

PERANCANGAN PEMBERSIH GAS BUANG KAPAL DENGAN KAPASITAS 70.000 KG/JAM

Anggi Anggara¹, Qomarotun Nurlaila²

^{1,2)} Teknik Mesin, Fakultas Teknik, Universitas Riau Kepulauan,
E-Mail: anggi.anggara46@gmail.com¹, laila@ft.unrika.ac.id²

Abstrak

Peraturan polusi udara laut mengharuskan penggunaan bahan bakar Sulfur rendah untuk mengurangi gas SO_x. *Scrubber* menawarkan biaya operasi yang lebih rendah dengan mengizinkan penggunaan bahan bakar bersulfur tinggi yang lebih murah untuk bahan bakar, biaya modal dan biaya operasional yang menjadi alternatif sebagai pengganti bahan bakar rendah Sulfur, seperti *Liquid Natural Gas* (LNG). Perlu untuk dilakukan perancangan pembersih gas buang Kapal (*Scrubber*). Dalam Aturan IMO 2020 dan Marpol Annex VI tidak ditemukan standar perancangan *Scrubber* yang mengatur tentang perhitungan, pemilihan material, dan lainnya. Akan tetapi IMO 2020 dan Marpol mensyaratkan pembersih gas buang yang dihasilkan oleh *Scrubber* yang dilepaskan ke udara harus mencapai 97.5% ~ 99.5% pembersihan dan pH air minimum adalah 3 yang dapat diketahui dengan menggunakan *Software OLIAnalyzer*. Komponen dari *Scrubber* terdiri dari *shell*, *body flange*, *head scrubber*, *nozzle*, penyangga *lug support Scrubber*, *Spray Nozzle*, Pipa Distributor, *Packing Bed Support*, *Packing Bed*, *Venturi Scrubber*, *Demister*. Dari tiga kali melakukan simulasi *scrubber* menggunakan *Software OLIAnalyzer* pada mesin Delta Pioneer dihasilkan performa 80% serta menghasilkan gas keluar sebesar 160 ppm dan pH air sebesar 6.6 pH. Sehingga rancangan *scrubber* bisa diterapkan pada mesin kapal delta pioneer berkapasitas 70,000 Kg/h.

Kata Kunci : *Scrubber*, IMO 2020, Marpol Annex VI, Gas buang, *Software OLIAnalyzer*

Abstract

Marine air pollution regulations require the use of low Sulfur fuels to reduce SO_x gas. Scrubber offers lower operating costs by allowing the use of high-sulfur fuels that are cheaper for fuel, capital costs and operating costs as an alternative to low-sulfur fuels, such as Liquid Natural Gas (LNG). It is necessary to design a ship exhaust gas cleaner (Scrubber). In the IMO 2020 Rules and Marpol Annex VI there are no Scrubber design standards that regulate calculations, material selection, and others. However, IMO 2020 and Marpol require that the exhaust gas purifier produced by the scrubber released into the air must reach 97.5% ~ 99.5% cleaning and the minimum water pH is 3 which can be determined using the OLIAnalyzer Software. The components of the scrubber consist of shell, body flange, scrubber head, nozzle, lug support scrubber, Spray Nozzle, Distributor Pipe, Packing Bed Support, Packing Bed, Venturi Scrubber, Demister. From three times doing scrubber simulation using OLIAnalyzer Software on the Delta Pioneer engine, 80% performance was produced and produced gas output of 160 ppm and water pH of 6.6 pH. So that the scrubber design can be applied to the pioneer delta ship engine with a capacity of 70,000 Kg/h.

Keywords : *Scrubber*, IMO 2020, Marpol Annex VI, exhaust gas, *Software OLIAnalyzer*

1. PENDAHULUAN

Industri kelautan menghadapi tantangan untuk mengadopsi teknologi baru dan praktik operasional dengan mematuhi peraturan internasional dan nasional yang lebih ketat untuk mengurangi emisi gas buang dari kapal. Efek dari emisi gas buang dari mesin pembakaran internal dan gas buang boiler

dapat merugikan manusia dan ekosistem lingkungan. Tujuan dari peraturan emisi gas buang yang diperkenalkan oleh berbagai organisasi termasuk *International Maritime Organization* (IMO), Uni Eropa (UE), Amerika Serikat (AS), *Environmental Protection Agency* (EPA), adalah untuk mengatur pengurangan dampak terhadap kualitas udara global.

Hal terpenting di antara peraturan ini adalah langkah-langkah untuk mengurangi emisi Sulfur oksida (SOx) yang terdapat pada bahan bakar konvensional. Perancang, pemilik, dan operator kapal memiliki jalur rute yang berbeda untuk mencapai kepatuhan peraturan tentang emisi sulfur termasuk:

1. Penggunaan bahan bakar laut rendah Sulfur pada mesin kapal
2. Pemasangan mesin baru (atau konversi mesin yang sudah ada jika memungkinkan) yang dirancang untuk beroperasi pada bahan bakar alternatif Sulfur yang rendah, seperti gas alam cair atau *Liquid Natural Gas* (LNG).
3. Pemasangan Sistem Pembersihan Gas Buang atau *Exhaust Gas Cleaning System* (EGCS) sebagai perangkat perawatan setelahnya.

Peraturan ini pertama kali diterbitkan pada tahun 2013, merangkum persyaratan peraturan yang berlaku untuk SOx EGCS, sering disebut sebagai

Scrubber menawarkan biaya operasi yang lebih rendah dengan mengizinkan penggunaan bahan bakar bersulfur tinggi yang lebih murah untuk bahan bakar, biaya modal dan biaya operasional yang menjadi alternatif sebagai pengganti bahan bakar rendah Sulfur, seperti *Liquid Natural Gas* (LNG). Sehingga perlu untuk dilakukan perancangan pembersih gas buang Kapal (*Scrubber*) dengan kapasitas 70.000 Kg/jam.

Rumusan masalah dari penelitian ini adalah bagaimana tahapan perancangan pembersih gas buang mesin kapal dengan kapasitas 70.000 kg/jam. Sehingga tujuan dari penelitian ini adalah melakukan perancangan pembersih gas buang mesin kapal dengan kapasitas 70.000 kg/jam.

2. LANDASAN TEORI

Scrubber disebabkan oleh beberapa faktor misalnya material yang dibutuhkan tidak sesuai dengan kondisi air laut, pembersihan gas buang yang tidak mencapai 97.5% ~ 99.5%, pembuatan *Scrubber* yang tidak sesuai dan kontrol kualitas yang buruk.

Komponen dari *Scrubber* terdiri dari *shell*, *body flange*, *head scrubber*, *nozzle*, penyangga *lug support scrubber*, *spray nozzle*, Pipa Distributor, *Packing Bed Support*, *Packing Bed*, *Venturi Scrubber*, *Demister*. *Shell* merupakan komponen utama dari scrubber yang berbentuk silinder dan

Scrubber. Untuk memberikan gambaran umum tentang teknologi yang tersedia, serta menyortir beberapa masalah pemilihan, instalasi dan operasional yang perlu dipertimbangkan saat memilih EGCS sebagai sarana kepatuhan terhadap peraturan emisi gas buang saat ini dan masa depan.

Peraturan polusi udara laut mengharuskan penggunaan bahan bakar Sulfur rendah untuk mengurangi gas SOx. Namun penggunaan teknologi EGCS umumnya diizinkan sebagai cara alternatif yang efektif untuk mematuhi peraturan yang mewajibkan penggunaan 0,1% dan bahan bakar Sulfur 0,5%. Selain memenuhi persyaratan emisi SOx, kapal yang dibangun setelah 1 Januari 2016, jika dioperasikan di Utara Amerika dan laut Karibia, atau kapal yang dibangun setelah 1 Januari 2021 dan beroperasi di laut Utara dan laut Baltik, harus memenuhi aturan ini.

2.1 Pembersih Gas Buang Kapal (*Scrubber*)

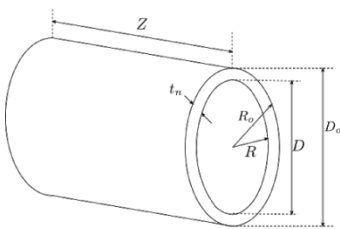
Scrubber adalah *unit equipment* yang berfungsi untuk mengurangi kapasitas gas berbahaya yang berdampak langsung pada lingkungan. Perancangan alat pembersih gas buang kapal (*Scrubber*) memerlukan perhitungan yang detail dan valid karena dalam perancangan mengikuti persyaratan yang diberikan oleh IMO (*International Maritime Organization*) 2020 dan MARPOL (*Marine Pollution*) Annex VI. Dalam persyaratan tersebut dinyatakan bahwa *Scrubber* harus menghilangkan konten sulfur sebesar 97.5% ~ 99.5% sebelum dilepaskan ke atmosfer.

Perancangan *Scrubber* memiliki beberapa komponen seperti *Shell*, *Head*, *Venturi*, *Spray Nozzle*, Pipa Distributor, *Packing Bed Support*, *Packing Bed*, *Demister* dan Penyangga. Kegagalan dalam merancang

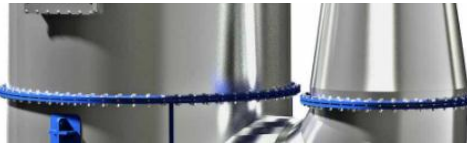
pembuatannya dari pelat baja yang melalui proses Rolling. *Body Flange* merupakan komponen *Scrubber* yang berfungsi untuk menyambung satu *Shell* ke *Shell* yang lain. *Head Scrubber* merupakan bagian penutup *Scrubber* yang berbentuk *Conical* dan berada di atas dan di bawah *Scrubber*. *Nozzle* merupakan komponen *Scrubber* yang berfungsi sebagai inlet dan outlet fluida dan berfungsi juga sebagai peyangga instrument seperti *Pressure Indicator*, *Temperature Indicator*, *Liquid Level*, *Liquid Control* dan instrumen lainnya. Penyangga *Lug Support Scrubber* berfungsi

untuk meyangga beban dari *Scrubber* yang menggantung disebuah struktur baja. *Spray Nozzle* merupakan komponen yang berfungsi untuk menyemprotkan air yang bersifat melebar atau ke segala arah. Pipa Distributor merupakan pipa bercabang yang berfungsi untuk mengalirkan fluida kearah yang ditentukan dan keluar melalui *Spray Nozzle*. *Packing Bed Support* merupakan plat yang dibentuk seperti huruf W dan memiliki rongga lubang yang kecil dan banyak yang berfungsi untuk menginjeksikan aliran gas. *Packing Bed* merupakan komponen *Scrubber* yang berfungsi untuk

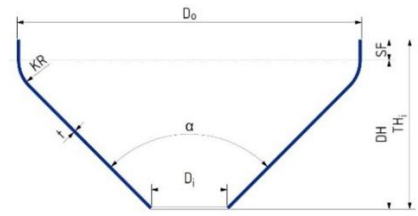
memperlambat aliran dari suatu fluida. Pemasangan *Packing Bed* ini disebarakan secara acak kedalam *Shell Scrubber* sehingga membentuk rongga-rongga untuk memperlambat aliran. Fungsi dari *Venturi Scrubber* adalah sebagai media penyambung pipa dari gas buang mesin kapal menuju *Scrubber* dan *Venturi* memiliki pendukung seperti pipa distributor dan *Spray Nozzle* yang berfungsi untuk mengurangi konten sulfur sebelum masuk kedalam *Scrubber*. Fungsi dari *Demister* adalah untuk memisahkan gas dan fluida cair sebelum keluar dari *Scrubber*.



Gambar 1. Shell



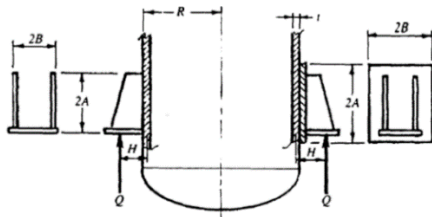
Gambar 2. Body Flange



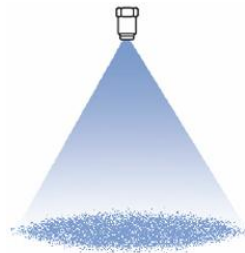
Gambar 3. Head Scrubber



Gambar 4. Nozzle



Gambar 5. Penyangga Lug Support



Gambar 6. Spray Nozzle



Gambar 7. Pipa Distributor



Gambar 8. Packing Bed Support



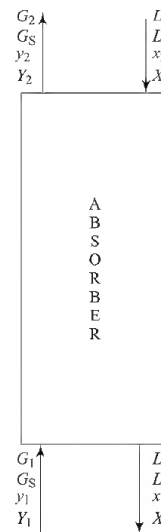
Gambar 9. Packing Bed



Gambar 10. Demister



Gambar 11. Venturi (Scrubber)

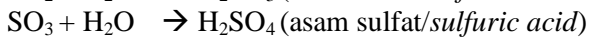
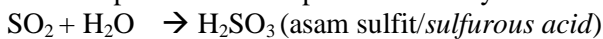


Gambar 12. Keseimbangan Fluida Gas dan Air Laut

2.2 Persyaratan Perancangan Pembersih Gas Buang Kapal

Dalam Aturan IMO 2020 dan Marpol Annex VI tidak ditemukan standar perancangan *Scrubber* yang mengatur tentang perhitungan, pemilihan material, dan lainnya. Akan tetapi IMO 2020 dan Marpol mensyaratkan pembersih gas buang yang dihasilkan oleh *Scrubber* yang dilepaskan ke udara harus mencapai 97.5% ~ 99.5% pembersihan dan pH air minimum adalah 3 yang dapat diketahui dengan menggunakan *Software OLIAAnalyzer*.

Adapun reaksi SO_x pada *Scrubber* yaitu:



Sulfur yang bercampur dengan air kemudian menjadi asam sulfit (H₂SO₃), kemudian dari asam sulfit teroksidasi dengan air menjadi asam sulfat (H₂SO₄).

Perancangan *Scrubber* ditentukan oleh data dari mesin kapal berupa masa waktu perjam yang dihasilkan oleh mesin kapal sehingga didapatkan perhitungan seperti ukuran *Scrubber*, ukuran pipa distributor, jumlah *nozzle* dan *spray nozzle*. Merancang *Scrubber* diperlukan pertimbangan ukuran *Shell Scrubber* dengan menggunakan persamaan:

$$= \frac{\rho \times v}{m}$$

Dimana, A = Area (m²)

ρ = Density/massa jenis air laut (kg/m³)

v = Velocity/kecepatan air laut (m/s)

m = Mass Flow Rate (kg/hr)

Ukuran *Venturi* ditentukan oleh diameter pipa gas buang dari mesin kapal. Misalnya pipa gas buang mesin kapal menuju *funnel* memakai diameter 500mm maka diameter *venturi* juga mengikuti ukuran pipa tersebut. *Spray Nozzle* ditentukan berdasarkan kapasitas gas buang kapal dan keseimbangan fluida air laut dan gas yang masuk dari *Venturi* menuju *Scrubber*.

Pipa distributor ditentukan oleh keseimbangan fluida antara air laut dan gas buang yang dihasilkan oleh mesin kapal. Dibawah ini adalah ketentuan rumus dari referensi buku Schuchen B. Thakore dan Bharat I. Bhatt. Gambar 12 menunjukkan Keseimbangan Fluida Gas dan Air Laut.

Flange diperlukan untuk menyambung aliran fluida di dalam pipa. Perancangan *Scrubber* ini digunakan *Flange* standar JIS. Dibawah ini adalah ukuran dari berbagai jenis *Flange* standar JIS. Perancangan *Scrubber* ini diperlukan pipa yang berfungsi sebagai aliran fluida dan sebagai peyangga untuk instrumen. Untuk pemilihan pipa mengikuti standar spesifikasi ukuran pipa yang dibakukan oleh ASME B36.10M.

2.3 Kegagalan Dalam Merancang Pembersih Gas Buang Kapal (Scrubber)

Kegagalan dalam perancangan *Scrubber* ini

ditentukan oleh beberapa faktor antara lain:

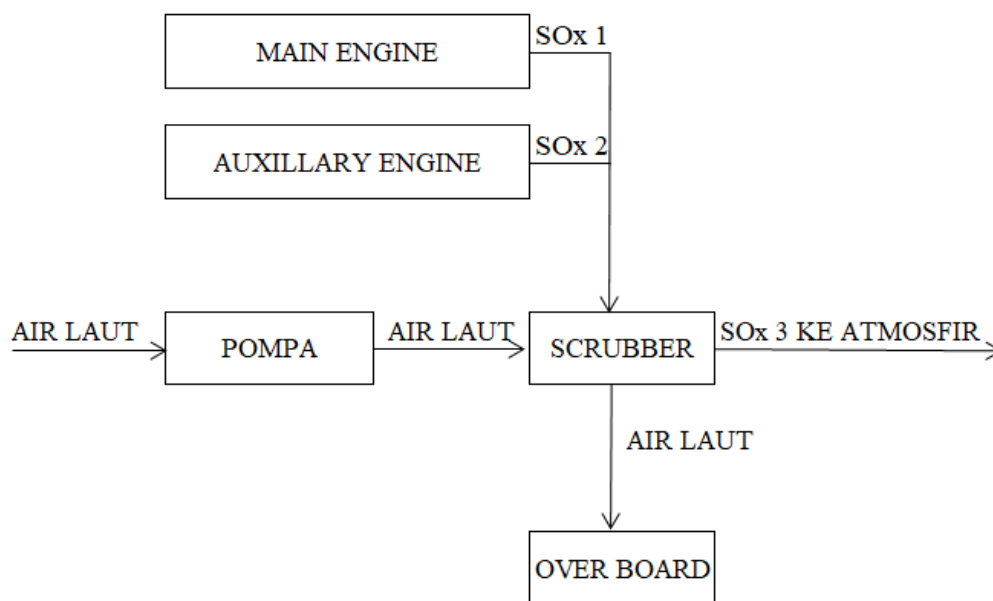
1. Pemilihan material yang tidak sesuai dengan jenis fluida
2. Prosedur fabrikasi yang tidak sesuai dan kontrol kualitas yang tidak tepat
3. Perhitungan yang tidak sesuai berdasarkan referensi sehingga diperlukan pengujian pada produk *prototype* yang digunakan untuk acuan dan merubah perhitungan jika terjadi kesalahan
4. Pembersih gas yang tidak sesuai oleh standar IMO 2020 dan *Marpol Annex VI*

3. METODOLOGI PENELITIAN

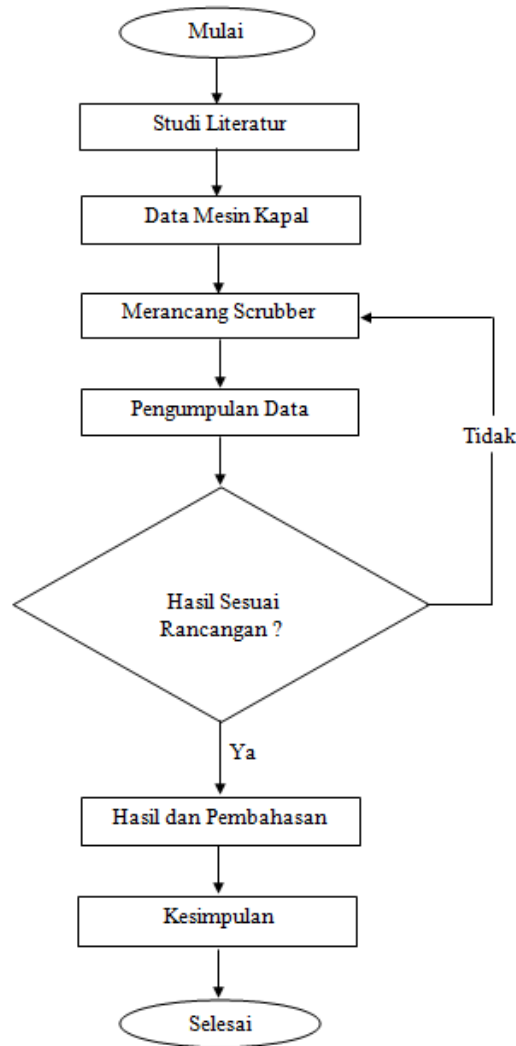
Penelitian ini membahas tentang perancangan pembersih gas buang kapal dengan kapasitas 70.000 kg/jam sesuai regulasi IMO 2020 dan *Marpol Annex VI*. Dalam penelitian dilakukan penghitungan dimensi utama *Scrubber* berdasarkan data mesin kapal dan menganalisa SO_2 dengan pH air laut menggunakan

Software OLIAalyzer.

Alat-alat yang dibutuhkan untuk mendukung perancangan *Scrubber* antara lain alat tulis, kertas, kalkulator, laptop untuk menjalankan program-program pendukung. Adapun program yang digunakan antara lain *Microsoft Excel* digunakan untuk menghitung dimensi utama *Scrubber*, *AutoCAD* digunakan untuk mendesain 2D Model *Scrubber* dan *OLIAalyzer* digunakan untuk menganalisa SO_2 dan pH air laut. *OLIAalyzer* adalah software yang digunakan untuk menganalisa berbagai macam jenis zat campuran. Software ini dirancang untuk para Engineer teknik kimia namun tidak menutup kemungkinan bidang teknik lain menggunakannya. Sedangkan bahan atau Material yang digunakan adalah Material A-240 TP 316L. Gambar 13 menunjukkan digram blok fungsi dan gambar 14 menunjukkan diagram alir penelitian.



Gambar 13. Diagram Blok fungsi



Gambar 14. Diagram Alir Penelitian

Tahapan penelitian adalah sebagai berikut:

1. Studi Literatur, sebelum melakukan penelitian penulis mempelajari bagaimana merancang pembersih gas buang kapal menggunakan *Scrubber* menurut peraturan dari IMO 2020 dan Marpol Annex VI.
2. Data Mesin Kapal, setelah mempelajari tentang perancangan *Scrubber* penulis mengasumsikan bahwa kondisi operasi *Scrubber* diisi oleh dua Fluida yaitu SO_2 dan Air Laut dimana SO_2 dibersihkan oleh Air Laut sebelum dilepaskan ke atmosfer.
3. Merancang *Scrubber*, merancang dan menghitung dimensi utama *Scrubber* berdasarkan data mesin kapal dan kondisi operasi mesin kapal.
4. Pengumpulan data dan pembahasan, dalam proses pengumpulan data dan pembahasan analisa SO_2 dan pH Air Laut menggunakan *Software OLIAalyzer* untuk mengetahui apakah pembersih gas mencapai nilai 97.5% ~ 99.5% dan pH air minimum adalah 3.
5. Kesimpulan, tahap akhir penelitian ini menyimpulkan hasil penelitian yang berisi jawaban singkat terhadap rumusan masalah berdasarkan data-data yang diperoleh.

4. HASIL DAN PEMBAHASAN

Kapal Delta Pioneer memiliki 4 mesin untuk menggerakkan kapal berupa 1 mesin utama (*Main Engine*) dan 3 mesin pendukung (*Auxiliary Engine*).

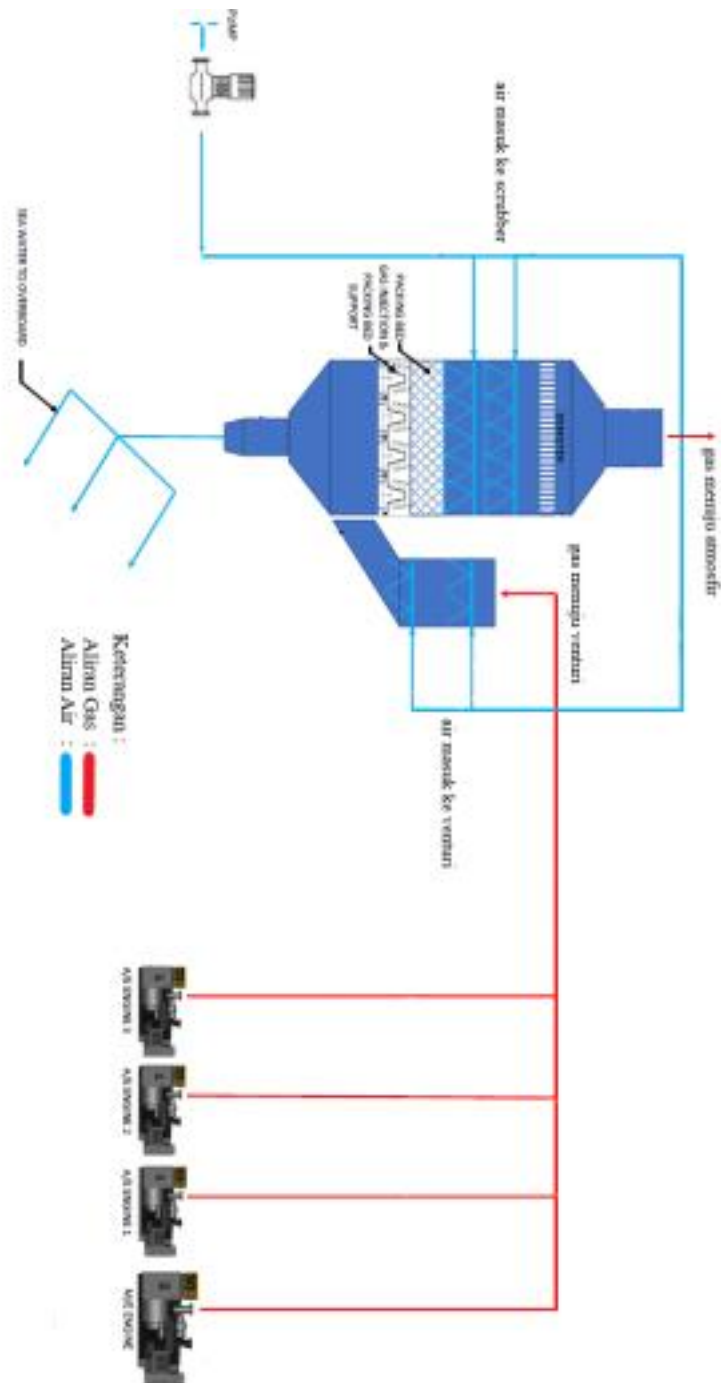
4.1 Data Mesin Kapal

Tabel 1. Data Mesin Utama (*Main Engine Data Sheet*)

Deskripsi	Data Mesin
Kecepatan Maksimum	: 2100 <i>rpm (revolutions per minute)</i>
Kecepatan Beroperasi	: \leq 1900 <i>rpm (revolutions per minute)</i>
Torsi Maksimum	: 5180 <i>Nm (Newton Meter)</i>
Torsi Beroperasi	: \leq 4680 <i>Nm (Newton Meter)</i>
Konsumsi Bahan Bakar	: 209 <i>l/h (liter per hour)</i>
Aliran Massa Gas buang	: 55000 <i>kg/h (kilogram per hour)</i>
Jumlah Mesin	: 1 Mesin

Tabel 2. Data Mesin Pendukung (*Auxiliary Engine Data Sheet*)

Deskripsi	Data Mesin
Kecepatan Maksimum	: 1800 <i>rpm (revolutions per minute)</i>
Kecepatan Beroperasi	: \leq 1600 <i>rpm (revolutions per minute)</i>
Torsi Maksimum	: 4380 <i>Nm (Newton Meter)</i>
Torsi Beroperasi	: \leq 3900 <i>Nm (Newton Meter)</i>
Konsumsi Bahan Bakar	: 186 <i>l/h (liter per hour)</i>
Aliran Massa Gas buang	: 5000 <i>kg/h (kilogram per hour)</i>
Jumlah Mesin	: 3 Mesin



Gambar 15. Process Flow Diagram

Prinsip kerja mesin berdasarkan process flow diagram :

1. Ketika mesin utama, mesin pendukung dan pompa beroperasi maka mesin utama dan mesin pendukung akan mengeluarkan gas

2. Gas dan air bercampur didalam *Scrubber* yang keluar melalui pipa menuju ke *Venturi*, kemudian masuk ke dalam *Scrubber*. Pada saat yang sama pompa beroperasi mengalirkan air laut melalui pipa masuk menuju *Scrubber*.

melewati *Packing Bed* dan *Packing Bed Support* kemudian terjadi proses pelarutan untuk mengurangi kadar SO₂ dan pH air. Gas

yang sudah terlarut kemudian keluar menuju ke atmosfer dan air kembali kelaut keluar melalui *Sea Water Overboard*.

4.2 Parameter Data

Tabel 3. Parameter Data

Kecepatan aliran fluida	: 2.62 m/s
Aliran Massa gas Buang	: 70000 kg/h
Komponen Gas	: SO ₂
Massa Molekul SO ₂	: 64 g/mol
Fraksi Gas Terlarut	: 0.075 mol
Massa Jenis Gas	: 2.62 kg/m ³
Massa Molekul Air	: 18 g/mol
Suhu	: 25 °C
Fraksi campuran gas dan uap masuk	: 15%
Fraksi Cairan Terlarut keluar	: 3.82 %
Fraksi Cairan Terlarut masuk	: 0.001%
Massa Jenis Air Laut	: 1000 kg/m ³
Gas SO ₂ keluar	: 4.5 %

4.4 Perhitungan *Scrubber*

Rumus mencari perhitungan diameter berdasarkan buku (*Shuchen B. Thakore*)

$$D = \sqrt{\frac{4}{\pi}} \times \text{luas area}$$

Maka :

Diameter Saluran Gas Buang *Scrubber* (N1)

$$N1 = \sqrt{\frac{4}{3.14}} \times 1.17$$

$$N1 = 1.22 \text{ m} \approx 1.20 \text{ m} = 1200 \text{ mm}$$

Diameter Sea Water Drain (N10)

$$N10 = \sqrt{\frac{4}{3.14}} \times 25.97 - (5.25)$$

$$N10 = 0.501 \text{ m} \approx 0.500 \text{ m} = 500 \text{ mm}$$

Diameter *Scrubber* (D1)

$$(D1) = \frac{\sqrt{4}}{3.14} \times 8.31 \text{ m}^2$$

$$(D1) = 3.25 \text{ m} = 3250 \text{ mm}$$

Diameter *venturi main engine* (D2)

$$D2 = \sqrt{\frac{4}{3.14}} \times 1.20$$

$$D2 = 1.238 \text{ m} \approx 1.20 \text{ m} = 1200 \text{ mm}$$

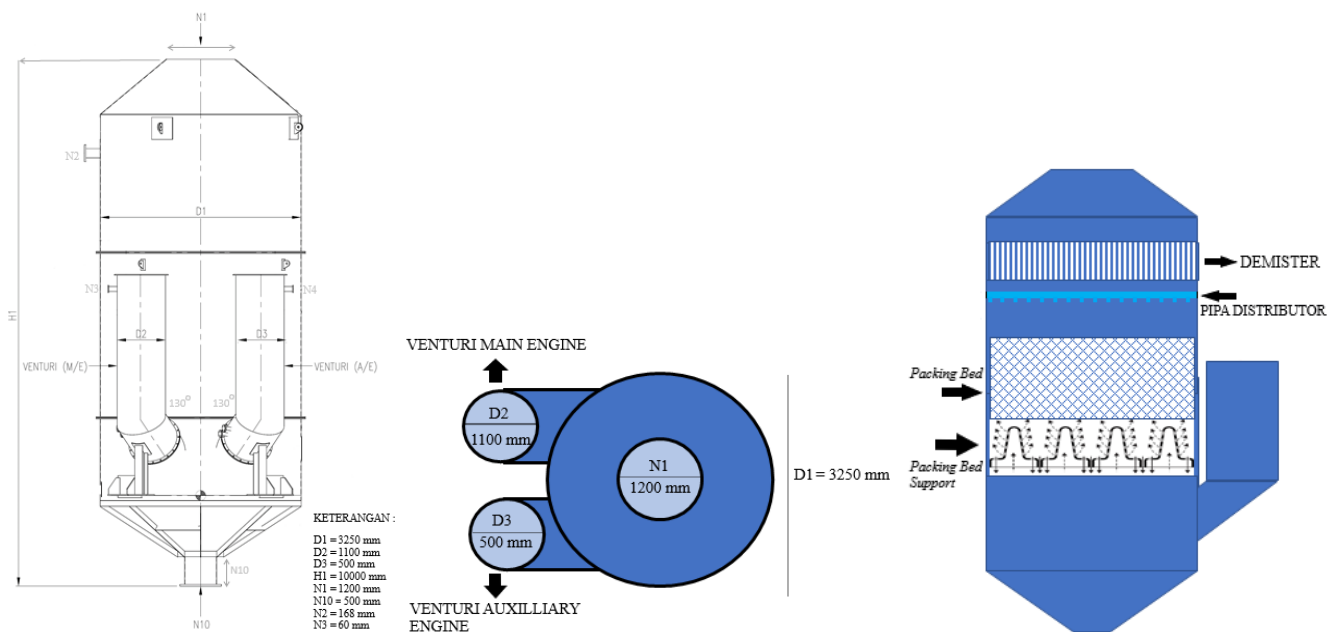
Diameter *venturi auxiliary engine* (D3)

$$D3 = \sqrt{\frac{4}{3.14}} \times 0.25$$

$$D3 = 0.57 \text{ m} \approx 0.50 \text{ m} = 500 \text{ mm}$$

Tabel 4. Data Hasil Perhitungan

Keterangan gambar sketsa <i>Scrubber</i>	Ukuran
D1 (Diameter <i>Scrubber</i>)	3250 mm
D2 (Diameter <i>Venturi</i> mesin utama)	1100 mm
D3 (Diameter <i>Venturi</i> mesin pendukung)	500 mm
H1 (Tinggi <i>Scrubber</i>)	10000 mm
N1 (Diameter <i>Exhaust Gas Outlet</i>)	1200 mm
N10 (Diameter <i>Sea Water Outlet</i>)	500 mm



Gambar 16. Sketsa Scrubber

4.4 Hasil Penelitian

Langkah-langkah menggunakan OLIAnalyzer

1. Langkah ke-1: Membuka data *Stream* air laut yang ada pada program OLIAnalyzer dan

melakukan perhitungan pH air laut.

2. Langkah ke-2: Input data *Stream Gas* berdasarkan kapasitas *Scrubber* dan melakukan perhitungan.

3. Langkah ke-3: Hasil perhitungan dari *Stream Air Laut* dan *Stream Gas* dicampur dan di

hitung kembali untuk mendapatkan hasil berapa pH Air laut setelah bercampur dengan Gas.

Mesin Delta Pioneer melakukan simulasi dengan OLIAnalyzer sebanyak tiga kali:

1. Simulasi ke-1 menghasilkan performa 60% menghasilkan gas keluar sebesar 120 ppm dan pH air sebesar 8.0 pH.
2. Simulasi ke-2 menghasilkan performa 70% menghasilkan gas keluar sebesar 135ppm dan pH

air sebesar 7.4 pH.

3. Simulasi ke-3 menghasilkan performa 80% menghasilkan gas keluar sebesar 160 ppm dan pH air sebesar 6.6 pH.

Dari tiga kali melakukan simulasi *scrubber* menggunakan *Software Olianalyzer* pada mesin Delta Pioneer dihasilkan performa 80% serta menghasilkan gas keluar sebesar 160 ppm dan pH air sebesar 6.6 pH. Sehingga rancangan *scrubber* bisa diterapkan pada mesin kapal delta pioneer berkapasitas 70,0000 Kg/h.

Tabel 5. Simulasi Tes *Scrubber* ke-1

Delta Pioneer Simulasi Running 1		
No.	Deskripsi	Mesin Running %
01	Mesin Utama	60%
02	Mesin pendukung	60%
Hasil Simulasi Running 1		
01	Scrubber Gas keluar	120ppm
02	Scrubber pH air keluar	8.0 pH

Tabel 6. Simulasi Tes *Scrubber* ke-2

Delta Pioneer Simulasi Running 2	
Deskripsi	Mesin Running %
Mesin Utama	70%
Mesin pendukung	70%
Hasil Simulasi Running 2	
Scrubber Gas keluar	135ppm
Scrubber pH air keluar	7.4 pH

Tabel 7. Pengujian Simulasi *Scrubber* ke-3

Delta Pioneer Simulasi Running 3	
Deskripsi	Mesin Running %
Mesin Utama	80%
Mesin pendukung	80%
Hasil Simulasi Running 3	
Scrubber Gas keluar	160 ppm
Scrubber pH air keluar	6.6 pH

5 KESIMPULAN

Scrubber dirancang pada kapal delta pioneer berkapasitas 70,000 Kg/h. Hasil perhitungan dari perancangan untuk tinggi 10 m maka didapat diameter *Scrubber* 3.25 m, diameter *Venturi Main Engine* 1.1 m, diameter *Venturi Auxiliary Engine* 0.5 m, diameter *exhaust gas outlet* 1.2 m dan diameter *sea water outlet* 0.5 m. Dari tiga kali melakukan simulasi *scrubber* menggunakan *Software Olianalyzer* pada mesin Delta Pioneer dihasilkan performa 80% serta menghasilkan gas keluar sebesar 160 ppm dan pH air sebesar 6.6 pH.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] B.Thakore, Shuchen, B. I. B. C. (2007). introduction to process engineering and design.
- [2] Enggarsari, C., Kusuma, G. E., Eng, M. S., & Rizal, M. C. (n.d.). Analisa Tegangan dan Nozzle Load pada Jalur Perpipaan Crude Oil Storage Tank. 38–42.
- [3] Henriksson, T. (2013). SOx Scrubbing of Marine Exhaust Gases.
- [4] Heriantini, A. F., Afiuddin, A. E., & Sophia, A. V. (2018). Perencanaan Wet Scrubber pada Unit Boiler di Industri Minyak Goreng. National Conference Proceeding on Waste Treatment Technology, 2623, 47–52.
- [5] Letnes, M. (2013). Pioneering Sox Scrubber Systems. Wartsila Presentation, October, 1–27. <https://www.wartsila.com/static/studio/assets/content/ss4/wartsila-exhaust-gas-cleaning-presentation-2013.pdf>.
- [6] Sari, I. R. J., Fatkhurrahman, J. A., Marlana, B., Harihastuti, N., Crisnaningtyas, F., Andriani, Y.,

& Nasuka, N. (2019). Wet Scrubber Performance Optimization Application Assisted With Electrochemical-Based Ammonia Sensors. Jurnal Riset Teknologi Pencegahan Pencemaran Industri, 10(2), 36–42. <https://doi.org/10.21771/jrtppi.2019.v10.no2.p36-42>.

- [7] Tantiyani, N., Othman, A., & Kaur, S. (2020). Simulation study on liquid droplet size measurement inside venturi scrubber. Jurnal Kejuruteraan, 32(2), 239–246.
- [8] Wärtsiläkorea, H. (2019). WARTSILA EGCS FOR GLOBAL SULPHUR CAP 2020.