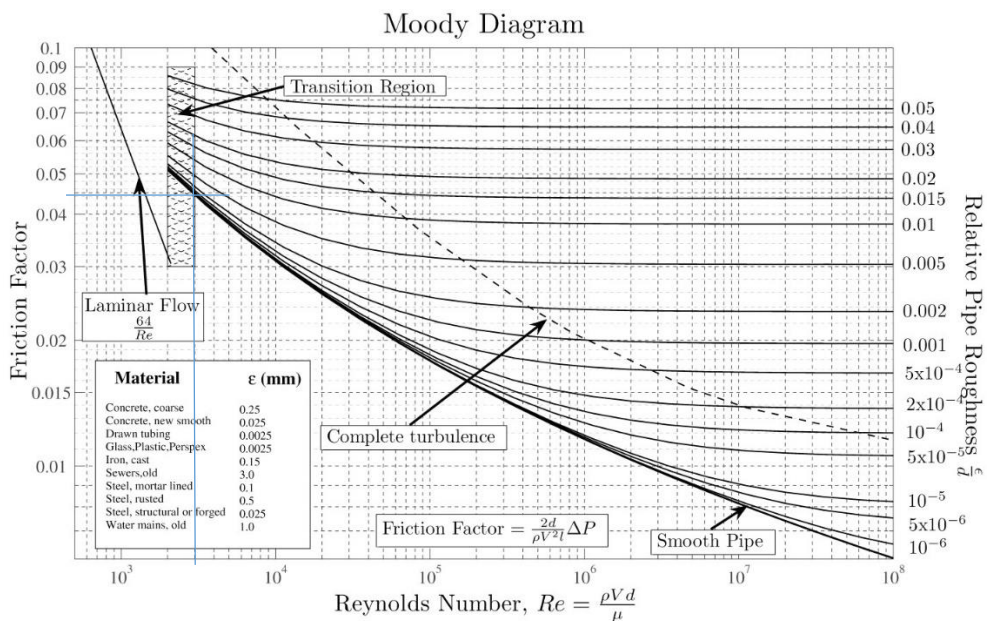
ν = Viskositas Kinematis Fluida (pada 30°C)
= $3 \times 10^{-6} \text{ m}^2/\text{s}$

$$Re = (0,0105 \times 1) / (3 \times 10^{-6}) \\ = 3.500$$

Jika nilai $Re < 2300$, aliran fluida dikatakan aliran “Laminer”

Jika nilai $Re > 2300$, aliran fluida dikatakan aliran “Turbulen”

Dikarenakan aliran termasuk Turbulen, maka perhitungan friction factor menggunakan diagram Moody :



Gambar 4. 5. Moody Diagram NaOH

Dengan menggunakan material Forged Stainless Steel sebagai pipa NaOH, didapat nilai dari friction factor adalah sebesar 0,044. Maka, nilai dari Head Loss Major dapat dihitung dengan menggunakan persamaan berikut :

$$\begin{aligned}
 H_{lm} &= f \times L \times v^2 / (D \times 2g) & (4.8.) \\
 &= 0,044 \times 3,5 \times 1^2 / (0,0105 \times 2 \times 9,81) \\
 &= 0,747 \text{ m}
 \end{aligned}$$

Head Loss Minor

Tabel 10. Fittings Suction NaOH

No	Type	N	k	N x k
1	Gate Valve	1	0,11	0,11
2	Elbow 90°	1	1,1	1,1
3	Filter	1	2,5	2,5
			Total	3,71

Maka, nilai dari Head Loss Minor dapat dihitung dengan menggunakan persamaan berikut :

$$\begin{aligned}
 H_l &= k \text{ Total} \times v^2 / 2g & (4.9.) \\
 &= 3,71 \times 1^2 / (2 \times 9,81) \\
 &= 0,189 \text{ m}
 \end{aligned}$$

b. Discharge Line Head Loss Major

Reynold Number

$$Re = (v \times D) / \nu$$

Dimana,

d = Diameter Pipa
= 0,0105 m

v = Kecepatan Aliran Fluida
= 1 m/s

ν = Viskositas Kinematis Fluida (pada 30°C)
= $3 \times 10^{-6} \text{ m}^2/\text{s}$

$$\begin{aligned}
 Re &= (0,105 \times 1) / (3 \times 10^{-6}) \\
 &= 3.500
 \end{aligned}$$

Jika nilai $Re < 2300$, aliran fluida dikatakan aliran “Laminer”

Jika nilai $Re > 2300$, aliran fluida dikatakan aliran “Turbulen”

Dikarenakan aliran termasuk Turbulen. Dengan menggunakan metode pada Head Loss Major, maka didapat nilai friction factor sebesar 0,044. Maka, nilai dari Head Loss Major dapat dihitung dengan menggunakan persamaan berikut :

$$\begin{aligned}
 H_{lm} &= f \times L \times v^2 / (D \times 2g) \\
 &= 0,044 \times 2 \times 1^2 / (0,0105 \times 2 \times 9,81) \\
 &= 0,427 \text{ m}
 \end{aligned}$$

Head Loss Minor

Tabel 11. Fittings Discharge NaOH

No	Type	N	k	N x k
1	NRV	1	2,0	2,0
2	T Joint	1	1,1	1,1
			Total	3,1

Maka, nilai dari Head Loss Minor dapat dihitung dengan menggunakan persamaan berikut :

$$\begin{aligned}
 Hl &= k \text{ Total} \times v^2 / 2g \\
 &= 3,1 \times 1^2 / (2 \times 9,81) \\
 &= 0,158 \text{ m}
 \end{aligned}$$

e) Total Head

Total Head pompa dapat diketahui dengan menjumlahkan semua parameter head.

$$\begin{aligned}
 \text{Total Head} &= H_z + H_p + H_v + H_l \text{ (Major + Minor)} \quad (4.10.) \\
 &= 2,85 - 1,35 + 0 + 0,747 + 0,189 + 0,427 + 0,158 \\
 &= 3,02 \text{ m}
 \end{aligned}$$

Kapasitas Pompa

Kapasitas pompa untuk fluida NaOH pada sistem ini membutuhkan laju aliran sebesar 0,3 m³/h

Kebutuhan Pompa

$$\begin{aligned}
 \text{Head} &= 3,02 \text{ m} \\
 Q &= 0,3 \text{ m}^3/\text{h}
 \end{aligned}$$

Perhitungan Pompa Air Laut

Head Pompa

$$H = H_z + H_p + H_v + \text{total Head loss.}$$

Dimana,

a) Head Statis (Hz)

Perbedaan Ketinggian antara Sisi Suction dan Sisi Discharge

- Ketinggian pada Z=0 terhadap sisi discharge = 25,12 meter
- Ketinggian pada Z=0 terhadap sisi suction = -2,6 meter

$$\begin{aligned}
 H_z &= Z_d - Z_s \\
 &= 25,12 - (-2,6) \\
 &= 27,72 \text{ m}
 \end{aligned}$$

b) Head Pressure (Hp)

Perbedaan Tekanan antara sisi Suction di dan Sisi Discharge Pipa

- Tekanan pada sisi suction = Tekanan Atmosfir + Tekanan Hidrostatik
 $= 101.325 \text{ N/m}^2 + (2,6 \rho g)$
 $= 127.468 \text{ N/m}^2$
- Tekanan pada sisi discharge = Tekanan Atmosfir
 $= 101.325 \text{ N/m}^2$

$$H_p = (P_d - P_s) / \rho \times g$$

Dimana

$$\rho = 1025 \text{ kg/m}^3$$

$$g = 9,81 \text{ m/s}^2$$

$$H_p = (101.325 - 127.468) / (1025 \times 9,81)$$

$$= -2,6 \text{ m}$$

c) Head Velocity (H_v)

Perbedaan Kecepatan Aliran pada Sisi Suction dan Discharge

- Kecepatan aliran pada sisi suction = 6 m/s
- Kecepatan aliran pada sisi discharge = 6 m/s

$$H_v = (V^2_d - V^2_s) / 2g$$

Dimana

$$g = 9,81 \text{ m/s}^2$$

$$H_v = (6-6) / 2 \times 9,81$$

$$= 0 \text{ m}$$

d) Head Loss (H_l)

Kerugian yang dialami oleh aliran di sepanjang jalur pipa dan fittings. Head Loss dibagi menjadi 2, yaitu Head Loss Major dan Head Loss Minor. Head Loss Major merupakan kerugian yang dialami akibat gesekan yang terjadi di sepanjang jalur pipa antara fluida dan dinding pipa. Head Loss Minor merupakan kerugian yang dialami akibat fittings dan aksesoris perpipaan lainnya.

a. Suction Line

Head Loss Major

Reynold Number

$$Re = (v \times D) / \nu$$

Dimana,

d = Diameter Pipa

$$= 0,126 \text{ m}$$

v = Kecepatan Aliran Fluida

$$= 6 \text{ m/s}$$

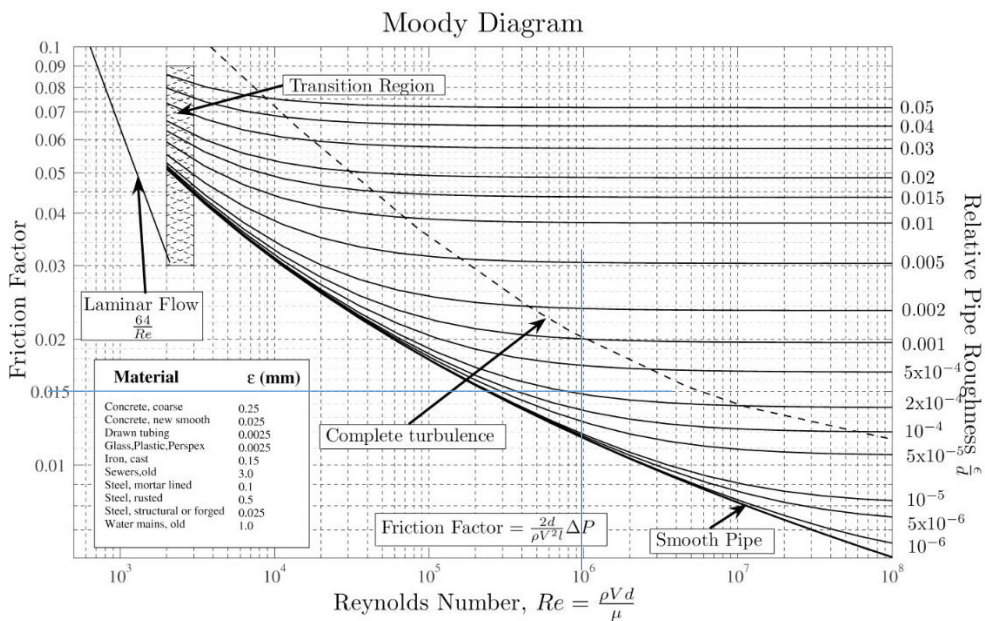
ν = Viskositas Kinematis Fluida (pada 30°C)

$$= 0,802 \times 10^{-6} \text{ m}^2/\text{s}$$

$$Re = (0,126 \times 6) / (0,802 \times 10^{-6}) = 942.643,39$$

Jika nilai $Re < 2300$, aliran fluida dikatakan aliran “Laminer”
 Jika nilai $Re > 2300$, aliran fluida dikatakan aliran “Turbulen”

Dikarenakan aliran termasuk Turbulen, maka perhitungan friction factor menggunakan diagram Moody :



Gambar 4. 6. Moody Diagram Air Laut

Dengan menggunakan material Forged Stainless Steel sebagai pipa Air Laut, didapat nilai dari friction factor adalah sebesar **0,015**. Maka, nilai dari Head Loss Major dapat dihitung dengan menggunakan persamaan berikut :

$$H_{lm} = f \times L \times v^2 / (D \times 2g) = 0,015 \times 8 \times 6^2 / (0,126 \times 2 \times 9,81) = 1,75 \text{ m}$$

Head Loss Minor

Tabel 12. Fittings Suction Air Laut

No	Type	N	k	N x k
1	Gate Valve	1	0,11	0,11
2	Elbow 90°	1	1,1	1,1
3	Filter	2	2,5	5
Total				6,21

Maka, nilai dari Head Loss Minor dapat dihitung dengan menggunakan persamaan berikut :

$$\begin{aligned} Hl &= k \text{ Total} \times v^2 / 2g \\ &= 6,21 \times 6^2 / (2 \times 9,81) \\ &= 11,39 \text{ m} \end{aligned}$$

b. Discharge Line
Head Loss Major

Reynold Number

$$Re = (v \times D) / \nu$$

Dimana,

- d = Diameter Pipa
= 0,126 m
- v = Kecepatan Aliran Fluida
= 6 m/s
- ν = Viskositas Kinematis Fluida (pada 30°C)
= $0,802 \times 10^{-6} \text{ m}^2/\text{s}$

$$\begin{aligned} Re &= (0,126 \times 6) / (0,802 \times 10^{-6}) \\ &= 942.643,39 \end{aligned}$$

Jika nilai $Re < 2300$, aliran fluida dikatakan aliran “Laminer”
Jika nilai $Re > 2300$, aliran fluida dikatakan aliran “Turbulen”

Dikarenakan aliran termasuk Turbulen. Dengan menggunakan metode pada Head Loss Major, maka didapat nilai friction factor sebesar 0,015. Maka, nilai dari Head Loss Major dapat dihitung dengan menggunakan persamaan berikut :

$$\begin{aligned} Hlm &= f \times L \times v^2 / (D \times 2g) \\ &= 0,015 \times 50 \times 6^2 / (0,126 \times 2 \times 9,81) \\ &= 10,92 \text{ m} \end{aligned}$$

Head Loss Minor

Tabel 13. Fittings Discharge Air Laut

No	Type	N	k	$\frac{N \times k}{k}$
1	NRV	1	2,0	2,0
2	Elbow 90°	4	1,1	4,4
3	Pipe Reduction	1	0,3	0,3
4	Pipe Enlargement	1	0,33	0,33
			Total	7,03

Maka, nilai dari Head Loss Minor dapat dihitung dengan menggunakan persamaan berikut :

$$\begin{aligned} Hl &= k \text{ Total} \times v^2 / 2g \\ &= 7,03 \times 6^2 / (2 \times 9,81) \\ &= 12,9 \text{ m} \end{aligned}$$

Heat Exchanger

Pada sisi discharge, air laut akan digunakan untuk mendinginkan air tawar dengan alat penukar panas / *heat exchanger*. Berdasarkan referensi dari *Project Guide Heat Exchanger* dari Hisaka Works Ltd., pressure loss yang diakibatkan oleh HE adalah sebesar 0,6 MPa atau setara dengan 6,12 meter head.

e) Total Head

Total Head pompa dapat diketahui dengan menjumlahkan semua parameter head.

$$\begin{aligned} \text{Total Head} &= H_z + H_p + H_v + Hl \text{ (Major + Minor)} \\ &= 27,72 - 2,6 + 0 + 1,75 + 11,39 + 10,92 + 12,9 + 6,12 \\ &= 68,2 \text{ m} \end{aligned}$$

Kapasitas Pompa

Kapasitas pompa untuk fluida Air Laut pada sistem ini membutuhkan laju aliran sebesar 265 m³/h

Kebutuhan Pompa

$$\begin{aligned} \text{Head} &= 68,2 \text{ m} \\ Q &= 265 \text{ m}^3/\text{h} \end{aligned}$$

Perhitungan Pompa Air Tawar

Head Pompa

$$H = H_z + H_p + H_v + \text{total Head loss.}$$

Dimana,

a) Head Statis (H_z)

Perbedaan Ketinggian antara Sisi Suction dan Sisi Discharge

- Ketinggian pada Z=0 terhadap sisi discharge = 4,5 meter
- Ketinggian pada Z=0 terhadap sisi suction = 2,8 meter

$$\begin{aligned} H_z &= Z_d - Z_s \\ &= 4,5 - 2,8 \\ &= 1,7 \text{ m} \end{aligned}$$

b) Head Pressure (H_p)

Perbedaan Tekanan antara sisi Suction dan Sisi Discharge Pipa

- Tekanan pada sisi suction = Tekanan Atmosfir + Tekanan Hidrostatik
= 101.325 N/m² + (0,2 ρ g)

- $$= 103.281,11 \text{ N/m}^2$$
 Tekanan pada sisi discharge = Tekanan Atmosfir

$$= 101.325 \text{ N/m}^2$$

$$H_p = (P_d - P_s) / \rho \times g$$

Dimana

$$\rho = 997 \text{ kg/m}^3$$

$$g = 9,81 \text{ m/s}^2$$

$$H_p = (103.281,11 - 101.325) / (997 \times 9,81)$$

$$= -0,2 \text{ m}$$

c) Head Velocity (Hv)

Perbedaan Kecepatan Aliran pada Sisi Suction dan Discharge

- Kecepatan aliran pada sisi suction = 4,6 m/s
- Kecepatan aliran pada sisi discharge = 4,6 m/s

$$H_v = (V^2_d - V^2_s) / 2 g$$

Dimana

$$g = 9,81 \text{ m/s}^2$$

$$H_v = (1,78 - 1,78) / 2 \times 9,81$$

$$= 0 \text{ m}$$

d) Head Loss (Hl)

Kerugian yang dialami oleh aliran di sepanjang jalur pipa dan fittings. Head Loss dibagi menjadi 2, yaitu Head Loss Major dan Head Loss Minor. Head Loss Major merupakan kerugian yang dialami akibat gesekan yang terjadi di sepanjang jalur pipa antara fluida dan dinding pipa. Head Loss Minor merupakan kerugian yang dialami akibat fittings dan aksesoris perpipaan lainnya.

a. Suction Line

Head Loss Major

Reynold Number

$$Re = (v \times D) / \nu$$

Dimana,

d = Diameter Pipa

$$= 0,304 \text{ m}$$

v = Kecepatan Aliran Fluida

$$= 4,6 \text{ m/s}$$

ν = Viskositas Kinematis Fluida (pada 30°C)

$$= 0,802 \times 10^{-6} \text{ m}^2/\text{s}$$

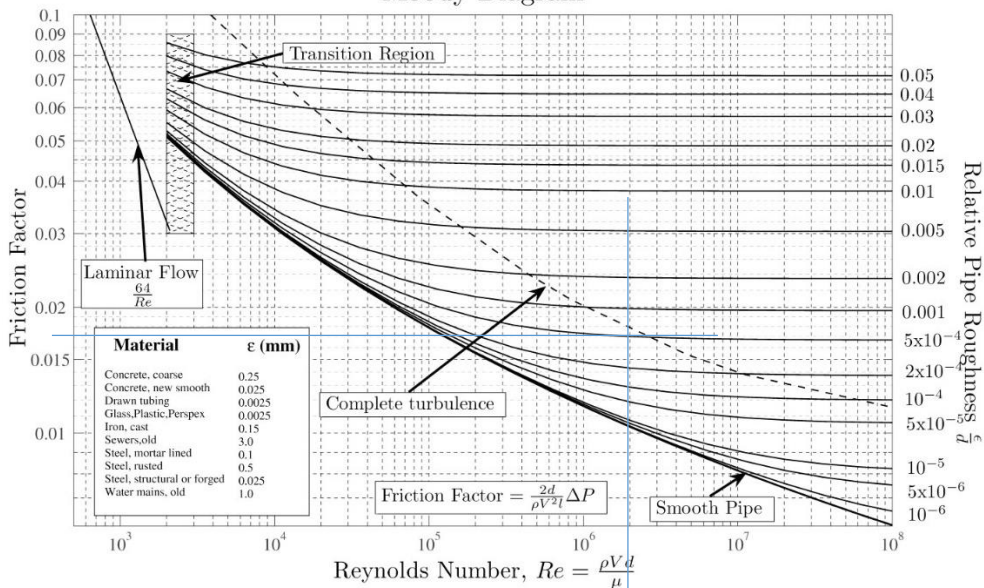
$$Re = (0,304 \times 1,78) / (0,802 \times 10^{-6})$$

$$= 674.713,22$$

Jika nilai $Re < 2300$, aliran fluida dikatakan aliran “Laminer”
 Jika nilai $Re > 2300$, aliran fluida dikatakan aliran “Turbulen”

Dikarenakan aliran termasuk Turbulen, maka perhitungan friction factor menggunakan diagram Moody :

Moody Diagram



Gambar 4. 7. Moody Diagram Air Tawar Suction

Dengan menggunakan material Cast Iron sebagai pipa Air Laut, didapat nilai dari friction factor adalah sebesar 0,018. Maka, nilai dari Head Loss Major dapat dihitung dengan menggunakan persamaan berikut :

$$\begin{aligned}
 H_{lm} &= f \times L \times v^2 / (D \times 2g) \\
 &= 0,018 \times 9 \times 1,78^2 / (0,304 \times 2 \times 9,81) \\
 &= 0,086 \text{ m}
 \end{aligned}$$

Head Loss Minor

Tabel 14. Fittings Suction Air Tawar

No	Type	N	k	N x k
1	Butterfly Valve	3	2	6
2	Elbow 90°	3	1,1	3
3	Filter	2	2,5	5
4	T Joint	3	1,1	3,3
5	Pipe Reduction	1	0,4	0,4
Total				17,7

Maka, nilai dari Head Loss Minor dapat dihitung dengan menggunakan persamaan berikut :

$$\begin{aligned}
 Hl &= k_{\text{Total}} \times v^2 / 2g \\
 &= 17,7 \times 4,6^2 / (2 \times 9,81) \\
 &= 19,1 \text{ m}
 \end{aligned}$$

- b. Discharge Line
Head Loss Major

Reynold Number

$$Re = (v \times D) / \nu$$

Dimana,

$$\begin{aligned}
 d &= \text{Diameter Pipa} \\
 &= 0,203 \text{ m}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 v &= \text{Kecepatan Aliran Fluida} \\
 &= 4,6 \text{ m/s}
 \end{aligned}$$

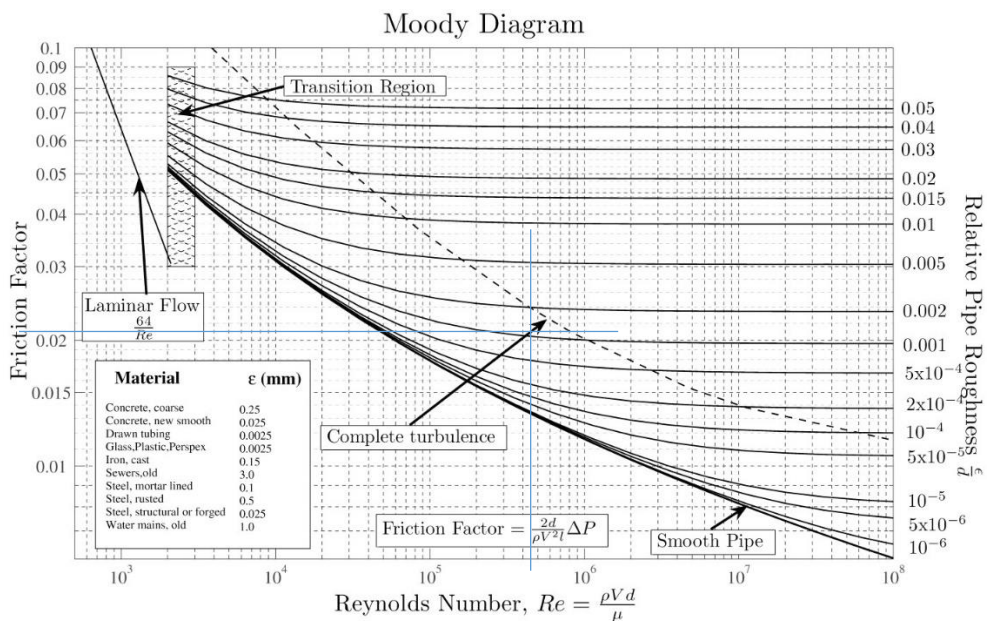
$$\begin{aligned}
 \nu &= \text{Viskositas Kinematis Fluida (pada } 30^\circ\text{C)} \\
 &= 0,802 \times 10^{-6} \text{ m}^2/\text{s}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 Re &= (0,203 \times 1,78) / (0,802 \times 10^{-6}) \\
 &= 450.548,63
 \end{aligned}$$

Jika nilai $Re < 2300$, aliran fluida dikatakan aliran “Laminer”

Jika nilai $Re > 2300$, aliran fluida dikatakan aliran “Turbulen”

Dikarenakan aliran termasuk Turbulen, maka perhitungan friction factor menggunakan diagram Moody :



Gambar 4. 8. Moody Diagram Air Tawar Discharge

Dengan menggunakan material Cast Iron sebagai pipa Air Laut, didapat nilai dari friction factor adalah sebesar 0,0205. Maka, nilai dari Head Loss Major dapat dihitung dengan menggunakan persamaan berikut :

$$\begin{aligned}
 H_{lm} &= f \times L \times v^2 / (D \times 2g) \\
 &= 0,0205 \times 11,9 \times 1,78^2 / (0,203 \times 2 \times 9,81) \\
 &= 0,19 \text{ m}
 \end{aligned}$$

Head Loss Minor

Tabel 15. Fittings Discharge Air Tawar

No	Type	N	k	N x k
1	NRV	1	2,0	2,0
2	T Joint	2	0,75	1,5
3	Elbow 90	2	1	2
4	Nozzle	5	0,755	3,775
			Total	9,275

Maka, nilai dari Head Loss Minor dapat dihitung dengan menggunakan persamaan berikut :

$$\begin{aligned}
 H_l &= k \text{ Total} \times v^2 / 2g \\
 &= 9,275 \times 4,6^2 / (2 \times 9,81) \\
 &= 10 \text{ m}
 \end{aligned}$$

Heat Exchanger

Pada sisi discharge, air tawar akan didinginkan oleh air laut dengan alat penukar panas / heat exchanger sebelum masuk ke scrubber. Berdasarkan referensi dari Project Guide Heat Exchanger dari Hisaka Works Ltd., pressure loss yang diakibatkan oleh HE adalah sebesar 0,6 MPa atau setara dengan 6,12 meter head.

e) Total Head

Total Head pompa dapat diketahui dengan menjumlahkan semua parameter head.

$$\begin{aligned}
 \text{Total Head} &= H_z + H_p + H_v + H_l \text{ (Major + Minor)} \\
 &= 1,7 - 0,2 + 0 + 0,086 + 19,1 + 0,19 + 10 + 6,12 \\
 &= 36,81 \text{ m}
 \end{aligned}$$

Kapasitas Pompa

Kapasitas pompa untuk fluida Air Tawar pada sistem ini membutuhkan laju aliran sebesar 205 m³/h

Kebutuhan Pompa

$$\begin{aligned}
 \text{Head} &= 36,81 \text{ m} \\
 Q &= 205 \text{ m}^3/\text{h}
 \end{aligned}$$

4.3.3. Pemilihan Komponen

Setelah dilakukan perhitungan yang berkaitan dengan proses modifikasi pada sistem scrubber air tawar, maka selanjutnya dapat dipilih komponen yang tersedia yang sesuai dengan kebutuhan perhitungan. Komponen yang dipilih pun antara lain adalah pipa, pompa, *heat exchanger*, dan *wash water treatment*.

Pipa

Tabel 16. Tabel Pemilihan Pipa

	NaOH	Air Tawar		Air Laut
		Sebelum Scrubber	Setelah Scrubber	
Nominal Diameter	10 mm	200 mm	300 mm	125 mm
Inside Diameter	12,5 mm	207,9 mm	311 mm	134,9 mm
Thickness	2,3 mm	5,6 mm	6,4 mm	3,2 mm
Outside Diameter	17,1 mm	219,1 mm	323,8 mm	141,3 mm
Material	Stainless Steel	Cast Iron	Cast Iron	Stanless Steel

Pompa

Tabel 17. Tabel Pemilihan Pompa

	NaOH	Air Tawar	Air Laut
Merk	Forte Pumps	Evergush	Taiko
Type	S-PC 4014 L	XA 80/20A	ESC-250D
Capacity	13,8 m ³ /h	216 m ³ /h	300 m ³ /h
Head	8 m	44,5 m	70 m
Power	0,75 kW	37 kW	90 kW

Heat Exchanger

Merk	= Hisaka
Type	= UX-30
Max. Flow Rate	= 285 m ³ /h
Max. Working Temperature	= 180°C
Max. Working Pressure	= 22 Bar

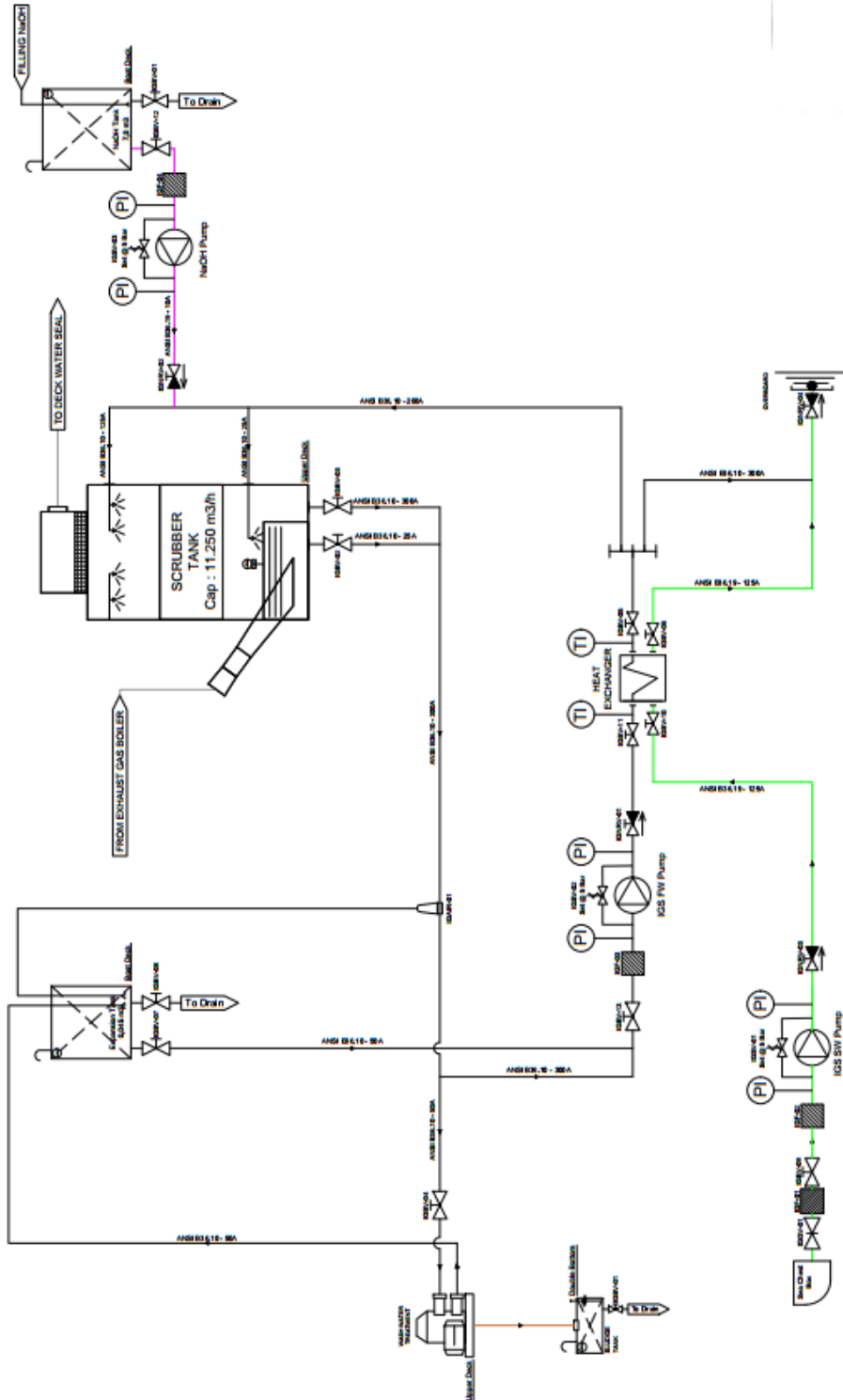
Wash Water Treatment

Merk	= Wartsila
Type	= SWT 500
Capacity	= 5 m ³ /h
Power	= 6 kW

4.3.4. Modifikasi *Piping & Instrumentation Diagram*

Dari *existing* P&ID sistem scrubber sistem inert gas yang telah ada akan dilakukan modifikasi dengan merubah *open loop system* menjadi *closed loop system*. Penggambaran P&ID dapat dilihat pada Gambar 4.5. Proses modifikasi menyebabkan perlunya dilakukan penambahan komponen yang merupakan proses tambahan didalam sistem scrubber. Penambahan komponen tersebut antara lain adalah penambahan tanki dan pompa NaOH, yang berfungsi untuk menginjeksikan NaOH ke dalam sistem. Selain itu dilakukan penambahan *expansion tank* air tawar, yang ditujukan untuk menyediakan ruang tambahan bagi air tawar untuk memuai, dan juga sebagai penyedia air tawar tambahan ke dalam sistem. Selain itu dilakukan juga penambahan komponen *wash water treatment*, yang berfungsi untuk membersihkan *wash water* sehingga air tawar dapat digunakan kembali. Selanjutnya terdapat *heat exchanger* yang digunakan untuk mendinginkan air tawar yang telah *ditreatment* yang akan digunakan kembali untuk membersihkan gas buang. Selain dilakukan penambahan komponen yang merupakan proses tambahan di dalam sistem, dilakukan juga penambahan komponen berupa fittings pada sistem perpipaan.

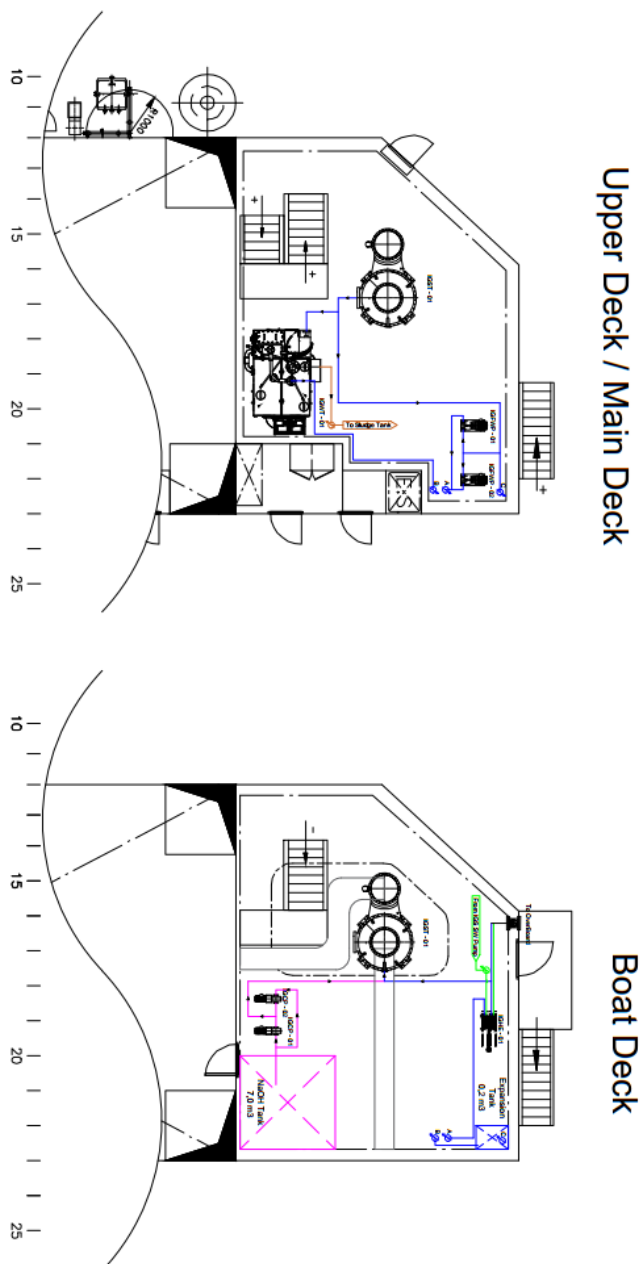
Modifikasi *Piping & Instrumentation Diagram* sistem scrubber sistem inert gas dapat dilihat pada Gambar 4.5.



Gambar 4. 9. P&ID Modifikasi Sistem Scrubber

4.3.5. Modifikasi *Inert Gas Room Arrangement*

Penggambaran modifikasi Inert Gas Room Arrangement dilakukan untuk mengetahui penambahan-penambahan komponen akibat dilakukannya modifikasi pada sistem scrubber. Sistem scrubber sistem inert gas pada kapal crude oil tanker 85.000 DWT berada di Upper Deck/Main Deck hingga Boat Deck kapal. Inert Gas Room sendiri berada di frame 12 hingga 23 pada kapal, tepatnya pada sisi *portside* pada *funnel*. Pada modifikasi ini dilakukan penambahan komponen seperti tanki NaOH, *expansion tank*, *wash water treatment*, *heat exchanger* dan pompa-pompa. Adapun penggambaran modifikasi Inert Gas Room Layout dapat dilihat pada Gambar 4.6.



Gambar 4. 10. Modifikasi *Inert Gas Room Arrangement*

4.3.6. Penyesuaian Kebutuhan Listrik

Sumber listrik pada kapal berasal dari generator. Generator berfungsi untuk memenuhi semua kebutuhan listrik di kapal dalam berbagai kondisi. Dengan melakukan modifikasi yang membutuhkan penambahan komponen akan menyebabkan kebutuhan listrik pada kapal meningkat. Peningkatan kebutuhan listrik tersebut akan mempengaruhi beban generator pada kapal. Oleh karena itu, perhitungan kebutuhan listrik perlu dilakukan kembali untuk mengetahui apakah generator yang sudah terpasang pada kapal mampu memenuhi kebutuhan listrik kapal tersebut setelah dilakukannya penambahan komponen pada sistem scrubber.

Untuk mengetahui beban generator setelah diberi penambahan komponen membutuhkan data berupa Electrical Load atau beban listrik yang dimiliki pada kapal. Adapun beban generator pada kapal dibagi menjadi 5 kondisi, yaitu saat berlayar (sea going), saat bermanuver (manuevering), bongkar muat (cargo operation), pelabuhan (harbour), dan kondisi emergency.

Tabel 18. Electrical Load Pada Kapal Crude Oil Tanker

Item		Sea going	Manuver -ing	Cargo Operation	Harbour	Emergency
Intermittent load (kW)	Total	240,04	305,44	290,2	189,11	70,7
	Diversity factor	0,7	0,7	0,7	0,7	0,7
	Demand power	168	213,8	203,1	132,4	49,5
Continuous load (kW)	Demand power	418,22	487,82	1252,63	393,77	62,5
Total continuous & intermittent load		586,25	701,63	1455,73	526,15	111,99
Design margin (2%) (kW)		11,73	14,03	29,11	10,52	2,24
Total demand power with provision for design margin (kw)		597,98	715,66	1484,84	536,67	114,23

Penyesuaian kebutuhan listrik pada modifikasi ini hanya tertuju pada kondisi bongkar muat. Hal tersebut dikarenakan sistem scrubber pada sistem inert gas digunakan pada saat kondisi bongkar muat. Sehingga, dalam melakukan penyesuaian kebutuhan listrik akan memberikan tambahan beban pada beban kontinyu (Continuous Load) saat bongkar muat. Adapun perhitungan terkait dengan tambahan beban generator akibat modifikasi sistem inert gas adalah sebagai berikut :

$$\begin{aligned}
 \text{CL baru} &= \text{CL awal} + (\text{Load Factor} \times \text{Konsumsi daya komponen baru}) && (4.11.) \\
 &= 1252,63 + (0,85 \times 187,5) \\
 &= 1412,01 \text{ kW}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 \text{Total demand power} &= \text{Total IL \& CL} \times (1 + \text{design margin}) \\
 &= 203,1 + 1412,01 \times (1 + 2\%) \\
 &= 1647,4 \text{ kW}
 \end{aligned}$$

Tabel 19. Perhitungan Electrical Load pada kondisi Bongkar Muat

Item		Cargo Operation
Intermitten load (kW)	Total	290.2
	Diversity factor	0.7
	Demand power	203.1
Continous load (kW)	Demand power	1412,01
Total continous & intermitten load		1615,11
Design margin (2%) (kW)		32,3
Total demand power with provision for design margin (kw)		1647,4

Setelah diketahui total demand power, selanjutnya adalah melakukan perhitungan load factor terutama pada kondisi bongkar muat. Adapun perhitungan load factor dapat ditentukan dengan menggunakan rumus berikut:

$$\begin{aligned}
 \text{Load Factor generator} &= \text{Total daya yang dibutuhkan} / \text{Total daya yang dihasilkan} \\
 &= 1647,4 / (850 \times 2) \\
 &= 96,9 \%
 \end{aligned}$$

Nilai load factor yang didapatkan setelah dilakukan penambahan komponen adalah sebesar 96,9%. Hal tersebut tidak diizinkan berdasarkan aturan BKI Vol. IV dikarenakan maksimal load factor adalah sebesar 86%. Namun nilai 96,9% tersebut adalah sesuai dengan penggunaan generator awal sebanyak 2 generator. Maka selanjutnya dilakukan perhitungan kembali load factor dengan menggunakan 3 generator. Hasil perhitungan yang didapatkan adalah sebagai berikut :

$$\begin{aligned}
 \text{Load Factor} &= \text{Total daya yang dibutuhkan} / \text{Total daya yang dihasilkan generator} && (4.12.) \\
 &= 1647,4 / (850 \times 3) \\
 &= 64,6 \%
 \end{aligned}$$

Selanjutnya adalah dilakukan perhitungan arus start dengan kondisi beban setelah dilakukan modifikasi. Perhitungan ini membutuhkan nilai terbesar konsumsi daya diantara semua komponen yang berada pada kapal. Pada kapal ini konsumsi daya terbesar adalah digunakan untuk cargo oil pump yang bernilai 342 kW. Dikarenakan komponen sistem scrubber bukan merupakan komponen dengan nilai konsumsi daya terbesar, maka tidak terjadi perubahan signifikan dalam perhitungan load analysis pada arus start. Berikut adalah perhitungan load analysis saat kondisi start :

$$\begin{aligned}
 \text{Daya Start} &= \text{Total daya bongkar muat (tanpa cargo oil} & (4.13.) \\
 &\text{pump) + daya pompa bongkar muat} \\
 &= 1242,38 + (342 \times 3) \\
 &= 2268,38 \text{ kW}
 \end{aligned}$$

Setelah melakukan perhitungan arus start, selanjutnya dilakukan perhitungan efisiensi generator dengan menggunakan rumus berikut :

$$\begin{aligned}
 \text{Efisiensi Generator} &= \text{Daya start / Total Daya Generator} & (4.14.) \\
 &= 2268,38 / (850 \times 3) \\
 &= 88,96 \%
 \end{aligned}$$

Nilai tersebut masih diperbolehkan, artinya generator kapal masih mencukupi kebutuhan listrik setelah dilakukan modifikasi sistem scrubber air tawar sistem inert gas.

4.4. Perhitungan Ekonomi

Perhitungan ekonomi merupakan perhitungan biaya atas modifikasi yang dilakukan. Untuk melakukan perhitungan ekonomi perlu diketahui peralatan-peralatan yang dipasang atas modifikasi yang dilakukan. Adapun peralatan-peralatan yang dipasang terdiri dari pompa, pipa, fitting, dan peralatan lainnya. Berikut adalah daftar peralatan yang akan dipasang pada modifikasi sistem scrubber air tawar.

Tabel 20. Daftar Komponen Sistem Scrubber Air Tawar

No	Item	Specification	Qty	Unit
Component List				
1	Sea Water Pump	Brand : Taiko ESC-250 D Flow Rate : 300 m ³ /h Head : 70 m Power : 90 kW	2	Pcs
2	Fresh Water Pump	Brand : Evergush XA 80/20A Capacity : 216 m ³ /h Head : 44,5 m Power : 37 kW	2	Pcs
3	NaOH Pump	Brand : Forte S-PC 4014 L Capacity : 13,8 m ³ /h Head : 8 m Power : 0,75 kW	2	Pcs
4	Heat Exchanger	Brand : Hisaka UX-30 Max. Flow Rate : 285 m ³ /h Max. Working Temperature : 180°C Max. Working Pressure : 22 Bar	1	Pcs
5	Wash Water Treatment	Brand : Wartsila OWS 5000 Capacity : 5 m ³ /h Power : 6 kW	1	Pcs

Tabel 21. Daftar Pipa dan Fitting Sistem Scrubber Air Tawar

No	Item	Specification	Qty	Unit
Pipe & Fittings				
1	Stainless Steel Pipe	Stainless Steel, Sch 40, 3/8 inch	7	m
2	Stainless Steel Pipe	Stainless Steel, Sch 40, 5 inch	58	m
3	Cast Iron Pipe	Cast Iron, Sch 40, 8 inch	12	m
4	Cast Iron Pipe	Cast Iron, Sch 40, 12 inch	9	m
5	Butterfly Valve	5 inch	3	pcs
6	Butterfly Valve	2 inch	3	pcs
7	Butterfly Valve	12 inch	1	pcs
8	Butterfly Valve	8 inch	2	pcs
9	Butterfly Valve	3/8 inci	2	pcs
10	Elbow 90	Stainless Steel, 3/8 inch	1	pcs
11	Elbow 90	Stainless Steel, 5 inch	5	pcs
12	Elbow 90	Cast Iron, 12 inch	3	pcs
13	Elbow 90	Cast Iron, 8 inch	7	pcs
14	Filter	3/8 inch	1	pcs
15	Filter	5 inch	2	pcs
16	Filter	8 inch	1	pcs
17	Gate Valve	5 inch	1	pcs
18	Level Alarm		2	pcs
19	NRV	3/8 inch	1	pcs
20	NRV	5 inch	1	pcs
21	NRV	8 inch	1	pcs
22	Pipe Reduction	5 inch	2	pcs
23	Pressure Indicator		6	pcs
24	Safety Valve	3/8 inch	3	pcs
25	T Joint	3/8 inch	1	pcs
26	T Joint	5 inch	1	pcs
27	T Joint	12 inch	2	pcs
28	T Joint	8 inch	3	pcs

Setelah diketahui daftar komponen yang diperlukan beserta jumlah dan ukurannya, maka selanjutnya dilakukan estimasi biaya peralatan berdasarkan ukuran dan spesifikasi peralatan. Biaya peralatan diperlukan untuk kemudian menentukan biaya instalasi atas modifikasi sistem scrubber air tawar. Biaya peralatan dapat dilihat pada Tabel 12. dan Tabel 13. Adapun harga yang tertera merupakan harga dalam satuan rupiah.

Tabel 22. Daftar Komponen

Component List						
No	Item	Specification	Qty	Unit	Cost / Item	Total Cost
1	Sea Water Pump	Brand : Taiko ESC-250 D Flow Rate : 300 m ³ /h Head : 70 m Power : 90 kW	2	Pcs	Rp 127,138,500	Rp 254,277,000
2	Fresh Water Pump	Brand : Evergush XA 80/20A Capacity : 216 m ³ /h Head : 44,5 m Power : 37 kW	2	Pcs	Rp 77,695,750	Rp 155,391,500
3	NaOH Pump	Brand : Forte S-PC 4014 L Capacity : 13,8 m ³ /h Head : 8 m Power : 0,75 kW	2	Pcs	Rp 17,490,000	Rp 34,980,000
4	Heat Exchanger	Brand : Hisaka UX-30 Max. Flow Rate : 285 m ³ /h Max. Working Temperature : 180°C Max. Working Pressure : 22 Bar	1	Pcs	Rp 70,686,250	Rp 70,686,250
5	Wash Water Treatment	Brand : Wartsila OWS 5000 Capacity : 5 m ³ /h Power : 6 kW	1	Pcs	Rp 141,265,000	Rp 141,265,000
6	Component Spare Parts	5% of Component Cost				Rp 32,829,988
					Total Component Cost	Rp 689,429,738

Tabel 23. Daftar Pipa & Fitting

Pipe & Fittings						
No	Item	Specification	Qty	Unit	Cost / Item	Total Cost
1	Stainless Steel Pipe	Stainless Steel, Sch 40, 3/8 inch	7	m	Rp 211,723	Rp 1,482,061
2	Stainless Steel Pipe	Stainless Steel, Sch 40, 5 inch	58	m	Rp 1,547,120	Rp 89,732,960
3	Cast Iron Pipe	Cast Iron, Sch 40, 8 inch	12	m	Rp 1,360,760	Rp 16,329,120
4	Cast Iron Pipe	Cast Iron, Sch 40, 12 inch	9	m	Rp 2,046,654	Rp 18,419,886
5	Butterfly Valve	5 inch	3	pcs	Rp 763,084	Rp 2,289,252
6	Butterfly Valve	2 inch	3	pcs	Rp 445,500	Rp 1,336,500
7	Butterfly Valve	12 inch	1	pcs	Rp 1,466,621	Rp 1,466,621
8	Butterfly Valve	8 inch	2	pcs	Rp 1,022,224	Rp 2,044,448
9	Butterfly Valve	3/8 inci	2	pcs	Rp 222,750	Rp 445,500
10	Elbow 90	Stainless Steel, 3/8 inch	1	pcs	Rp 134,532	Rp 134,532
11	Elbow 90	Stainless Steel, 5 inch	5	pcs	Rp 523,793	Rp 2,618,967
12	Elbow 90	Cast Iron, 12 inch	3	pcs	Rp 834,900	Rp 2,504,700
13	Elbow 90	Cast Iron, 8 inch	7	pcs	Rp 526,500	Rp 3,685,500
14	Filter	3/8 inch	1	pcs	Rp 869,000	Rp 869,000
15	Filter	5 inch	2	pcs	Rp 9,390,000	Rp 18,780,000
16	Filter	8 inch	1	pcs	Rp 17,900,000	Rp 17,900,000
17	Gate Valve	5 inch	1	pcs	Rp 537,577	Rp 537,577
18	Level Alarm		2	pcs	Rp 169,000	Rp 338,000
19	NRV	3/8 inch	1	pcs	Rp 369,000	Rp 369,000
20	NRV	5 inch	1	pcs	Rp 8,290,000	Rp 8,290,000
21	NRV	8 inch	1	pcs	Rp 13,190,000	Rp 13,190,000
22	Pipe Reduction	5 inch	2	pcs	Rp 189,000	Rp 378,000
23	Pressure Indicator		6	pcs	Rp 209,000	Rp 1,254,000
24	Safety Valve	3/8 inch	3	pcs	Rp 9,887,185	Rp 29,661,555
25	T Joint	3/8 inch	1	pcs	Rp 55,900	Rp 55,900
26	T Joint	5 inch	1	pcs	Rp 1,890,000	Rp 1,890,000
27	T Joint	12 inch	2	pcs	Rp 5,390,000	Rp 10,780,000
28	T Joint	8 inch	3	pcs	Rp 3,390,000	Rp 10,170,000
					Total Pipe & Fitting Cost	Rp 256,953,079

4.4.1. Biaya Instalasi

Biaya instalasi merupakan biaya yang dibutuhkan untuk membeli, mengirim, dan memasang peralatan-peralatan yang diperlukan pada modifikasi sistem yang dilakukan. Dengan menggunakan daftar biaya peralatan yang telah didapatkan, berikut adalah perhitungan atas biaya instalasi.

Tabel 24. Biaya Instalasi

Capital Cost			
No	Item	Estimation	Total Cost
1	Equipment Cost	Component + Pipe & Fittings Cost	Rp 946,382,817
2	Shipping / Freight Cost	18.000 USD	Rp 254,277,000
3	Component Spare Parts	5% of Component Cost	Rp 34,471,486.88
4	Installation Cost	5% of Equipment Cost	Rp 47,319,140.83
5	Insurance	0,5% of Shipping + Equipment Cost	Rp 6,003,299.08
6	Import Duty	10% of Equipment + Freight + Insurance	Rp 120,666,311.56
7	PPN	10% of Equipment Cost	Rp 94,638,281.65
8	PPh Import	3% of Equipment Cost	Rp 28,391,484.50
Total			Rp 1,532,149,820.99

“Halaman Ini Sengaja Dikosongkan”

BAB V KESIMPULAN DAN SARAN

5.1. Kesimpulan

Berdasarkan hasil perhitungan, desain, dan analisa yang telah dilakukan, maka dapat diambil kesimpulan sebagai berikut :

1. Perbandingan sistem scrubber air laut dan sistem air tawar memiliki kelebihan dan kekurangan sebagai berikut :

Sistem Scrubber Air Laut

Tabel 25. Analisa Sistem Scrubber Air Laut

Keuntungan	Kerugian
Mudah Didapat	Bersifat Korosif
Jumlah Tidak Terbatas	Penggunaan Material yang Lebih Mahal
Memiliki Alkalinitas Alami	Perawatan Komponen Harus Lebih Sering
Sistem Instalasi Lebih Sederhana	Kemampuan membersihkan gas buang tergantung kondisi perairan

Sistem Scrubber Air Tawar

Tabel 26. Analisa Sistem Scrubber Air Tawar

Keuntungan	Kerugian
Tingkat Korosif Air Tawar Rendah	Mengangkut tambahan air tawar
Tidak adanya pembuangan air maupun limbah ke laut	Sistem instalasi lebih rumit
Dapat menggunakan material dengan kualitas rendah	Perlu dilakukan penambahan komponen
Perawatan komponen lebih jarang	Perawatan terhadap komponen lebih banyak
Kemampuan membersihkan gas buang tidak tergantung kondisi perairan	

2. Modifikasi P&ID sistem scrubber air tawar yang telah dilakukan dapat dilihat pada sub-bab 4.3.4. Dalam melakukan modifikasi, dilakukan penambahan komponen sebagai berikut :

Pompa

Tabel 27. Spesifikasi Pompa Tambahan

	NaOH	Air Tawar	Air Laut
Merk	Forte Pumps	Evergush	Taiko
Type	S-PC 4014 L	XA 80/20A	ESC-250D
Capacity	13,8 m ³ /h	216 m ³ /h	300 m ³ /h
Head	8 m	44,5 m	70 m
Power	0,75 kW	37 kW	90 kW

Heat Exchanger

Merk	= Hisaka
Type	= UX-30
Max. Flow Rate	= 285 m ³ /h
Max. Working Temperature	= 180°C
Max. Working Pressure	= 22 Bar

Wash Water Treatment

Merk	= Wartsila
Type	= SWT 500
Capacity	= 5 m ³ /h
Power	= 6 kW

3. Modifikasi *Inert Gas Room Arrangement* sistem scrubber air tawar yang telah dilakukan dapat dilihat pada sub-bab 4.3.5. yang menyesuaikan dengan ruangan yang tersedia pada kapal.
4. Berdasarkan hasil perhitungan ekonomi yang dilakukan pada sub-bab 4.4. menunjukkan bahwa modifikasi sistem scrubber air tawar membutuhkan biaya instalasi sebesar Rp 1.532.149.820,99.
5. Dari perhitungan serta penggambaran atas modifikasi yang telah dilakukan menunjukkan bahwa secara teknis, modifikasi sistem scrubber air laut menjadi air tawar pada kapal Crude Oil Tanker 85.000 DWT dapat dilakukan. Secara ekonomi, estimasi biaya instalasi atas modifikasi sistem scrubber air tawar membutuhkan biaya sekitar 1,5 M Rupiah.

5.2. Saran

Berdasarkan hasil perhitungan, desain, dan analisa yang telah dilakukan, maka diketahui saran yang dapat digunakan untuk penelitian selanjutnya antara lain :

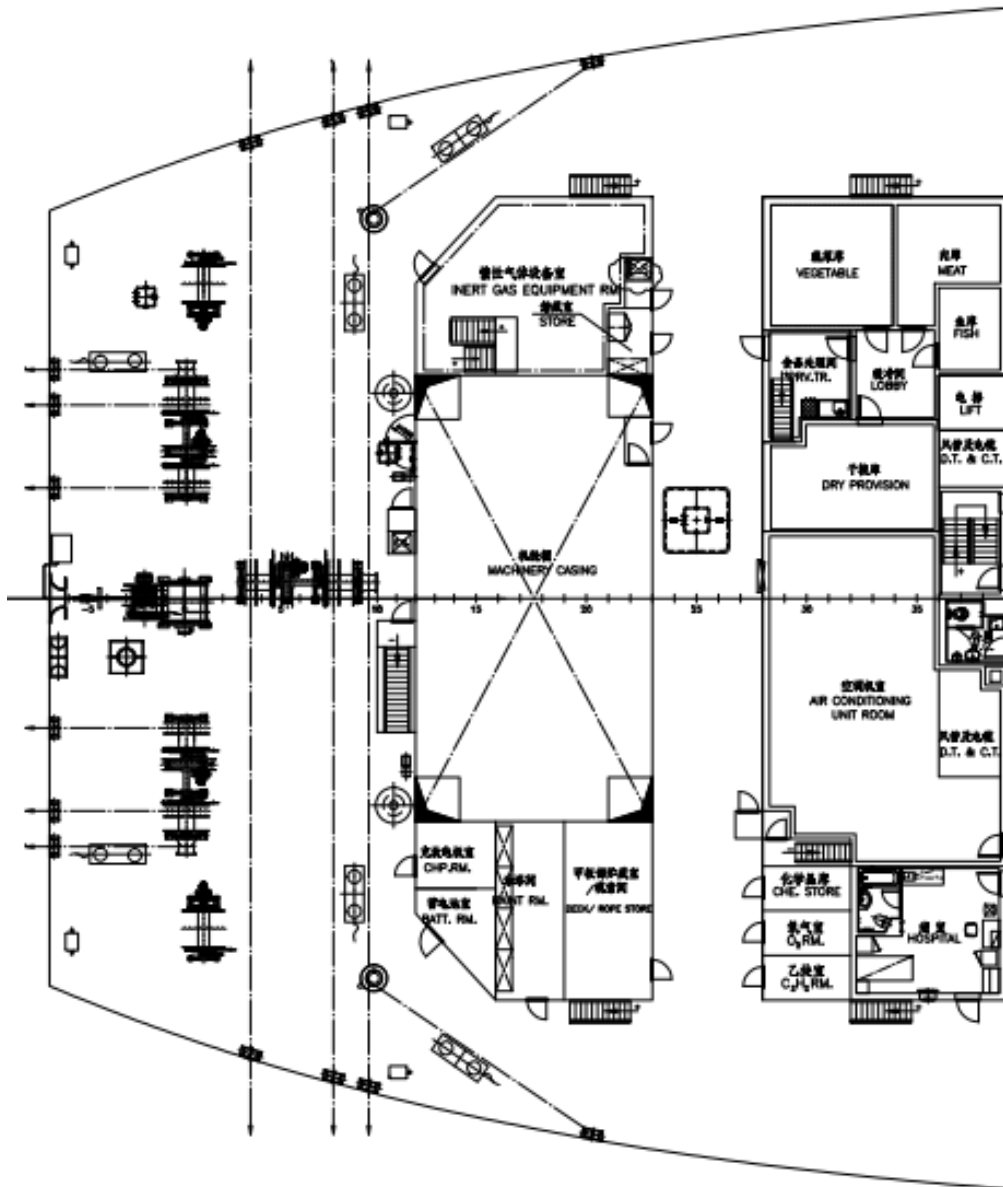
1. Dalam melakukan modifikasi dan penempatan komponen, diperlukan dimensi komponen yang lebih detail sehingga penambahan komponen dapat dihitung lebih akurat.
2. Dalam melakukan analisa teknis, selanjutnya perlu dilakukan analisa perbandingan laju korosi dari sistem air laut dan sistem air tawar untuk mengetahui kelayakan modifikasi secara lebih mendetail.
3. Dalam melakukan analisa ekonomi, perlu diketahui biaya instalasi, operasional, dan perawatan atas *existing system* sehingga dapat diketahui perbandingan dari kedua sistem secara lebih mendetail.

DAFTAR PUSTAKA

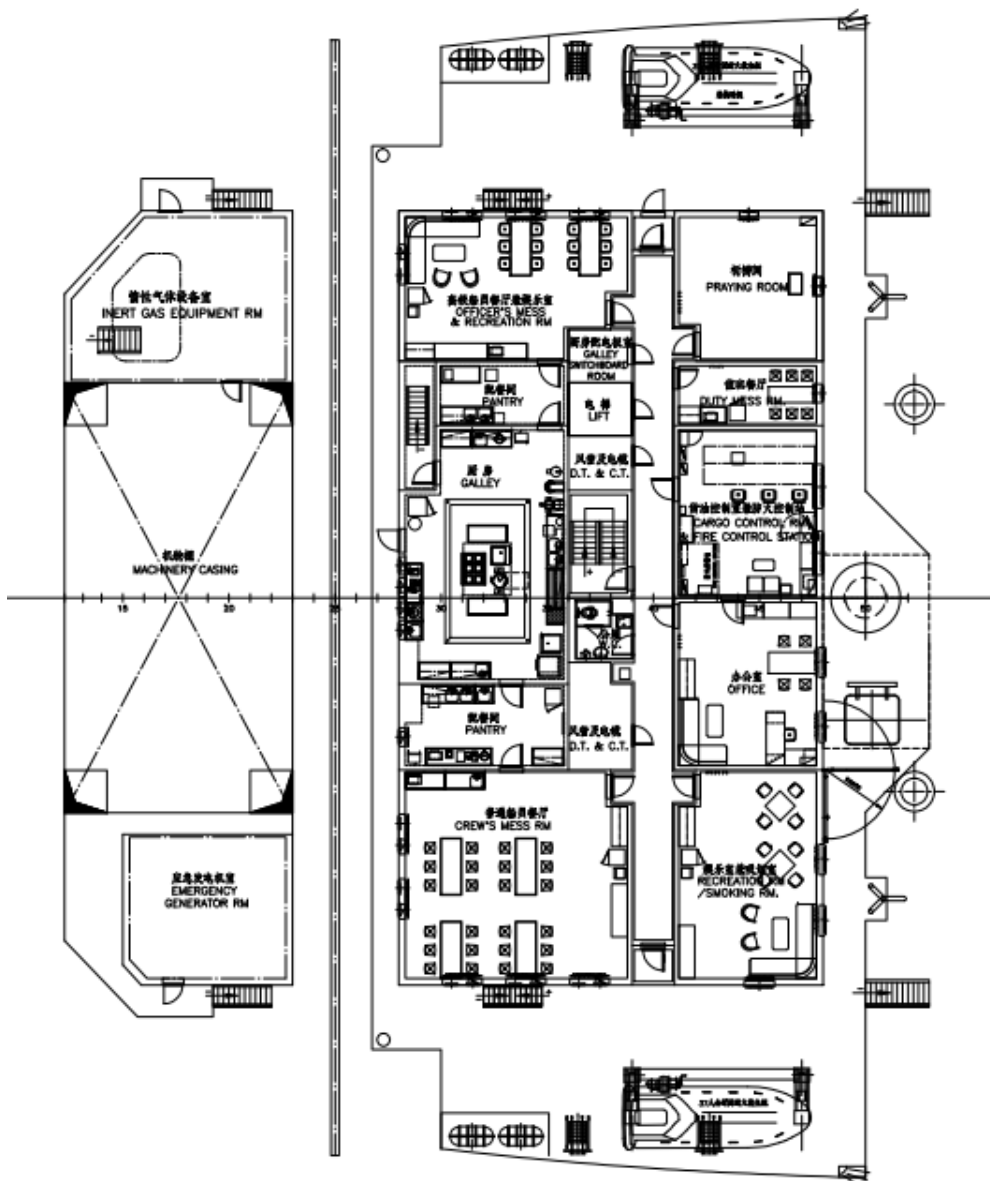
- Biro Klasifikasi Indonesia. (2018). *Rules For Machinery Installations Volume III*.
- Boegger Industrial Limited. (2019, February). Retrieved from demisterpads.com: <https://www.demisterpads.com/demister-pad/index.html>
- Bright Hub Engineering. (2019, February). Retrieved from brighthubengineering.com: <https://www.brighthubengineering.com/marine-engines-machinery/67236-inert-gas-protection-and-cleaning-of-oil-tanker-cargo-tanks/>
- Chang, R. (2008). *Kimia Dasar : Konsep-Konsep Inti*. Jakarta: Erlangga.
- Der Norske Veritas (DNV). (2009). *Exhaust Gas Cleaning System (EGCS)*.
- Dive Rite. (2019, February). Retrieved from diverite.com: <https://www.diverite.com/products/gauges/tank-pressure-gauge/>
- EGCSA. (2010). *Exhaust Gas Cleaning Systems Association*.
- Energy Education. (2018, September 3). Retrieved from energyeducation.ca: https://energyeducation.ca/encyclopedia/Wet_scrubber
- Filancia, A. (2009). Reducing Emissions from Shipping,. *Sustainable Shipping Conference 2009*. San Fransisco: Wartsila's Solutions.
- Hasselov, I., & Turner, D. (2007). Seawater scrubbing - Reduction of SO_x Emissions from Ship Exhausts. *The Alliance For Global Sustainability*. Gothenburg.
- Hendyta, N. (2009). Tugas Akhir. *Kajian Eksperimen Penggunaan Wet Scrubber Untuk Mengurangi Kadar SO_x dan NO_x Pada Motor Diesel*.
- IndiaMart IndiaMesh Ltd. (2019, February). Retrieved from indiamart.com: <https://www.indiamart.com/proddetail/oxygen-analyzer-4324768897.html>
- IndiaMART InterMESH Ltd. (2019, February). Retrieved from indiamart.com: <https://dir.indiamart.com/impcat/level-switches.html>
- Kern, D. (1983). *Process Heat Transfer*. Tokyo: McGraw-Hill Book Company Japan, Ltd.
- Marathe Infotech Pvt. Ltd. (2019, February). Retrieved from gidonline.com: http://www.gidonline.com/Catalogue/Rotary_Air_Blowers.htm
- Maritime Connector. (2019, February). Retrieved from maritime-connector.com: <https://maritime-connector.com/wiki/vlcc/>
- Maulana, E., Kristanto, W., & Dahlan, D. (2018). Perencanaan Ulang Wet Scrubber. *Seminar Nasional Teknologi*, 245-250.

- Naffco Fzco. (2019, February). Retrieved from naffco.com: <https://www.naffco.com/iq/en/products/view/high-velocity-water-spray-nozzles>
- Office of Wastewater Management. (2011). *Exhaust Gas Scrubber Washwater Effluent*. Washington, DC: United States Environmental Protection Agency.
- Oil Companies International Marine Forum (OCIMF). (2017). *Inert Gas Systems : The Use of Inert Gas for The Carriage of Flammable Oil Cargoes*.
- Peraturan Menteri Negara Lingkungan Hidup Nomor 08 Tahun 2009. (2009). *Baku Mutu Air Limbah Bagi Usaha dan / atau Kegiatan Pembangkit Listrik Tenaga Termal*. Menteri Negara Lingkungan Hidup.
- Quality Pacific Manufacturing, Inc. (2019, February). Retrieved from pacificmarine.net: <https://www.pacificmarine.net/engineering/pumps/sea-water-pump.htm>
- Saberindo Pacific. (2017, August 3). Retrieved from Saberindo.co.id: <https://saberindo.co.id/2017/08/03/teori-segitiga-api/>
- Safety of Life at Sea (SOLAS). (2004). *Ch. II-2 - Construction - Fire Protection, Fire Detection, and Fire Extinction*. . .
- Santosa, P. S. (2007). BAHARI Jogja. *Penggunaan Inert Gas System Pada Kapal Tanker, VII*, 38-53.
- Smith, D. (1985). *Marine Auxiliary Machinery*. Butterworths.
- SSG. (2007). *SOx Scrubbing of Marine Exhaust Gases*. Scandinavian Shipping Gazette.
- Sularso, & Tahara, H. (2000). *Pompa dan Kompresor*. Jakarta: PT. Pradnya Paramita.
- Susilowati, S. E. (2015). ISSN 2338-8102. *Inert Gas System Kapal Motor Tanker Gandini*, 34-40.
- The Marine Environment Protection Committee (MEPC).184 (59) . (2009). *Guidelines for Exhaust Gas Cleaning Systems*.
- The Maritime Safety Committee (MSC).367(93). (2014). *Amandments to The International Code for Fire Safety Systems (FSS Code)*.
- Wartsila Finland. (2017). *Wartsila Environmental Product Guide*. Vaasa.

b. Data Inert Gas Room Arrangement Kapal Crude Oil Tanker 85.000 DWT
Upper Deck / Main Deck



c. Data Inert Gas Room Arrangement Kapal Crude Oil Tanker 85.000 DWT Boat Deck



d. Data Electrical Load Kapal Crude Oil Tanker 85.000 DWT

Electrical Load (kW)		Sea going		Maneuvering		Cargo operation		Harbour		Emergency	
ITEM	Total	Diversity factor	Demand power	Diversity factor	Demand power	Diversity factor	Demand power	Diversity factor	Demand power	Diversity factor	Demand power
Intermittent load (kw)	240.04	0.7	168.03	0.7	203.1	0.7	132.4	0.7	70.70	0.7	49.5
Continuous load (Kw)	418.22		418.22	487.82		1.252.63		393.77	62.50		62.50
Total continuous & intermittent load	588.25		588.25	701.63		1.455.77		526.15	111.99		111.99
Design margin (2%) (kw)	11.73		11.73	14.03		29.12		10.52	2.24		2.24
Total demand power with provision for design margin (kw)	597.98		597.98	715.66		1484.89		536.67	114.23		114.23

Generator		Sea going		Maneuvering		Cargo operation		Harbour		Emergency	
No.	Type	Rpm	Kw	Set	Set	Set	Set	Set	Set	Set	Set
1	Yanmar	1500	850	3	1	1	2	1	1	1	1
				597.98	715.66	1484.89	536.67	114.23	114.23	114.23	114.23

With the consideration that the sailing conditions (critical condition) Load Factor rate should not exceed 85% for safety concerns (according to the rule of the class) and economic considerations, then the generator selected for this ship is YANMAR 412 C besides other technical considerations, such as : noise, etc. Specification generator that selected from several types of specifications made are:

Make : **Yanmar**
 Type : **3412 C** kW
 Power : **850** kW
 Frequency : **60** Hz

LOAD ANALYSIS AT START CONDITION

At :

Ship type : Tanker
 Cargo handling equipment : Cargo Pump
 Power : **342** kW
 Load factor : **0.95**
 Thus, start power = The total load of loading and unloading (without Cargo Pump) + The start for 3 pump
 = 1083.362 + 362 + 362
 = **2109** kW

Efficiency of Generator on Prime Power use 1 Genset

$$= \frac{\text{Total Set Generator} \times \text{Total Power Generator}}{\text{Starting Power}} \times 100\%$$

$$= \frac{2109}{3 \times 850} \times 100\%$$

$$= \frac{83}{96} \times 100\%$$

e. Spesifikasi Wash Water Treatment

VERSATILE & FLEXIBLE TECHNOLOGY

Wash water is generated from all types of scrubber systems and if not treated can cause environmental damage to our oceans.

The Wärtsilä Scrubber Water Treatment system removes all accumulated impurities from the scrubbing water and clean effluent can safely be discharged into the sea.

The technology is versatile and flexible enabling it suitable for many different applications. The systems has been fully tested according to all regulated scenarios and have up to date more than 10,000 operating hours on different installations.



TYPICAL APPLICATIONS

The Wärtsilä Scrubber Water Treatment system has been designed to serve the different needs and requirements for each segment and vessel type and has already been successfully installed in various applications. Its typical applications include:



WÄRTSILÄ Waste, Oil & Fresh Water Management

WÄRTSILÄ SCRUBBER WATER TREATMENT SYSTEM

PERFORMANCE (Low maintenance)

Standardised unit

Skid mounted

MARKET EXPERIENCE

Footprint of just 3m x 2m



Due to existing regulations on air emissions from the international maritime industry will need to choose path on how to achieve compliance. Ship owners must switch to costly low sulphur fuel, or choose advanced technology to meet the 0.1% sulphur level regulations in Emission Control Areas.

To support scrubber system operations Wärtsilä offer a Scrubber Water Treatment system to produce clean effluent which fulfils the IMO quality requirements and can be safely discharged into the ocean.

The Wärtsilä Scrubber Water Treatment system manages and treats scrubber water to enable it to be safely discharged into the ocean. It is often referred to as the heart of the scrubber system and our latest version – the SWT 5000 offers great improvements in producing and handling safe and clean effluent.

The Wärtsilä Scrubber Water Treatment system can be offered alongside at Wärtsilä and other scrubber manufacturer hybrid and closed loop scrubber systems.

of old or non-working systems. The main feature with the system is the outstanding treatment results achieved without the need of any filter. The system is also undisturbed by pitch and roll, meaning it isn't sensitive to the movement of the vessel.

The Wärtsilä Scrubber Water Treatment system can be offered alongside at Wärtsilä and other scrubber manufacturer hybrid and closed loop scrubber systems.

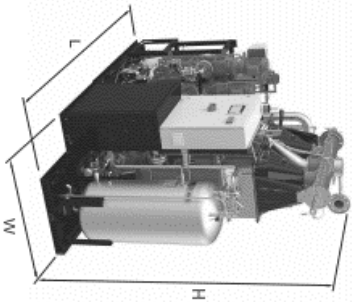
WÄRTSILÄ

ADVANTAGES

- Gyroflex scrubber water treatment experience
- Extensive know-how about scrubber water quality
- > 10,000 operating hours over a wide range of operational settings
- Tested the system to the highest capacity and extreme pollutant concentrations
- Suitable for various operational conditions
- Continuous work, optimize operations and minimize operational costs.

FOOTPRINT SWT 500

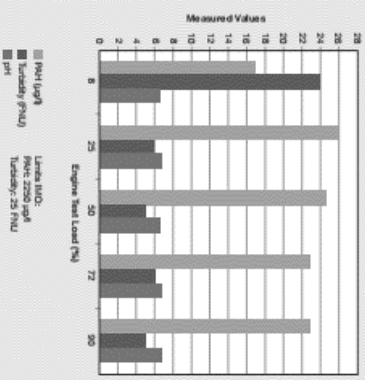
Model	Capacity	Capacity	Star level	Height (H)	Height (H)	Height (H)	Height (H)	Height (H)	Height (H)
SWT	25	31/32	27/28	11/20	22/20	12/20	4/20	10/20	10/20



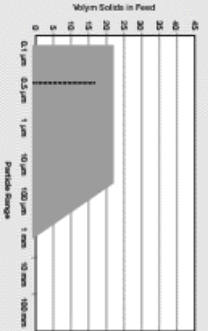
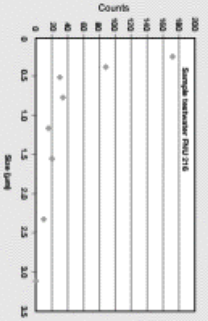
CAPACITY AND PERFORMANCE

- Capacity 57m³/h
- Efficient characteristics (in accordance to IMO requirements)
 - < 25 FNU
 - < 2250 µg/l PHH
 - > 6.5 pH
 - < 1350 nitrate mg/l
- Chemical consumption
 - Dosage 0.05 - 0.2 l/min/h
 - Frequency 0.005 - 0.015 l/min/h

pH, PHH AND TURBIDITY VALUES AFTER THE BLEED-OFF TREATMENT UNIT WITH HIGH SULPHUR FUEL (2.25% S/M)



ANALYSIS OF PARTICLES IN SCRUBBER WATER



Scrubber water composition is a very complex mixture of fuel, air, sulfur, sulfur and heavy metals. Analysis of water shows that the major particles are very small. Considering the small size of the particles, technologies such as centrifugal separation is not suitable for this application.

The Wärtsilä Scrubber Water Treatment system is designed to handle the specific high amount of small particles of fuel and other pollutants in the scrubber water composition.

AFTERSALES, SERVICE & SUPPORT

Wärtsilä supports its customers throughout the lifecycle of their installations by optimizing efficiency and performance. We offer expertise, proactivity and responsiveness for all our customers in the most environmentally sound way.

Our services and support solutions range from basic support, installation and commissioning, performance optimization, upgrades and conversions to service projects and agreements focusing on overall equipment performance and asset management. We deliver after-sales support through our network of service centres in over 70 countries worldwide.



WÄRTSILÄ is a registered trademark. Copyright © 2015 Wärtsilä Corporation. Specifications are subject to change without prior notice. epc-wartsila.wartsila.com



Printed 06/2015 CA

f. Spesifikasi Heat Exchanger

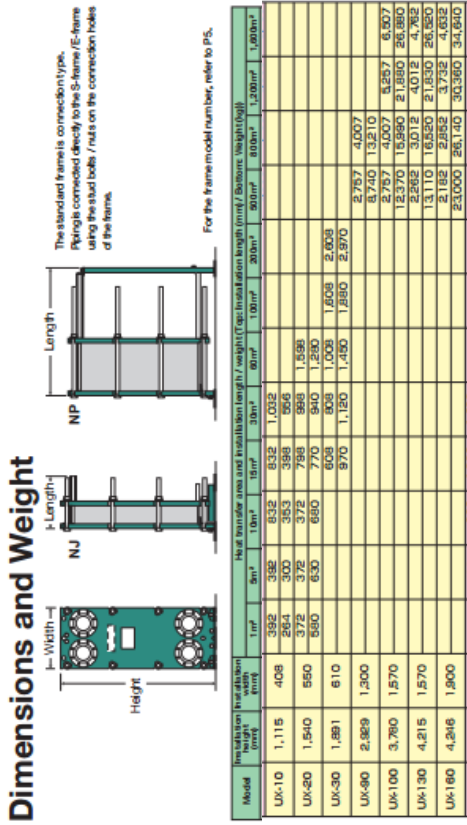
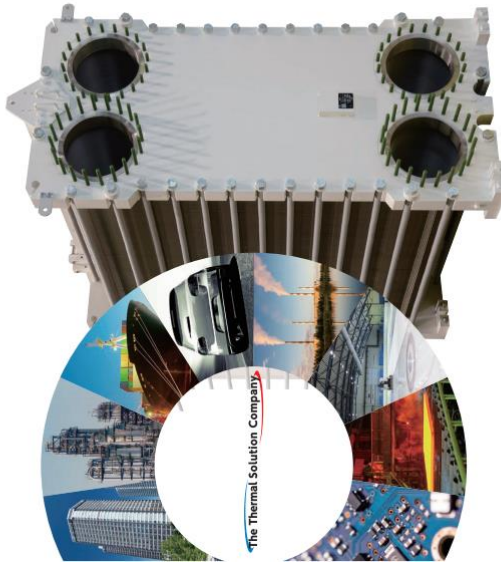


Plate Heat Exchanger




The Thermal Solution Company

HISAKA

Plate Types and Dimensions


Type	Main specifications	Frame standard type	
		Width and Height	NP type
UX-30	Max. flow rate / unit	285m³/h	
	Max. working pressure	2.2MPaG	
	Max. working temperature	180°C	
	Max. heat transfer area / unit	200m²	
	Porthole Dia.	120mm	
	Connection Dia.	100A	

g. Spesifikasi Pompa NaOH




S - PC SERIES

SELF PRIMING CHEMICAL PUMP



S-PC Series

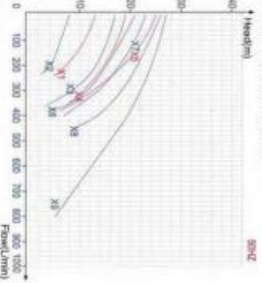
Self priming chemical pump



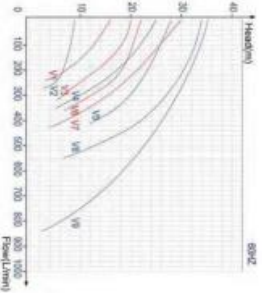
Used latent jetting engineer technology. It is Durable, can resist high temperature, high pressure and anti-corrosion. Unique Teflon Bellows Seal design. Simple operation and easy maintain.

Widely used for high capacity waste water transporting and all kinds of chemical pumping application.

Performance Curve



80°C



80°C

Specification

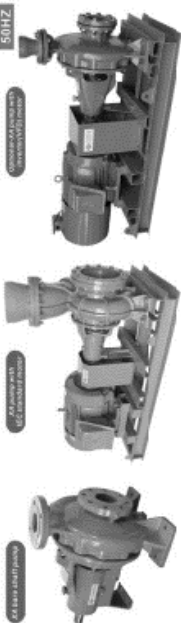
Model	in/Outlet		Power		50 Hz		60 Hz			
	(mm)	Phase	kW	HP	Curve	Max Head (KPa)	Max Flow (L/Min)	Curve	Max Head (KPa)	Max Flow (L/Min)
5-PC 4012H	40x40	3	0.75	2	V1	33	205	V1	33	205
5-PC 5012H	50x50	3	1.5	2	V2	40	260	V2	40	260
5-PC 5025H	50x50	3	3.75	5	V3	53	460	V3	53	460
5-PC 4025H	40x40	3	1.5	2	V4	10	350	V4	10	350
5-PC 4031H	40x40	3	2.25	3	V5	25	400	V5	25	410
5-PC 5031H	50x50	3	2.25	3	V6	21	380	V6	21	380
5-PC 5034H	50x50	3	2.25	3	V7	23	400	V7	23	430
5-PC 5038H	50x50	3	3.75	5	V8	26	450	V8	26	500
5-PC 5052H	75x75	3	3.75	5	V9	27	500	V9	25	620

Specific gravity 1.0

1

FORTE INDUSTRY CO., LIMITED

h. Spesifikasi Pompa Air Tawar



50HZ

End Suction Single Stage Centrifugal Pumps

XA-series

Features

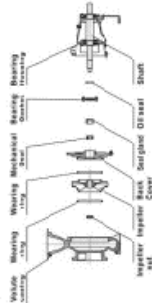
1. Back-pull-out design for easy removal of bearing housing assembly and the volute casing for repair without having to disturb the connected pipeline. This advantage enables fast and easy dismantling for servicing, resulting in lower maintenance costs.
2. Single veege end suction centrifugal pump with foot mounted, is designed to comply with international standard EN733 which substitutes for DIN24255.
3. Quality bearings, each shaft module consists of two identical bearings, grease or oil lubricated, lifetime design for more reliability and less maintenance.
4. It requires only 3 kinds of bearing housings, 6 kinds of shafts and 4 kinds of bearings to make the assembly of the pump easier.
5. The pump is made of cast iron or stainless steel for corrosion resistance.
6. Shaft sealing with mechanical seal (as standard) or aggressive and abrasive medium.
7. Shaft sealing with mechanical seal (as standard) for protecting against environment damage due to leakage.

Gland packing is also available upon request.

Applications

1. Heating and cooling water circulation.
2. Broad range of industrial applications.
3. Open line and close line water circuit systems.
4. Water supply and pressure boosting systems.
5. Boiler feed, washing, fire fighting, fire-fighting systems.
6. Cooling water circulation systems.
7. Water supply for fire-fighting systems.
8. In irrigation and Agriculture.

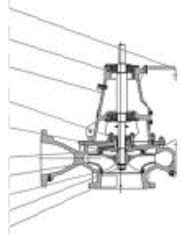
Components Illustration



No	Part Name	Standard material	Substitute material
1	Volute casing	FC250	SUS304
2	Back cover	FC250	SUS304
3	Impeller	FC250 or Bronze	SUS304
4	Shaft	SUS420	SUS304
5	Shaft sleeve	Bronze	SUS304
6	Bearing housing	FC250	-----
7	O-ring	NBR	Teflon
8	Support foot	SR400	-----
9	Impeller nut	SUS304	-----
10	Mechanical seal	CA/ICE	SIC/SIC

*Double seal is available for pump installation.

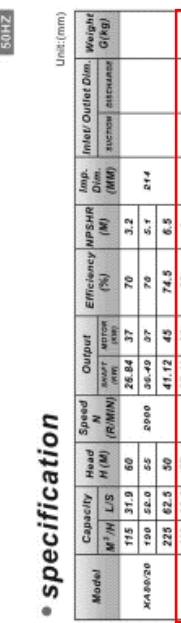
Sectional View



End Suction Single Stage Centrifugal Pumps

XA-series

www.everguspump.com.tw



50HZ

End Suction Single Stage Centrifugal Pumps

XA-series

specification

Unit: (mm)

Model	Capacity M ³ /H US GPM	Head H (M)	Speed N (R/MIN)	Output m ³ /H GPM	Efficiency (%)	Efficiency MPSHP (M)	Imp. Dim. (MM)	Inlet/Outlet Dim. inch/mm	Weight G(kg)
XA800/80	115 31.9 60	26.84 37	2900	26.84 37	70	3.2	214		
	190 52.6 55	36.49 37	2900	41.12 45	74.5	6.5			
XA800/80A	110 30.6 57	25.11 30	2900	25.11 30	68	4	209	100 80	70
	164 50.6 53.5	34.44 37	2900	37.31 37	77	4.9			
XA800/208	105 29.2 49.5	20.82 30	2900	20.82 30	68	4	195		
	205 56.9 46	31.9 37	2900	31.9 37	70	5.5			
XA800/26	115 31.9 37	45.74 55	2900	45.74 55	65	3.8	264		
	205 52.8 88	60.71 75	2900	60.71 75	75	6.1			
	295 82.8 81	67.62 76	2900	67.62 76	72.6	8			
XA800/26A	111 30.8 31.5	43.9 55	2900	43.9 55	63	3.95		100 80	81
	180 50.4 72	37.56 45	2900	37.56 45	73	6.23			
XA800/24B	177 49 68.5	45.1 55	2900	45.1 55	73	5	245		
	209 58.7 60	46.1 73	2900	46.1 73	77	0			
XA800/32	126 35 146	78.28 90	2900	78.28 90	64	5.8	329		
	210 58.3 134	103.6 132	2900	103.6 132	74	6.3			
	252 70 121	113.8 132	2900	113.8 132	73	7			
XA800/32A	117 32.4 126	64.94 76	2900	64.94 76	62	6.1		125 100	120
	195 54.2 114	82.03 90	2900	82.03 90	73	6.3	300		
	234 65 102	91.16 110	2900	91.16 110	72	6.9			
	308 80 104	47.70 48	2900	47.70 48	61	8			
XA800/32B	180 50 95	63.79 75	2900	63.79 75	73	5.8	280		
	216 60 85	71.43 90	2900	71.43 90	70	6.3			
XA1000/20	205 61 51.5	41.33 42	2900	41.33 42	72	4			
	340 84.4 42	52.37 75	2900	52.37 75	79	5.8	214		
XA1600/20A	173 47.9 51	34.72 45	2900	34.72 45	69	3.95		125 100	85
	276 49 49	49.2 55	2900	49.2 55	74	4.0	205		
	326 90.4 36	46.25 55	2900	46.25 55	69	5.05			
XA1600/20B	164 45.6 46	30.21 37	2900	30.21 37	68	3.9			
	280 72.3 38	38.4 44	2900	38.4 44	70	4.8	166		
	310 86.1 31	35.06 45	2900	35.06 45	67	5.6			

End Suction Single Stage Centrifugal Pumps

XA-series

www.everguspump.com.tw

j. Daftar Harga Pipa & Fittings

**PRICELIST UNIT GALANGAN RUKINDO
PEKERJAAN DOCKING & FLOATING REPAIR
TAHUN 2019**

IX. PERPIPAAN							
A Pekerjaan Penggantian Pipa							
1 Penggantian Pipa Baja Sch. 40							
Dia. 1/2"	1	Meter	211,723	211,723	211,723	211,723	211,723
Dia. 1"	1	Meter	267,962	267,962	267,962	267,962	267,962
Dia. 2"	1	Meter	417,932	417,932	417,932	417,932	417,932
Dia. 3"	1	Meter	937,314	937,314	937,314	937,314	937,314
Dia. 4"	1	Meter	1,280,261	1,280,261	1,280,261	1,280,261	1,280,261
Dia. 5"	1	Meter	1,547,120	1,547,120	1,547,120	1,547,120	1,547,120
Dia. 6"	1	Meter	2,315,718	2,315,718	2,315,718	2,315,718	2,315,718
Dia. 8"	1	Meter	2,867,080	2,867,080	2,867,080	2,867,080	2,867,080
Dia. 10"	1	Meter	3,418,441	3,418,441	3,418,441	3,418,441	3,418,441
Dia. 12"	1	Meter	3,878,276	3,878,276	3,878,276	3,878,276	3,878,276
2 Penggantian Pipa Baja Sch. 80							
Dia. 1/2"	1	Meter	291,119	291,119	291,119	291,119	291,119
Dia. 1"	1	Meter	312,071	312,071	312,071	312,071	312,071
Dia. 2"	1	Meter	685,894	685,894	685,894	685,894	685,894
Dia. 3"	1	Meter	1,047,587	1,047,587	1,047,587	1,047,587	1,047,587
Dia. 4"	1	Meter	1,311,138	1,311,138	1,311,138	1,311,138	1,311,138
Dia. 5"	1	Meter	1,654,084	1,654,084	1,654,084	1,654,084	1,654,084
Dia. 6"	1	Meter	2,446,942	2,446,942	2,446,942	2,446,942	2,446,942
Dia. 8"	1	Meter	3,069,981	3,069,981	3,069,981	3,069,981	3,069,981
Dia. 10"	1	Meter	3,694,122	3,694,122	3,694,122	3,694,122	3,694,122
Dia. 12"	1	Meter	4,410,892	4,410,892	4,410,892	4,410,892	4,410,892
3 Penggantian Pipa Baja Galvanis							
Dia. 1/2"	1	Meter	93,731	93,731	93,731	93,731	93,731
Dia. 1"	1	Meter	172,025	172,025	172,025	172,025	172,025
Dia. 2"	1	Meter	312,071	312,071	312,071	312,071	312,071
Dia. 3"	1	Meter	489,609	489,609	489,609	489,609	489,609
Dia. 4"	1	Meter	661,634	661,634	661,634	661,634	661,634
Dia. 5"	1	Meter	832,556	832,556	832,556	832,556	832,556
Dia. 6"	1	Meter	1,017,813	1,017,813	1,017,813	1,017,813	1,017,813
Dia. 8"	1	Meter	1,360,760	1,360,760	1,360,760	1,360,760	1,360,760
Dia. 10"	1	Meter	1,709,220	1,709,220	1,709,220	1,709,220	1,709,220
Dia. 12"	1	Meter	2,046,654	2,046,654	2,046,654	2,046,654	2,046,654
B Pekerjaan Bending Pipa & Penggantian Elbow							
1 Pekerjaan Bending Pipa							
Dia. 1/2"	1	Kali	62,855	62,855	62,855	62,855	62,855
Dia. 1"	1	Kali	95,937	95,937	95,937	95,937	95,937
Dia. 2"	1	Kali	135,635	135,635	135,635	135,635	135,635
Dia. 3"	1	Kali	209,517	209,517	209,517	209,517	209,517
Dia. 4"	1	Kali	258,037	258,037	258,037	258,037	258,037
Dia. 6"	1	Kali	341,844	341,844	341,844	341,844	341,844
2 Penggantian Elbow Galvanis							
Dia. 1/2"	1	Buah	82,704	82,704	82,704	82,704	82,704
Dia. 1"	1	Buah	91,526	91,526	91,526	91,526	91,526
Dia. 2"	1	Buah	145,559	145,559	145,559	145,559	145,559
Dia. 3"	1	Buah	202,901	202,901	202,901	202,901	202,901
Dia. 4"	1	Buah	242,599	242,599	242,599	242,599	242,599
Dia. 6"	1	Buah	411,316	411,316	411,316	411,316	411,316
3 Penggantian Elbow Baja							
Dia. 1/2"	1	Buah	134,532	134,532	134,532	134,532	134,532
Dia. 1"	1	Buah	148,868	148,868	148,868	148,868	148,868
Dia. 2"	1	Buah	192,977	192,977	192,977	192,977	192,977
Dia. 3"	1	Buah	275,681	275,681	275,681	275,681	275,681
Dia. 4"	1	Buah	452,116	452,116	452,116	452,116	452,116
Dia. 6"	1	Buah	595,470	595,470	595,470	595,470	595,470

B Pekerjaan Sea Valves						
1 Perawatan Valve Overboard Discharge (Globe Valve)						
Valve Dia. 2"	1	Unit	891,000	891,000	891,000	891,000
Valve Dia. 4"	1	Unit	1,400,458	1,400,458	1,400,458	1,400,458
Valve Dia. 6"	1	Unit	2,337,773	2,337,773	2,337,773	2,337,773
Valve Dia. 8"	1	Unit	2,811,943	2,811,943	2,811,943	2,811,943
Valve Dia. 10"	1	Unit	3,528,713	3,528,713	3,528,713	3,528,713
Valve Dia. 12"	1	Unit	4,193,655	4,193,655	4,193,655	4,193,655
Valve Dia. 14"	1	Unit	4,686,572	4,686,572	4,686,572	4,686,572
Valve Dia. 16"	1	Unit	5,293,070	5,293,070	5,293,070	5,293,070
Valve Dia. 18"	1	Unit	5,623,887	5,623,887	5,623,887	5,623,887
Valve Dia. 20"	1	Unit	5,734,159	5,734,159	5,734,159	5,734,159
Valve Dia. 22"	1	Unit	6,561,201	6,561,201	6,561,201	6,561,201
Valve Dia. 24"	1	Unit	7,002,290	7,002,290	7,002,290	7,002,290
2 Perawatan Valve Overboard Discharge (Gate Valve)						
Valve Dia. 2"	1	Unit	1,257,104	1,257,104	1,257,104	1,257,104
Valve Dia. 4"	1	Unit	1,885,656	1,885,656	1,885,656	1,885,656
Valve Dia. 6"	1	Unit	3,090,932	3,090,932	3,090,932	3,090,932
Valve Dia. 8"	1	Unit	3,666,554	3,666,554	3,666,554	3,666,554
Valve Dia. 10"	1	Unit	4,410,892	4,410,892	4,410,892	4,410,892
Valve Dia. 12"	1	Unit	5,028,416	5,028,416	5,028,416	5,028,416
Valve Dia. 14"	1	Unit	5,513,614	5,513,614	5,513,614	5,513,614
Valve Dia. 16"	1	Unit	6,064,976	6,064,976	6,064,976	6,064,976
Valve Dia. 18"	1	Unit	6,285,520	6,285,520	6,285,520	6,285,520
Valve Dia. 20"	1	Unit	6,726,610	6,726,610	6,726,610	6,726,610
Valve Dia. 22"	1	Unit	7,167,699	7,167,699	7,167,699	7,167,699
Valve Dia. 24"	1	Unit	7,608,788	7,608,788	7,608,788	7,608,788
3 Perawatan Stop Valve (Globe Valve)						
Valve Dia. 2"	1	Unit	209,517	209,517	209,517	209,517
Valve Dia. 4"	1	Unit	314,276	314,276	314,276	314,276
Valve Dia. 6"	1	Unit	393,672	393,672	393,672	393,672
Valve Dia. 8"	1	Unit	419,035	419,035	419,035	419,035
Valve Dia. 10"	1	Unit	498,431	498,431	498,431	498,431
Valve Dia. 12"	1	Unit	551,361	551,361	551,361	551,361
Valve Dia. 14"	1	Unit	628,552	628,552	628,552	628,552
Valve Dia. 16"	1	Unit	733,311	733,311	733,311	733,311
Valve Dia. 18"	1	Unit	891,000	891,000	891,000	891,000
Valve Dia. 20"	1	Unit	1,047,587	1,047,587	1,047,587	1,047,587
Valve Dia. 22"	1	Unit	2,095,173	2,095,173	2,095,173	2,095,173
Valve Dia. 24"	1	Unit	1,654,084	1,654,084	1,654,084	1,654,084
4 Perawatan Stop Valve (Gate Valve)						
Valve Dia. 2"	1	Unit	314,276	314,276	314,276	314,276
Valve Dia. 4"	1	Unit	419,035	419,035	419,035	419,035
Valve Dia. 6"	1	Unit	523,793	523,793	523,793	523,793
Valve Dia. 8"	1	Unit	551,361	551,361	551,361	551,361
Valve Dia. 10"	1	Unit	606,498	606,498	606,498	606,498
Valve Dia. 12"	1	Unit	733,311	733,311	733,311	733,311
Valve Dia. 14"	1	Unit	891,000	891,000	891,000	891,000
Valve Dia. 16"	1	Unit	942,828	942,828	942,828	942,828
Valve Dia. 18"	1	Unit	1,074,052	1,074,052	1,074,052	1,074,052
Valve Dia. 20"	1	Unit	1,212,995	1,212,995	1,212,995	1,212,995
Valve Dia. 22"	1	Unit	1,543,812	1,543,812	1,543,812	1,543,812
Valve Dia. 24"	1	Unit	1,874,629	1,874,629	1,874,629	1,874,629
5 Perawatan Stop Valve (Butterfly Valve)						
Valve Dia. 2"	1	Unit	445,500	445,500	445,500	445,500
Valve Dia. 4"	1	Unit	661,634	661,634	661,634	661,634
Valve Dia. 6"	1	Unit	864,535	864,535	864,535	864,535
Valve Dia. 8"	1	Unit	1,022,224	1,022,224	1,022,224	1,022,224
Valve Dia. 10"	1	Unit	1,233,947	1,233,947	1,233,947	1,233,947
Valve Dia. 12"	1	Unit	1,466,621	1,466,621	1,466,621	1,466,621
Valve Dia. 14"	1	Unit	1,833,828	1,833,828	1,833,828	1,833,828
Valve Dia. 16"	1	Unit	1,990,415	1,990,415	1,990,415	1,990,415
Valve Dia. 18"	1	Unit	2,095,173	2,095,173	2,095,173	2,095,173
Valve Dia. 20"	1	Unit	2,357,622	2,357,622	2,357,622	2,357,622
Valve Dia. 22"	1	Unit	2,756,807	2,756,807	2,756,807	2,756,807
Valve Dia. 24"	1	Unit	3,197,896	3,197,896	3,197,896	3,197,896

k. *Perhitungan Ekonomi
Biaya Instalasi*

Component List						
No	Item	Specification	Qty	Unit	Cost / Item	Total Cost
1	Sea Water Pump	Brand : Taiko ESC-250 D Flow Rate : 300 m3/h Head : 70 m Power : 90 kW	2	Pcs	Rp 127,138,500	Rp 254,277,000
2	Fresh Water Pump	Brand : Evergush XA 80/20A Capacity : 216 m3/h Head : 44,5 m Power : 37 kW	2	Pcs	Rp 77,695,750	Rp 155,391,500
3	NaOH Pump	Brand : Forte S-PC 4014 L Capacity : 13,8 m3/h Head : 8 m Power : 0,75 kW	2	Pcs	Rp 17,490,000	Rp 34,980,000
4	Heat Exchanger	Brand : Hisaka UX-30 Max. Flow Rate : 285 m3/h Max. Working Temperature : 180°C Max. Working Pressure : 22 Bar	1	Pcs	Rp 70,686,250	Rp 70,686,250
5	Wash Water Treatment	Brand : Wartsila OWS 5000 Capacity : 5 m3/h Power : 6 kW	1	Pcs	Rp 141,265,000	Rp 141,265,000
6	Component Spare Parts	5% of Component Cost				Rp 32,829,988
					Total Component Cost	Rp 689,429,738

Pipe & Fittings						
No	Item	Specification	Qty	Unit	Cost / Item	Total Cost
1	Stainless Steel Pipe	Stainless Steel, Sch 40, 3/8 inch	7	m	Rp 211,723	Rp 1,482,061
2	Stainless Steel Pipe	Stainless Steel, Sch 40, 5 inch	58	m	Rp 1,547,120	Rp 89,732,960
3	Cast Iron Pipe	Cast Iron, Sch 40, 8 inch	12	m	Rp 1,360,760	Rp 16,329,120
4	Cast Iron Pipe	Cast Iron, Sch 40, 12 inch	9	m	Rp 2,046,654	Rp 18,419,886
5	Butterfly Valve	5 inch	3	pcs	Rp 763,084	Rp 2,289,252
6	Butterfly Valve	2 inch	3	pcs	Rp 445,500	Rp 1,336,500
7	Butterfly Valve	12 inch	1	pcs	Rp 1,466,621	Rp 1,466,621
8	Butterfly Valve	8 inch	2	pcs	Rp 1,022,224	Rp 2,044,448
9	Butterfly Valve	3/8 inci	2	pcs	Rp 222,750	Rp 445,500
10	Elbow 90	Stainless Steel, 3/8 inch	1	pcs	Rp 134,532	Rp 134,532
11	Elbow 90	Stainless Steel, 5 inch	5	pcs	Rp 523,793	Rp 2,618,967
12	Elbow 90	Cast Iron, 12 inch	3	pcs	Rp 834,900	Rp 2,504,700
13	Elbow 90	Cast Iron, 8 inch	7	pcs	Rp 526,500	Rp 3,685,500
14	Filter	3/8 inch	1	pcs	Rp 869,000	Rp 869,000
15	Filter	5 inch	2	pcs	Rp 9,390,000	Rp 18,780,000
16	Filter	8 inch	1	pcs	Rp 17,900,000	Rp 17,900,000
17	Gate Valve	5 inch	1	pcs	Rp 537,577	Rp 537,577
18	Level Alarm		2	pcs	Rp 169,000	Rp 338,000
19	NRV	3/8 inch	1	pcs	Rp 369,000	Rp 369,000
20	NRV	5 inch	1	pcs	Rp 8,290,000	Rp 8,290,000
21	NRV	8 inch	1	pcs	Rp 13,190,000	Rp 13,190,000
22	Pipe Reduction	5 inch	2	pcs	Rp 189,000	Rp 378,000
23	Pressure Indicator		6	pcs	Rp 209,000	Rp 1,254,000
24	Safety Valve	3/8 inch	3	pcs	Rp 9,887,185	Rp 29,661,555
25	T Joint	3/8 inch	1	pcs	Rp 55,900	Rp 55,900
26	T Joint	5 inch	1	pcs	Rp 1,890,000	Rp 1,890,000
27	T Joint	12 inch	2	pcs	Rp 5,390,000	Rp 10,780,000
28	T Joint	8 inch	3	pcs	Rp 3,390,000	Rp 10,170,000
					Total Pipe & Fitting Cost	Rp 256,953,079

No	Item	Estimation	Total Cost
1	Equipment Cost	Component + Pipe & Fittings Cost	Rp 946,382,817
2	Shipping / Freight Cost	18.000 USD	Rp 254,277,000
3	Component Spare Parts	5% of Component Cost	Rp 34,471,486.88
4	Installation Cost	5% of Equipment Cost	Rp 47,319,140.83
5	Insurance	0,5% of Shipping + Equipment Cost	Rp 6,003,299.08
6	Import Duty	10% of Equipment + Freight + Insurance	Rp 120,666,311.56
7	PPN	10% of Equipment Cost	Rp 94,638,281.65
8	PPH Import	3% of Equipment Cost	Rp 28,391,484.50
Total			Rp 1,532,149,820.99

Biaya Operasional

Fuel Consumption Cost Calculation						
No	Formula/Data	Information	Value	Unit		
1	Equipment's Power Consumption	Sea Water Pump : 90 kW x 2 Fresh Water Pump : 37 x 2 NaOH Pump : 0,75 kW x 2 Wash Water Treatment : 6 kW	261.5	KW		
2	Inert Gas Duration $t = V/Q$	$t = (128.090,8 / 11.250) \times 2$	22.80	hour		
3	Equipment's Energy Consumption $kWh = P \times t$	$kWh = 261,5 \times 22,8$	5962.20	kWh		
4	SFOC	Generator Specification	195	g/kWh		
5	Fuel Consumption (ton) Fuel Consumption = Energy Consumption x SFOC x 10^{-6}	Fuel Consumption = $5962,2 \times 189 \times 10^{-6}$	1.16	ton		
6	MDO Fuel Price Fuel Consumption Cost	bunkerindex.com	671.86	USD/MT		
7	Cost = Fuel Consumption x MDF Fuel Price x Rupiah Conversion	Cost = $1,16 \times 671,86 \times 14.124,55$	11.032.968,5	Rupiah		
Operational Cost						
No.	Price Type	Specification	Quantity	Unit	Price/Unit	Total Price
1	Fuel Consumption	1,16 ton x 671,86 x 14,124,55	41	Voyage	Rp 11,032,969	Rp 452,351,708,50
2	NaOH	7 m3	41	Voyage	Rp 22,576,126	Rp 925,621,166,00
3	Fresh Water	3 m3 x 88,218	41	Voyage	Rp 264,654	Rp 10,850,814,00
					Total	Rp 1,388,823,688,50

m. Modifikasi Inert Gas Room Layout



BIODATA PENULIS



Faris Zulfar Rosyadi dengan panggilan Faris ialah anak kedua dari dua bersaudara yang lahir pada tanggal 29 Januari 1997 di Sidoarjo dari pasangan suami istri Budhi Rasono dan Lilik Zulaihah. Penulis berdomisili di Bogor, Provinsi Jawa Barat. Pendidikan yang telah ditempuh oleh penulis yaitu TK Islam Al-Azhar 11 Bekasi, SD Islam Al-Azhar 9 lulus pada tahun 2009 Bekasi, SMP Islam Al-Azhar 8 Bekasi lulus pada tahun 2012, SMA Labschool Jakarta lulus pada tahun 2015 dan melanjutkan Pendidikan tinggi di Departemen Teknik Sistem Perkapalan, Fakultas Teknologi Kelautan Institut Teknologi Sepuluh Nopember, Surabaya.

Penulis pernah menjalankan *on the job training* di beberapa perusahaan yaitu PT. Janata Marina Indah (JMI) Semarang; PT. Pertamina (PERSERO) Shipping, Jakarta Utara; dan PT. Badak LNG, Kalimantan Timur. Selain aktivitas akademik, penulis berpengalaman dan aktif tergabung dalam beberapa aktivitas organisasi dan unit kegiatan mahasiswa. Penulis pernah bergabung dalam Unit Kegiatan Mahasiswa Bulu Tangkis pada tahun 2015 hingga 2016, pernah tergabung dalam Himpunan Mahasiswa Teknik Sistem Perkapalan Departemen Kesejahteraan Mahasiswa, penulis pernah bergabung dalam organisasi kepemudaan AIESEC Surabaya, menjadi panitia *Marine Icon* 2016 dan 2018, serta menjadi bagian dari keluarga laboratorium *Marine Operation and Maintenance* (MOM). Selain itu, penulis aktif dalam mengikuti kegiatan pengembangan *softskills* seperti Latihan Keterampilan Manajemen Mahasiswa Pra Tingkat Dasar dan Tingkat Dasar, Pelatihan Karya Tulis Ilmiah, Pelatihan *Microsoft Project*, Pelatihan *AutoCad*, dan Pelatihan Maxsurf. Apabila pembaca ingin berdiskusi lebih lanjut mengenai tugas akhir serta ingin memberikan kritik dan saran, penulis dapat dihubungi melalui farizulfar@gmail.com