

**OPTIMALISASI KINERJA ALAT BANTU
SCRUBBER SEBAGAI PENERAPAN ANNEX VI DI
MV. CMA CGM TIGRIS**



Disusun sebagai salah satu syarat untuk menyelesaikan
Program Pendidikan Sarjana Terapan

MILLATUL AISYI

NIT 08.20.0.22.2.06

**PROGRAM STUDI TEKNOLOGI REKAYASA PERMESINAN
KAPAL**

**PROGRAM DIPOLMA IV PELAYARAN
POLITEKNIK PELAYARAN SURABAYA
TAHUN 2025**

**OPTIMALISASI KINERJA ALAT BANTU
SCRUBBER SEBAGAI PENERAPAN ANNEX VI DI
MV. CMA CGM TIGRIS**



Disusun sebagai salah satu syarat untuk menyelesaikan
Program Pendidikan Sarjana Terapan

MILLATUL AISYI

NIT 08.20.0.22.2.06

**PROGRAM STUDI TEKNOLOGI REKAYASA PERMESINAN
KAPAL**

**PROGRAM DIPOLMA IV PELAYARAN
POLITEKNIK PELAYARAN SURABAYA
TAHUN 2025**

PERNYATAAN KEASLIAN

Yang bertanda tangan di bawah ini :

Nama : Millatul Aisyi

Nomor Induk Taruna : 08.20.022.2.06

Program Studi : Teknologi Rekayasa Permesinan Kapal

Menyatakan bahwa skripsi yang saya tulis dengan judul:

**“OPTIMALISASI KINERJA ALAT BANTU *SCRUBBER* SEBAGAI
PENERAPAN *ANNEX VI* DI MV. CMA CGM TIGRIS”**

Merupakan karya asli seluruh ide yang ada dalam skripsi tersebut, kecuali tema dan yang saya nyatakann sebagai kutipan, merupakan ide saya sendiri. Jika pernyataan di atas terbukti tidak benar, maka saya bersedia menerima sanksi yang ditetapkan oleh Politeknik Pelayaran Surabaya.

Surabaya, 21 Januari 2025



MILLATUL AISYI
NTT 08.20.022.2.06

**PERSETUJUAN SEMINAR
HASIL KARYA ILMIAH TERAPAN**

Judul : OPTIMALISASI KINERJA ALAT BANTU *SCRUBBER*
SEBAGAI PENERAPAN *ANNEX VI* DI MV. CMA CGM
TIGRIS

Nama Taruna : Millatul Aisyi

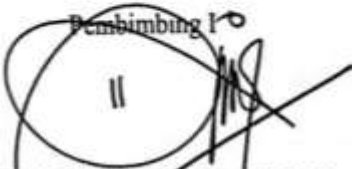
NIT : 08.20.022.2.06

Program Studi : Teknologi Rekayasa Permesinan Kapal

Dengan ini dinyatakan telah memenuhi syarat untuk diseminarkan

Surabaya, 11 DECEMBER 2024

Menyetujui:


Pembimbing I
Dr. H. Saiful Irfan, M.Pd., M.Mar.E
Penata Tk. I (III/d)
NIP. 19760905 201012 1 001


Pembimbing II
M. Zainuddin S. Sit., M.H., M.Mar.E
NIP. 19790925202321 1010

Ketua Prodi Teknologi Rekayasa Permesinan Kapal


Monika Retno Gunarti, M.Pd., M.Mar.E
Penata Tk. I (III/d)
NIP. 19760528 200912 2 002

PENGESAHAN KARYA ILMIAH TERAPAN
OPTIMALISASI KINERJA ALAT BANTU SCRUBBER SEBAGAI
PENERAPAN ANNEX VI DI MV. CMA CGM TIGRIS

Disusun Dan Diajukan Oleh :

MILLATUL AISYI

NIT. 08.20.022.2.06

Program Studi Teknologi Rekayasa Permesinan Kapal

Telah dipertahankan di depan Panitia Ujian KIT

Pada tanggal, 17 Januari 2025

Menyetujui

Penguji I


Shofa Dal Robbi, S.T.M.T.
Penata (III/c)
NIP. 198203022006041001

Penguji II

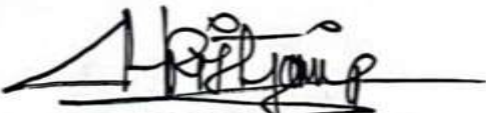

Dr. H. Saiful Irfan, M.Pd., M.Mar.E
Penata Tk.I (III/d)
NIP. 1976905201012 1 001

Penguji III


M. Zainuddin, S.T., M.H., M.Mar.E
NIP. 19790925202321 1 010

Mengetahui

Ketua Program Studi D-IV Teknologi Rekayasa Permesinan Kapal
Politeknik Pelayaran Surabaya


Dr. Antonius Edy Kristivono, M.Pd., M.Mar.E
Penata Tk.I (III/d)
NIP. 19690531200312 1 001

KATA PENGANTAR

Puji syukur kehadiran Allah SWT atas rahmat dan karunia-Nya sehingga penulis dapat menyelesaikan skripsi yang berjudul **“OPTIMALISASI KINERJA ALAT BANTU *SCRUBBER* SEBAGAI PENERAPAN ANNEX VI DI MV. CMA CGM TIGRIS”** ini dengan baik. Karya Ilmiah Terapan ini disusun sebagai tugas akhir.

Penulis menyadari bahwa dalam penulisan Karya Ilmiah Terapan ini masih terdapat banyak kekurangan dan keterbatasan. Maka dari itu, penulis mengharapkan kritik dan saran yang dapat membangun untuk menyempurnakan karya ini. Pada kesempatan ini, penulis ingin menyampaikan rasa terimakasih kepada pihak-pihak yang telah membantu dalam proses penulisan Karya Ilmiah Terapan ini, antara lain :

1. Tuhan YME atas rahmat dan karunia-Nya yang telah memberikan kesehatan sehingga penulis dapat menyelesaikan skripsi ini.
2. Bapak Moejiono, M.T., M.Mar.E sebagai Direktur Politeknik Pelayaran Surabaya, yang telah memberikan ruang dan waktu untuk Karya Ilmu Terapan.
3. Ibu Monika Retno Gunarti, M.Pd, M.Mar.E selaku Ketua Jurusan Teknika yang telah memberikan dukungan dan motivasi yang sangat besar bagi penulis dalam menyelesaikan proposal ini.
4. Bapak Dr. H. Saiful Irfan, M.Pd., M.Mar.E. Selaku Dosen Pembimbing I yang membimbing saya sehingga dapat menyelesaikan skripsi.
5. Bapak Mochammad Zainuddin S. SiT., M.H., M.Mar.E. sebagai Dosen Pembimbing II, telah memberikan masukan dan saran yang sangat membantu dalam menyelesaikan skripsi.
6. Bapak/Ibu Dosen Politeknik Pelayaran Surabaya, khususnya lingkungan program studi teknika, yang telah membantu saya menyelesaikan skripsi.
7. Kepada ibu saya Nasicha yang selalu memberikan saya dukungan serta doa restu, sehingga saya mampu menyelesaikan skripsi ini.

8. Kepada (Alm) Bapak Rabun Suhardjo, selaku orang tua saya yang sudah meninggal sewaktu saya kelas 6 Sekolah Dasar, terimakasih untuk pelajaran yang beliau berikan semasa hidupnya kepada saya.
9. Kepada kakak- kakak saya, Eko Pranggionoto, Dwi Estika Oktavia dan Dian Firdaus Triastuti yang selalu memberi motivasi dan semangat kepada saya sehingga saya dapat menyelesaikan skripsi.
10. Seluruh *engineer* di MV. CMA CGM TIGRIS yang selalu memberi dukungan kepada saya dalam mengerjakan skripsi.
11. Seluruh Taruna/i Politeknik Pelayaran Surabaya angkatan 11 yang selalu mendukung saya dalam mengerjakan skripsi.

Disadari bahwa Karya Ilmiah Terapan ini masih banyak kekurangan. Saran dan masukan akan diterima dengan harapan dapat mendukung penulisan Skripsi ini. Penulis berharap, Karya Ilmiah Terapan ini dapat memberikan manfaat untuk menambah wawasan bagi penulis serta bagi pembaca.

Surabaya, 11 Desember 2024

MILLATUL AISYI
NIT 08.20.022.2.06

ABSTRAK

MILLATUL AISYI, Optimalisasi Kinerja Alat Bantu *Scrubber* Sebagai Penerapan Annex Vi di MV. CMA CGM Tigris. Politeknik Pelayaran Surabaya. Di bimbing oleh Bp. H. Saiful Irfan, M.Pd., M.Mar.E dan Bp. M. Zainuddin S. SiT., M.H., M.Mar.E. sebagai dosen pembimbing dalam penelitian.

Marpol Annex vi menjelaskan tentang aturan pencegahan polusi udara yang dihasilkan oleh kapal yang bertujuan mengurangi emisi gas buang seperti *SOx* dan *NOx*. Dalam annex vi memiliki daerah ECA (*emission control area*) seperti Laut Baltik, Laut Utara, Laut Karibia, Kepulauan Virgin dan beberapa mill dari Kanada dan Amerika Serikat. Kapal harus mematuhi persyaratan menggunakan bahan bakar *low sulphur* 0,1% dan 0,5% di daerah ECA. Selain *low sulphur*, kita dapat menggunakan *scrubber*.

Scrubber merupakan alat untuk yang dipasang di kapal untuk mengurangi emisi *SO₂* dan *PM (particulate matter)* dengan menggunakan media cairan. Dalam penelitian ini bertujuan mengetahui faktor penyebab kurang optimalnya kinerja *scrubber*. Penelitian ini dilakukan menggunakan metode penelitin kualitatif deskriptif.

Hasil yang diperoleh dari adanya alarm penurunan aliran air pada *Water Monitoring Unit* disebabkan karena adanya filter yang kotor, hal itu memberikan dampak kerusakan pada *mechanical seal* dari pompa. Itu dapat berpengaruh terhadap pembacaan sensor *pH*, *turbidity* dan *PAH (Polycyclic Aromatic Hydrocarbons)* yang tidak akurat yang dapat mengakibatkan kinerja *scrubber* menjadi tidak optimal.

Untuk mengatasi masalah tersebut yaitu dengan mengganti *mechanical seal* yang rusak dengan yang baru, membersihkan filter dan semua sensor. Upaya untuk mencegah terjadinya permasalahan pada *Water Monitoring Unit* yaitu dengan melakukan perawatan secara rutin seperti pembersihan semua sensor, membersihkan filter, melakukan inspeksi pada semua komponen *scrubber*.

Kata kunci: *Scrubber, Water Monotoring Unit*

ABSTRACT

MILLATUL AISYI, Optimization of Scrubber Aids Performance as Annex Vi Implementation on MV. CMA CGM Tigris. Surabaya Shipping Polytechnic. Supervised by Mr. H. Saiful Irfan, M.Pd., M.Mar.E and Mr. M. Zainuddin S. SiT., M.H., M.Mar.E. as supervisors in the research.

Marpol Annex vi explains the rules for preventing air pollution generated by ships which aims to reduce exhaust emissions such as SO_x and NO_x. Annex vi has ECAs (emission control areas) such as the Baltic Sea, North Sea, Caribbean Sea, Virgin Islands and several miles of Canada and the United States. Ships must comply with the requirement of using 0.1% and 0.5% low sulphur fuel in ECA areas. In addition to low sulphur, we can use scrubbers.

Scrubber is a tool for ships to reduce SO₂ and PM (particulate matter) emissions using liquid media. This study aims to determine the factors that cause less than optimal scrubber performance. This research was conducted using descriptive qualitative research methods.

The results obtained from the alarm of a decrease in water flow in the Water Monitoring Unit were caused by a dirty filter, which resulted in damage to the mechanical seal of the pump. This can affect inaccurate pH, turbidity and PAH (Polycyclic Aromatic Hydrocarbons) sensor readings which can result in suboptimal scrubber performance.

To overcome these problems, namely by replacing damaged mechanical seals with new ones, cleaning filters and all sensors. Efforts to prevent problems in the Water Monitoring Unit are to carry out routine maintenance such as cleaning all sensors, cleaning filters, inspecting all scrubber components.

Key words: *Scrubber, Water Monitoring Unit*

DAFTAR ISI

HALAMAN JUDUL	i
PERNYATAAN KEASLIAN	ii
KATA PENGANTAR.....	v
ABSTRAK	vii
ABSTRACT	viii
DAFTAR ISI.....	ix
DAFTAR GAMBAR.....	xi
DAFTAR TABEL	xii
DAFTAR LAMPIRAN	xiii
BAB I PENDAHULUAN.....	1
A. Latar Belakang Masalah	1
B. Rumusan Masalah	4
C. Tujuan Penelitian.....	4
D. Batasan Masalah	4
E. Manfaat Penelitian.....	5
BAB II TINJAUAN PUSTAKA	6
A. Review Penelitian Sebelumnya	6
B. Landasan Teori	7
C. Kerangka Penelitian.....	19
BAB III METODE PENELITIAN	21
A. Jenis Penelitian	21
B. Tempat dan Waktu Penelitian	21
C. Sumber Data Penelitian	22

D. Metode Pengumpulan Data	23
BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN	25
A. Gambaran Umum Dan Lokasi Penelitian.....	25
B. Hasil Penelitian.....	28
C. Pembahasan	38
BAB V PENUTUP.....	43
A. Kesimpulan.....	43
B. Saran	43
DAFTAR PUSTAKA.....	43
LAMPIRAN.....	43

DAFTAR GAMBAR

Gambar 2. 1 Scrubber	8
Gambar 2. 2 Wet Scrubber.....	8
Gambar 2. 3 Dry Scrubber	9
Gambar 2. 4 Nozzle.....	12
Gambar 2. 5 Demister	13
Gambar 2. 6 Continuous Emission Monitoring System.....	15
Gambar 2. 7 Water treatment unit.....	15
Gambar 2. 8 Water monitoring unit	16
Gambar 4. 1 Kapal MV. CMA CGM Tigris	25
Gambar 4. 2 Ship Particular MV. CMA CGM Tigris.....	25
Gambar 4. 3 Crew List MV. CMA CGM Tigris.....	26
Gambar 4. 4 Water Monitoring Unit.....	27
Gambar 4. 5 Gambar Mechanical Seal Rusak	31
Gambar 4. 6 Penggantian Mechanical Seal Rusak Dengan yang Baru.....	31
Gambar 4. 7 Gambar Penggantian mechanical seal.....	32
Gambar 4. 8 Turbidity Kotor	32
Gambar 4. 9 Turbidity setelah dibersihkan	33

DAFTAR TABEL

Tabel 2. 1 Review Penelitian Sebelumnya.....	6
Tabel 2. 2 Kerangka Penelitian	19
Tabel 4. 1 Spesifikasi Mesin Scrubber.....	28
Tabel 4. 2 Wawancara Dengan Masinis 2 Dan Masinis 4 Scrubber	33
Tabel 4. 3 Data Hasil Studi Pustaka Oleh Kamal	35
Tabel 4. 4 Data Hasil Studi Pustaka Oleh Hery	35
Tabel 4. 5 Data Pemeriksaan.....	36
Tabel 4. 6 Data Monitoring.....	37

DAFTAR LAMPIRAN

Lampiran 1 Rubik Wawancara Masinis 2	43
Lampiran 2 Rubik Wawancara Masinis 4 Scrubber (Scrubber Engineer)	44
Lampiran 3 Ship Particular MV. CMA CGM Tigris	45
Lampiran 4 Crew List MV. CMA CGM Tigris	45
Lampiran 5 Gambar Kapal MV. CMA CGM Tigris.....	46
Lampiran 6 Foto Crew MV. CMA CGM Tigris	46
Lampiran 7 Dokumentasi Foto <i>Water Monitoring Unit</i>	47
Lampiran 8 Dokumentasi Foto Kabinet Pompa <i>Water Monitoring Unit</i>	47
Lampiran 9 Data <i>Scrubber</i>	48
Lampiran 10 <i>Manual Book</i> Perawatan <i>Water Monitoring Unit</i>	49
Lampiran 11 Dokumentasi Pembersihan Sensor Turbidity	50
Lampiran 12 Dokumentasi Penggantian <i>Mechanical Seal</i>	51
Lampiran 13 Dokumentasi Kalibrasi Turbidity	52

BAB I PENDAHULUAN

A. Latar Belakang Masalah

Kapal merupakan sarana transportasi *internasional* yang memainkan peran sentral dalam perdagangan global, pengiriman barang, pariwisata, dan konektivitas *internasional*. Kapal memiliki keunggulan dalam mengangkut barang dalam jumlah besar dan jarak yang jauh melalui jalur perairan dengan mengakses pelabuhan-pelabuhan di seluruh dunia.

Internasional Maritime Organization (IMO), sekitar 2,89% pada tahun 2018 gas rumah kaca global berasal dari kapal. Hal tersebut bisa memberikan dampak buruk terhadap iklim dan polusi udara. Terutama kapal-kapal yang menggunakan bahan bakar fosil seperti minyak diesel karena akan menghasilkan polutan udara seperti *Karbon Dioksida (CO₂)*. (*Fourth IMO Greenhouse Gas Study, 2020*)

Kapal juga menghasilkan *Sulfur Dioksida (SO₂)* dan *Nitrogen Dioksida (NO₂)*. *SO₂* berasal dari kandungan *sulfur* dalam bahan bakar, sedangkan *NO₂* terbentuk selama proses pembakaran. Paparan *Sulfur Dioksida* yang tinggi dapat menyebabkan dampak negatif bagi kesehatan seperti iritasi pada sistem pernapasan, paru-paru dan mata. Kadar *Nitrogen Dioksida* yang tinggi di *atmosfer* juga memberi dampak negatif bagi kesehatan dan menyebabkan korosi pada material. Peningkatan *SO₂* dan *NO₂* di *atmosfer* dapat mengakibatkan hujan asam.

Internasional Maritime Organization (IMO) telah merumuskan konvensi *internasional* guna pencegahan polusi dari kapal (*MARPOL*) yang telah diratifikasi secara global. *MARPOL Annex vi* menjelaskan tentang

aturan pencegahan polusi udara yang dihasilkan oleh kapal. Tujuan utama dari *annex vi* yaitu mengurangi emisi gas buang seperti SO_2 dan NO_2 dalam melindungi kualitas udara dan meminimalkan dampak negatif terhadap kesehatan manusia, lingkungan dan iklim.

Annex vi menerapkan konsep ECA (*Emission Control Area*) yaitu memiliki batasan emisi yang ketat di beberapa wilayah seperti Laut Baltik, Laut Utara, Laut Karibia di sekitar Puerto Riko, Kepulauan Virgin dan beberapa mill dari Kanada dan Amerika Serikat. Dalam ECA, kapal harus mematuhi persyaratan emisi yang lebih ketat yaitu dengan menggunakan bahan bakar *low sulfur* 0,1% dari tahun 2015 dan 0,5% untuk wilayah luar ECA. Selain menggunakan bahan bakar *low sulfur*, ada beberapa upaya yang dapat dilakukan dalam mengurangi emisi gas buang yaitu dengan menggunakan bahan bakar alternatif yang lebih bersih seperti LNG atau *biodiesel*. Selain itu, teknologi seperti *scrubber* juga dapat digunakan untuk mengurangi emisi gas buang dari kapal. (*Fourth IMO Greenhouse Gas Study, 2020*)

Scrubber yaitu perangkat yang dipasang di kapal untuk mengurangi emisi SO^2 dan PM (*Particulate Matter*). Alat ini membersihkan SO^2 dan PM (*Particulate Matter*) dengan cara menambahkan air laut atau air tawar yang ditambah zat kimia atau zat kering dalam gas buang. Gas buang yang dibersihkan dari zat yang diolah akan dilepaskan ke atmosfer sementara aliran limbah akan dibuang ke laut atau disimpan di tangki. *Scrubber* memiliki dua jenis, yaitu *wet scrubber* dan *dry scrubber*. (*International maritime and inland navigation, national navigation, national fishing, recreational boats International maritime navigation, international inland navigation, national*

navigation (shipping), national fishing, 2019)

Wet scrubber yaitu system pengolahan gas buang dengan menggunakan cairan seperti air laut atau larutan kimia, sedangkan *dry scrubber* yaitu system pengolahan gas buang dengan menggunakan bahan bakar penyerap kering seperti kapur (CaO) atau *Kalsium Hidroksida* (Ca(OH)_2). (*A Guide to Exhaust Gas Cleaning Systems*, 2014)

MV. CMA CGM TIGRIS telah menerapkan teknologi *scrubber* dengan jenis *wet scrubber*. Prinsip kerja dari *wet scrubber* yaitu dengan menyemprotkan air laut atau larutan kimia ke dalam aliran gas buang sehingga gas berbahaya tersebut dapat diserap atau diikat. *Wet scrubber* memiliki tiga mode system kerja, yaitu *open loop*, *close loop* dan *hybrid loop*.

System open loop scrubber yaitu menetralkan gas buang menggunakan alkalinitas alami air laut yang hanya digunakan sekali untuk menyerap polutan, setelah melewati *scrubber*, cairan pembersih yang sudah tercemar akan dibuang sebagai limbah cair. *System close-loop* yaitu menggunakan air laut yang di campur dengan cairan kimia (*natrium hidroksida*), air cucian tersebut akan dimurnikan dan disirkulasikan secara terus menerus, lumpur yang dihasilkan akan disimpan di tangki dan dibuang di pelabuhan yang memiliki fasilitas yang sesuai. *System hybrid* yaitu menggabungkan fitur dari *open-loop* dan *close-loop*. Pada MV. CMA CGM TIGRIS menggunakan jenis *wet scrubber* dengan *system hybrid*.

Berdasarkan penelitian sebelumnya yang dilakukan oleh Harry Yanto (2021) menyatakan bahwa penggunaan *scrubber* masih kurang optimal, hal tersebut dikarenakan oleh kandungan sulfur yang masih melebihi batas regulasi

low sulfur. Namun dalam penelitian ini, penggunaan scrubber masih kurang optimal karena terdapat masalah pada pompa *water moitoring unit*.

Berdasarkan permasalahan diatas, saya selaku penulis tertarik untuk mengambil judul:

**“OPTIMALISASI KINERJA ALAT BANTU SCRUBBER
SEBAGAI PENERAPAN ANNEX VI DI MV. CMA CGM TIGRIS”**

B. Rumusan Masalah

1. Apa faktor penyebab kurang optimalnya kinerja pada *scrubber*?
2. Apa dampak yang ditimbulkan dari kurang optimalnya kinerja *scrubber*?
3. Upaya apa yang dilakukan supaya *scrubber* dapat bekerja secara optimal?

C. Tujuan Penelitian

1. Untuk mengetahui apa faktor yang mempengaruhi kinerja *scrubber* kurang optimal.
2. Untuk mengetahui apa dampak dari kurang optimalnya kinerja pada *scrubber*.
3. Untuk mengetahui apa upaya yang dilakukan supaya *scrubber* bekerja secara optimal.

D. Batasan Masalah

Agar pembahasan ini tidak meluas, maka peneliti membatasi ruang lingkup penelitian ini hanya berfokus pada permasalahan *scrubber* yang terjadi pada *Water Monotoring Unit* dalam mengoptimalkan kinerja *scrubber* sehingga pembaca dapat fokus dan mudah dalam memahami inti pembahasan dari penelitian ini.

E. Manfaat Penelitian

1. Manfaat Teoritis

Memberikan acuan dan dasar bagi penelitian lebih lanjut di masa yang mendatang.

2. Manfaat Praktis

Memberikan solusi atau rekomendasi praktis dalam mengetahui perawatan, dan faktor yang mempengaruhi efisiensi kinerja *scrubber*.

3. Manfaat bagi peneliti

Penulisan skripsi ini dapat menambah pengetahuan dan bekal untuk menjadi seorang masinis kapal dikemudian hari.

BAB II TINJAUAN PUSTAKA

A. Review Penelitian Sebelumnya

Pada bab ini akan dijelaskan hasil review dari penelitian sebelumnya yang sama dengan rumusan masalah dalam penelitian ini. Akan disampaikan juga beberapa teori-teori yang akan menguatkan dan menjelaskan kata atau kalimat.

Tabel 2. 1 Review Penelitian Sebelumnya

No	Judul Penelitian	Penulis	Kesimpulan	Perbedaan
1.	Analisis terjadinya korosi pada <i>scrubber tower</i> di MT. GANDINI	Kelwin Habibu (2019)	Hasil dari penelitian tersebut yaitu faktor dari penyebab terjadinya korosi pada <i>scrubber tower</i> dikarenakan adanya kurang tekanan pendingin air laut pada <i>scrubber pump</i> , hal tersebut berdampak kepada turunnya daya tahan dari filter <i>demister</i> dan menghambat proses bongkar muat. Upaya dalam mengatasi masalah tersebut yaitu dengan melakukan perbaikan dan perawatan berkala pada <i>scrubber pump</i> serta melakukan perawatan dan pengecekan pada <i>inert</i> gas generator sesuai dengan periode yang ditentukan	Perbedaan penelitian sebelumnya dengan penelitian saya yaitu pada penelitian sebelumnya menganalisis terjadinya korosi pada <i>scrubber tower</i> beserta perawatan yang dilakukan agar tidak terjadi korosi pada <i>scrubber tower</i> , sedangkan penelitian ini membahas tentang kurang optimalnya kinerja <i>scrubber</i> karena adanya kerusakan <i>mechanical seal</i> pada pompa <i>Water Monitoring Unit (WMU)</i>
2.	Analisis tingginya <i>oxygen content</i> yang dihasilkan <i>scrubber tower</i> pada kegagalan pengoperasian <i>inert gas system</i> di MT. Sambu	Rian Setiawan(2020)	Dalam penelitian ini dapat disimpulkan adanya kandungan oksigen tinggi yang menyebabkan kegagalan pada <i>scrubber tower</i> yaitu disebabkan adanya sumbatan pada <i>nozzle cooling spray sea water</i> . Hal tersebut	Pada penelitian sebelumnya, adanya kegagalan pengoperasian <i>inert gas</i> yang disebabkan oleh tingginya kadar oksigen yang dihasilkan <i>scrubber tower</i> , sedangkan penelitian ini membahas kurang

			memberikan dampak kerusakan terhadap komponen <i>scrubber tower</i> dan mengasalkan kadar oksigen yang kurang dari 5%. Dalam penelitian ini disebutkan upaya yang dilakukan yaitu melakukan pengoperasian sesuai <i>manual book</i> dan melakukan perawatan secara berkala.	optimalnya kinerja <i>scrubber</i> yang disebabkan oleh permasalahan yang terjadi pada <i>water monitoring unit</i> .
--	--	--	---	---

B. Landasan Teori

1. Definisi emisi

Emisi merupakan pelepasan bahan-bahan yang berasal dari kapal ke atmosfer atau laut. Secara spesifik, emisi gas buang mencakup berbagai senyawa kimia yang dapat membahayakan kesehatan manusia dan lingkungan. Komponen utama dari gas buang meliputi karbon dioksida, karbon monoksida, nitrogen dioksida, hidrokarbon, partikulat. Emisi gas buang merupakan salah satu penyebab utama pencemaran udara.

Oleh karena itu, pengendalian emisi gas buang menjadi penting untuk menjaga kualitas udara dan mencegah dampak negatif terhadap kesehatan manusia dan lingkungan.

2. Definisi *scrubber*



Gambar 2. 1 *Scrubber*

Sumber : <https://www.bionomicind.com/wet-scrubbers/5000-fume-scrubber.cfm>

Scrubber merupakan alat sebagai pemisahan suatu partikel solid (debu) yang berada di gas atau udara dengan menggunakan cairan sebagai alat bantu yang memiliki tujuan dalam mengurangi kadar *sulfur* yang terkandung dalam gas buang. Cairan yang biasanya digunakan dalam proses *scrubbing* yaitu seperti *Asam Sulfat*.

3. Jenis-jenis *scrubber*

Scrubber dapat diklasifikasikan menjadi dua jenis diantaranya :

a. *Wet scrubber* (*scrubber* basah)

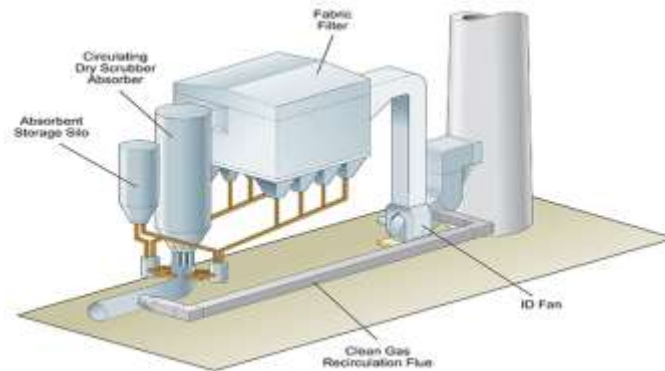


Gambar 2. 2 *Wet Scrubber*

Sumber : <https://www.nedermanmikropul.com/en/products/wet-scrubbers/mikro-vane-scrubber>

Menurut Sunardi et al (2013) *Wet scrubber* (*scrubber* basah) membuang partikel polutan dengan cara menangkapnya dalam tetesan atau butiran cairan sehingga dapat menghasilkan gas buang yang lebih bersih.

b. *Dry scrubber* (*scrubber* kering)



Gambar 2. 3 Dry Scrubber

Sumber : <https://www.babcock.com/home/products/circulating-dry-scrubber-cds/>
 Dalam jurnal “*dry scrubbing technology for SO₂ removal on ship*”

Dry scrubber (*scrubber* kering) merupakan sistem pengendalian pencemaran udara dengan melibatkan *injeksi sorbent* kering, seperti kapur atau *Natrium Bikarbonat* yang dialirkan kedalam aliran gas buang untuk menghilangkan dan menangkap gas buang yang berbahaya.

4. Sistem kerja wet scrubber

Wet scrubber (*scrubber* basah) dibagi menjadi 3 jenis sistem kerja yaitu:

a. *Open loop scrubber* (*scrubber loop* terbuka)

Dalam sistem *open loop scrubber* menggunakan air laut yang bersifat basa untuk media *scrubbing* dan penetral. Dalam sistem ini tidak memerlukan bahan kimia lain untuk *desulfurisasi* gas. Sistem kerja ini dapat bekerja dengan efektif jika air laut memiliki alkalinitas yang cukup. Maka dari itu *scrubber* dengan sistem *loop* terbuka ini

dianggap tidak efektif untuk area seperti laut Baltik yang memiliki tingkat salinitas rendah. Sistem *open loop* ini memiliki beberapa keuntungan dan kekurangan.

Keuntungan menggunakan sistem *open loop*:

- 1) Desainnya sederhana dan mudah dipasang diatas kapal
- 2) Sistem *open loop* ini tidak memerlukan penyimpanan untuk bahan limbah
- 3) Perawatan yang diperlukan sangat sedikit

Kekurangan menggunakan sistem *open loop*:

- 1) Tidak cocok untuk pengoperasian dalam segala kondisi yang dikarenakan tergantung pada *alkalinitas* air yang tersedia.
- 2) Harus menggunakan bahan bakar *Low Sulphur Fuel Oil (LSFO)* saat kapal sedang beroperasi di daerah *emission control area (ECA)*.
- 3) Memerlukan volume air yang sangat besar untuk mendapatkan pembersihan yang efisien.

b. *Close loop scrubber (scrubber loop tertutup)*

Pada sistem *close loop scrubber* ini menggunakan air laut yang diolah menggunakan bahan kimia, bahan kimia yang biasa digunakan yaitu *Natrium Hidraksida* untuk media *scrubbing*. Air pencuci yang telah digunakan akan disirkulasikan kembali dengan melalui tangki proses untuk dibersihkan terlebih dahulu sebelum digunakan lagi. Sistem *close loop scrubber* ini juga memiliki keuntungan dan kekurangan.

Keuntungan menggunakan sistem *close loop scrubber*:

- 1) Perawatan yang dilakukan sedikit
- 2) Tidak tergantung pada lingkungan operasi kapal
- 3) Masalah sistem *scrubbing* basah yaitu pendinginan gas buang.

Kekurangan menggunakan sistem *close loop scrubber*:

- 1) Membutuhkan *buffer tank* (ruang penyimpanan) untuk menampung air limbah sebelum dibuang
- 2) Sistem reduksi katalitik harus beroperasi sebelum *scrubber* basah.
- 3) Sistem dipasang bersama-sama terutama pada mesin bahan bakar ganda karena sangat rumit.

c. Sistem *hybrid scrubber*

Sistem *hybrid* ini merupakan kombinasi dari *open loop scrubber* dan *close loop scrubber*. Sistem ini merupakan sistem yang paling *fleksibel* karena bisa digunakan di setiap situasi. Ketika kapal di laut dapat menggunakan mode *open loop* dan menggunakan mode *close loop* saat kapal beroperasi di daerah *Emission Control Area (ECA)*. Pada sistem ini memerlukan biaya awal yang tinggi, namun sangat efisien karena sistem *hybrid* bisa berjalan menggunakan bahan bakar dengan biaya yang murah dalam jangka panjang dan kapal dapat beroperasi diseluruh dunia. *System hybrid* memiliki keunggulan dan kekurangan.

Keuntungan menggunakan sistem *hybrid*:

- 1) Sistem *hybrid* ini cocok untuk perjalanan jauh maupun dekat di seluruh dunia.

- 2) Lebih banyak menghabiskan banyak waktu di zona *emission control area* (ECA) dan dipelabuhan
- 3) Bisa menggunakan bahan bakar *Heavy Fuel Oil* (HFO) dengan biaya yang lebih murah

Kekurangan menggunakan sistem *hybrid*:

- 1) Memiliki biaya pemasangan yang tinggi dan waktu yang panjang
- 2) Memerlukan ruang penyimpanan yang besar untuk bahan kimia dan adiktif
- 3) Memerlukan modifikasi dan struktural yang lebih banyak.

Scrubber yang akan dibahas oleh penulis yaitu jenis *wet scrubber* (*scrubber* basah) dengan mode *hybrid* sistem sesuai dengan tipe yang ada di kapal MV. CMA CGM Tigris.

5. Komponen utama *scrubber*

a. *Scrubber tower*

Scrubber tower merupakan kolom *vertical* yang mana gas yang terkontaminasi diperkenalkan di bagian bawah dan cairan *scrubbing* disemprotkan dari atas, memungkinkan kontak antara gas dan cairan untuk mengilangkan polutan.

b. *Nozzle*



Gambar 2. 4 *Nozzle*

Sumber : <http://avlon-php.com/wet-scrubber-manufactures-philippines/>

Nozzle merupakan komponen penting yang digunakan untuk menyemprotkan cairan *scrubbing* kedalam aliran gas buang dalam proses pembersihan gas. *Nozzle* terletak di dalam *chamber*. Pada saat pemasangan, harus tersedia ruang yang cukup untuk memasang dan mengganti *lances/nozzle*.

c. *Demister*



Gambar 2. 5 *Demister*

Sumber : <https://images.app.goo.gl/kH3zV9YZCP5p72GA6>

Demister juga biasanya dikenal sebagai *mist eliminator*. Menurut Cheremisinoff, N. P. (2002), *demister* berfungsi untuk menghilangkan tetesan cairan yang terbawa dalam aliran gas keluar dari *scrubber* yang dapat mencegah hilangnya cairan *scrubbing* dan mengurangi emisi tetesan ke atmosfer. *Scrubber* menghasilkan tetesan air yang relatif besar yang terperangkap dalam aliran gas. Tetesan air ini sebagian besar mengandung partikel yang harus dikeluarkan dari aliran gas sebelum dibuang ke atmosfer. *Demister* juga melindungi saluran pembuangan dari tetesan korosif. *Demister* ini berada di bagian atas menara *scrubber*.

d. *Exhaust gas pressure sensor*

Sensor tekanan gas buang ini dipasang untuk memantau tekanan, jika tekanan melebihi *set point alarm*, maka alarm dipicu di HMI untuk memberi tahu operator. Sensor ini juga memicu penghentian *scrubber* jika terjadi tekanan tinggi.

e. *High level switch*

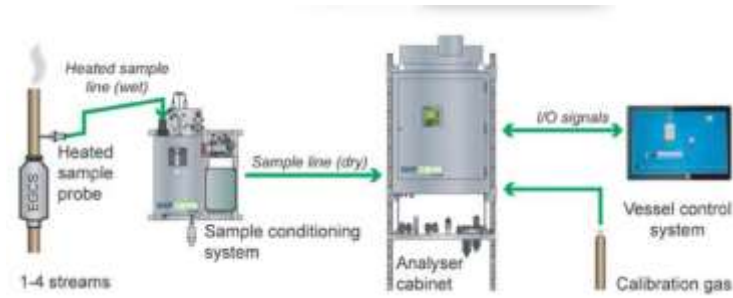
Scrubber dilengkapi dengan 2 *high level switch* yang berada di ruang bawah *scrubber* untuk melindungi mesin dari air yang masuk ke dalam pipa *exhaust*. Jika *level* air tinggi, sensor ini akan mengaktifkan sistem perhentian darurat (*Emergency Shutdown System*).

f. *CEMS (continuous emission monitoring system)*

CEMS (Continuous emission monitoring system) bertujuan menganalisis *Karbon Dioksida* dan *Sulfur Dioksida* yang terkandung dalam gas buang yang akan dibuang setelah pencucian. *Sensor CEMS* ini berada di bagian atas *scrubber tower*. Sistem alternatif yang umum digunakan salah satunya yaitu *VIMEX*, sistem *CEMS* yang bekerja dengan ekstraksi dan analisis gas sample.

Standar *CEMS* terdiri dari unit-unit utama berikut :

- 1) *Analyzer cabinet*
- 2) *Sample conditioning system*
- 3) *Heated sample probe*
- 4) Jalur sample yang dipanaskan (basah)
- 5) Jalur sample (kering)

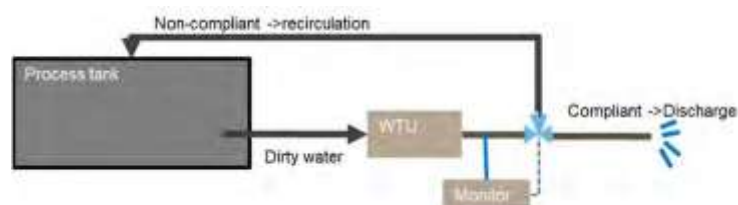


Gambar 2. 6 *Continuous Emission Monitoring System*

Sumber : <https://amarsolutions.gr/continuous-emission-monitoring-system-for-marine-exhaust-gas/>

g. *Water treatment unit*

Pada sistem *close loop* tidak memungkinkan menggunakan air yang sama, maka dari itu untuk menghindari penumpukan partikel berbahaya. Sebagian air dibuang dan diganti dengan air yang baru. Air dari *water treatment unit* dipantau, jika air bersih maka air akan dibuang ke laut atau di simpan ke dalam tangki penampung untuk dibuang nanti. Jika kondisi air masih belum bersih maka akan disirkulasi ulang ke tangki proses untuk pembersihan lebih lanjut.



Gambar 2. 7 *Water treatment unit*
Sumber : CMA CGM scrubber training

h. *Water monitoring unit*

Water monitoring unit berfungsi untuk mengukur kualitas air

masuk dan keluar. Ada 3 jenis parameter diantaranya *pH*, *turbidity* dan *PAH* (*Polycyclic Aromatic Hydrocarbons*). Umumnya *water monitoring unit* dilengkapi dengan cabinet pompa. Kabinet berisi pompa, saringan (*strainer*) dan unit penghilang gelembung (*de-bubbler unit*).



Gambar 2. 8 *Water monitoring unit*

Sumber : <https://www.manualslib.com/products/Green-Instruments-Maritime-G6100-13140463.html>

Di setiap *scrubber* memiliki satu *panel water pressure*. Panel ini selalu dilengkapi dua sensor untuk keamanan dan untuk fungsi proses *scrubber*.

6. Proses kerja *wet scrubber*

a. *Open loop scrubber system*

Pada sistem *open loop*, *scrubber* menggunakan *alkalinitas* alami dari air laut untuk menetralkan kandungan *sulfur* yang terkandung dalam bahan bakar. Air masuk ke ruang *scrubber* melalui katup masuk lalu gas buang mengalir melalui *scrubber* dari bagian bawah *scrubber tower*. Gas buang disemprot oleh air laut melalui *nozzle* yang ada di

dalam *scrubber*, Di dalam *scrubber tower* terjadi reaksi asam-basa, kandungan *Sulfur Dioxide* (SO_2) dan komponen asam lainnya yang ada pada gas buang akan dinetralkan menggunakan air laut yang bersifat basa, reaksi tersebut akan menghasilkan pembentukan *asam sulfat* (H_2SO_4). Setelah terbentuk asam sulfat, ia akan larut dalam air laut dan menyebabkan air menjadi asam. Tetapi sifat basa yang terkandung dalam air laut dapat menetralkan asam tersebut secara alami yang bisa mengurangi dampak terhadap lingkungan laut. Air laut yang sudah asam tersebut akan dibuang kelaut. Air yang dibuang kelaut harus mematuhi batas *pH* yang berlaku.

b. *Close loop scrubber system*

Scrubber close loop system ini menggunakan air laut yang ditambahkan *chemical* sebagai media dalam membersihkan gas buang. Proses *scrubbing* yaitu gas buang akan diarahkan melalui *scrubber tower* dimana gas buang tersebut akan bersentuhan dengan air yang bersirkulasi. Reaksi asam-basa, sama halnya pada sistem *open loop scrubber*, komponen asam yang termasuk *Sulfur Dioksida* (SO_2) yang terkandung dalam gas buang akan bereaksi dengan air yang memiliki sifat basa. Reaksi ini akan menghasilkan pembentukan *Asam Sulfat* (H_2SO_4).

Setelah proses *scrubbing*, air yang diasamkan akan dikumpulkan dan dipompa ke unit netralisasi. Di unit ini, zat alkali (biasanya menggunakan *Natrium Hidroksida*) ditambahkan kedalam air yang bersifat asam dari sisa gas buang. Zat alkali menetralkan *asam sulfat*

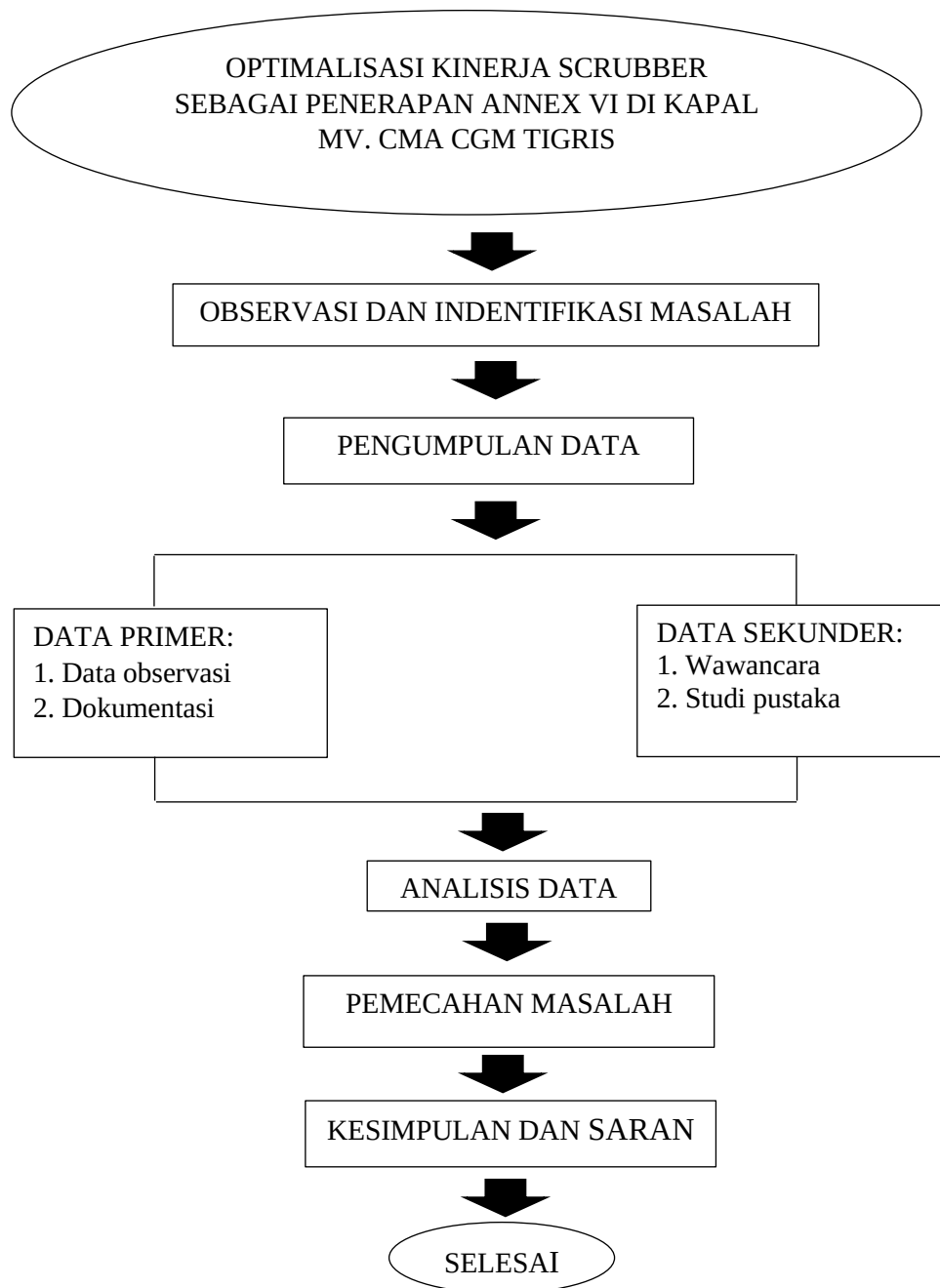
dan mengubahnya menjadi garam yang tidak berbahaya seperti *natruim sulfat* (Na_2SO_4). Air yang sudah dinetralkan kemudian disirkulasikan kembali ke menara *scrubber*. Pada sistem *close loop* ini memastikan bahwa tidak ada air yang bersifat asam dari sisa *scrubbing* yang di buang ke laut.

c. *Hybrid system*

Dalam sistem *hybrid* ini menggabungkan fitur antara *open loop system* dan *cloce loop system*. Sistem tersebut dapat beralih antara menggunakan *open loop system* atau *close loop system* sebagai media *scrubbing*, tergantung pada lokasi kapal dan peraturan lingkungan yang berlaku.

C. Kerangka Penelitian

Tabel 2. 2 Kerangka Penelitian



BAB III METODE PENELITIAN

A. Jenis Penelitian

Untuk mempermudah penyusunan karya tulis ilmiah ini penulis gunakan jenis penelitian kualitatif. Menurut Moleong (2010) bahwa dengan menggunakan penelitian kualitatif ini dapat memahami kelainan yang terjadi pada subjek penelitian, seperti persepsi dan tindakan, secara menyeluruh dan secara deskriptif dalam konteks alami data dan sumber data.

Menurut Bogdan dan Taylor, metode kualitatif merupakan prosedur penelitian yang menghasilkan data deskriptif berupa kata-kata tertulis atau lisan dari orang-orang dan perilaku yang diamati. Maka dari itu, sumber data berasal dari tindakan melalui wawancara semi terstruktur yang meliputi fotografi. Sumber data tertulis didapat melalui sumber antara lain buku, jurnal ilmiah, arsip, dokumen pribadi dan resmi.

B. Tempat dan Waktu Penelitian

1. Tempat Penelitian

Penulis melakukan penelitian saat praktek kerja laut (PRALA) diperusahaan pelayaran PT. Equinox Bahari Utama di MV. CMA CGM TIGRIS.

2. Waktu Penelitian

Waktu untuk melaksanakan penelitian adalah pada saat penulis melaksanakan praktek kerja laut (PRALA) di MV. CMA CGM TIGRIS dan melakukan penelitian pada saat kerja harian bersama masinis diatas kapal selama 12 bulan.

C. Sumber Data Penelitian

Jenis data yang digunakan untuk mendukung pembahasan karya ilmiah terapan berasal dari data dan sumber data dari:

1. Data Primer

Sumber data primer menurut John W.Creswell yaitu sumber data yang dikumpulkan langsung dari sumbernya oleh peneliti, sumber data primer dalam penelitian kualitatif dapat melalui wawancara, observasi, dokumen, dan materi audiovisual. Dalam hal ini, peneliti mengambil data primer melalui observasi atau mengamati serta mencatat informasi secara langsung di lokasi penelitian dan peneliti juga melakukan dokumentasi berupa foto terhadap permasalahan yang terjadi diatas kapal.

2. Data sekunder

Menurut Sugiono (2009), data sekunder adalah sebuah data yang memiliki suatu bentuk nyata, dari suatu penelitian yang dapat dijadikan acuan penelitian, dan data sekunder yang diperoleh dari kajian-kajian pustaka yang diambil dari buku. Dalam mendapatkan data-data yang valid pada karya ilmiah terapan ini penulis peroleh dari

- a. Dengan menanyakan langsung kepada masinis kapal sesuai dengan pembahasan tentang kurang optimalnya kinerja *scrubber*.
- b. Jurnal yang *relevan* dengan pembahasan skripsi tentang dampak emisi gas buang dan *scrubber*.
- c. *Manual book* yang menjadi acuan masinis diatas kapal dalam melakukan perawatan dan perbaikan.

D. Metode Pengumpulan Data

Metode yang digunakan untuk mengumpulkan data-data penulisan skripsi ini berdasarkan fakta dan informasi-informasi yang didapat pada saat peneliti melakukan praktek laut di kapal selama satu tahun. Data-data tersebut diperoleh dari beberapa metode pengumpulan data yang dilakukan peneliti sebagai berikut:

1. Observasi

Merupakan proses pengumpulan informasi terbuka secara langsung dengan mengamati orang dan tempat di lokasi penelitian. John W. Creswell (2018). Pengumpulan data dilakukan di kapal CMA CGM TIGRIS saat peneliti melakukan praktek laut.

2. Wawancara

Wawancara merupakan teknik yang melibatkan interaksi langsung antara peneliti (pewawancara) dengan partisipan peneliti (narasumber) untuk memperoleh informasi yang relevan dengan tujuan penelitian. Wawancara dilakukan dengan masinis-masinis yang ada di atas kapal.

3. Dokumentasi

Dokumentasi dapat mengacu pada berbagai bentuk data tertulis, visual, digital, dan fisik yang relevan dengan studi. Meriam, S. B., & Tisdell, E. J. (2016). Data yang diambil yaitu berupa foto yang di ambil saat praktik laut beserta *manual book* yang masih menjadi acuan masinis dalam melaksanakan perawatan dan perbaikan.

4. Teknik Analisis Data

Dalam penelitian kualitatif teknik analisis data merupakan kegiatan setelah data dari seluruh pengamatan atau sumber data lain terkumpul. Dalam penelitian ini penulis menganalisa data berupa kata-kata, kalimat yang didapat dari wawancara, catatan lapangan dan dokumen yang dapat mendukung penelitian.