

**ECO FRIENDLY VESSEL**



# **ECO FRIENDLY VESSEL**

**Dr. Betty Ariani, S.T.,M.T**  
**Ponidi, S.T.,M.T**



## **Eco Friendly Vessel**

### **Penulis:**

Dr. Betty Ariani, S.T.,M.T  
Ponidi, S.T.,M.T

### **Editor:**

Dr. Hayat

Tata Letak : Ahmad Sofi  
Cover : Aliyul Murtadlo

copyright © 2023

### **Penerbit**



Unisma Press  
Gedung Umar bin Khattab Kantor Pusat LT. 3,  
Universitas Islam Malang  
Jl. Mayjen Haryono 193 Malang, 65144  
Telp. 0341-551932 ext 232  
unismapress@unisma.ac.id

Cetakan Pertama : Desember 2023  
Ukuran : 15,5 cm x 23 cm  
Jumlah Halaman : x + 126 halaman

**Anggota IKAPI No.303/JTI/2021**

**ISBN: 978-623-5498-38-6, Versi Cetak**

**978-623-5498-39-3 (PDF), Versi Elektronik**

Hak cipta dilindungi oleh Undang-undang Dilarang memperbanyak sebagian atau seluruh isi buku tanpa izin tertulis dari Penerbit

# PRAKATA

Bismillah...

Alhamdulillah, dengan mengucapkan syukur kepada Allah SWT atas segala berkah, rahmat dan kemudahan yang diberikanNya sehingga penulis dapat menyelesaikan buku ajar ini. Buku ajar *Eco Friendly Vessel* ini didedikasikan bagi perkembangan ilmu pengetahuan terutama bidang perkapalan sekaligus sebagai bentuk support system bagi segala upaya terhadap program zero *emission* di Indonesia pada khususnya dan dunia pada umumnya. *Eco Friendly Vessel* menjadi salah satu implementasi intervensi teknologi hijau di bidang perkapalan yang bermisi khusus dalam efisiensi energi dan penurunan emisi yang dihasilkan dari industry pelayaran perkapalan. Dengan memasukkannya sebagai salah satu mata kuliah dalam kurikulum diharapkan dapat memberikan pandangan kepada mahasiswa sejak dini terkait pentingnya teknologi hijau mulai dari tahap desain, produksi hingga operasionalnya.

Dalam proses pengerjaan buku ajar ini, penulis mendapatkan support pendanaan penuh dari Diktilitbang PP Muhammadiyah melalui skema hibah RisetMu batch VI tahun 2023. Penulis mengucapkan terimakasih yang sebesar – besarnya kepada semua pihak yang telah membantu secara

langsung maupun tidak langsung pada proses pengerjaannya hingga tuntas saat ini.

Penulis menyadari, buku ajar *Eco Friendly Vessel* ini masih jauh dari kesempurnaan, oleh karenanya segala kritik dan saran yang membangun sangat diharapkan. Semoga buku ajar ini bermanfaat bagi mahasiswa dan khalayak pembaca pada umumnya.

Penulis

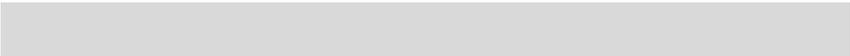
# DAFTAR ISI

Prakata.....	v
Daftar Isi.....	vii
<b>BAB 1 ECO FRIENDLY VESSEL &amp; GREEN TECHNOLOGY ON SHIP .....</b>	<b>1</b>
A. Tujuan Pembelajaran.....	1
B. Pendahuluan.....	1
C. Karakteristik EcoFriendly Vessel .....	3
D. <b>Decarbonisasi</b> , apa dan mengapa?.....	11
E. <b>Perubahan Iklim</b> dan Teknologi Hijau .....	13
F. Rangkuman.....	18
G. Evaluasi / Soal Latihan.....	20
<b>BAB 2 SISTEM TANPA BALLAST .....</b>	<b>21</b>
A. Tujuan Pembelajaran.....	21
B. Pendahuluan .....	21
C. Pengantar Manajemen Sistem Ballast di Kapal.....	23
D. Metode dalam <i>Ballast Water Management</i> .....	28
E. Konsep Desain Rancangan Kapal Free Ballast .....	34
F. Rangkuman .....	39
G. Evaluasi / Soal Latihan.....	41
<b>BAB 3 BAHAN BAKAR NATURAL GAS DAN BIOFUEL UNTUK KAPAL .....</b>	<b>43</b>
A. Tujuan Pembelajaran.....	43
B. Pendahuluan .....	43
C. Bahan Bakar Natural Gas (NG).....	45

D. Bahan Bakar Hayati ( <i>Biofuel</i> ).....	56
E. Tantangan dan Hambatan aplikasi NG & Biofuel..	64
F. Rangkuman .....	65
G. Evaluasi/soal .....	67
BAB 4 SISTEM SCRUBBER SULFUR .....	69
A. Tujuan Pembelajaran .....	69
B. Pendahuluan .....	69
C. Teknologi & Sistem Scrubber Sulfur .....	70
D. Pro Kontra Sistem Scrubber Sulfur .....	80
E. Rangkuman .....	82
F. Evaluasi / Soal Latihan .....	84
BAB 5 TEKNOLOGI SISTEM PROPULSI BERBANTU ANGIN	85
A. Tujuan Pembelajaran .....	85
B. Pendahuluan .....	85
C. Kategori Penggerak Berbasis Angin .....	87
D. Tantangan & Prospek Pengembangan WASP .....	95
E. Rangkuman .....	96
F. Evaluasi / Soal Latihan .....	98
BAB 6 CAT DAN PELAPIS LAMBUNG KAPAL.....	99
A. Tujuan Pembelajaran .....	99
B. Pendahuluan .....	99
C. Fouling dan Dampaknya .....	101
D. Pengenalan Teknologi Coating & Pelapisan pada Kapal .....	105
E. Efisiensi Energi dan Teknik Coating .....	110
F. Rangkuman .....	111
G. Evaluasi / Soal Latihan .....	113
Daftar Pustaka.....	115
Glosarium.....	120
Biografi Penulis .....	125



**BUKU INI MENDAPATKAN PENDANAAN DARI  
DIKTILITBANG PP MUHAMMADIYAH MELALUI  
HIBAH RISETMU BATCH VI**





# **BAB 1**

## ***ECO FRIENDLY VESSEL & GREEN TECHNOLOGY ON SHIP***

### **A. TUJUAN PEMBELAJARAN**

Mahasiswa dapat memahami tentang :

1. Mengetahui karakteristik Eco Friendly Vessel, ciri dan parameternya
2. Memahami isu decarbonisasi dan perubahan iklim serta keterkaitannya dengan eco friendly vessel
3. Memahami pentingnya penerapan teknologi hijau pada bidang perkapalan dalam mewujudkan efisiensi energi dan zero emisi bidang maritim

### **B. PENDAHULUAN**

Perubahan kehidupan manusia dengan kemajuan teknologi yang dinamis menyebabkan banyak hal timbul baik yang berdampak positif maupun negative. Ada banyak hal yang membutuhkan penyesuaian, adaptasi, response hingga inovasi untuk menghadapi tantangan yang berpengaruh pada kelangsungan kehidupan manusia secara umum.

Data di lapangan menunjukkan bahwa industry perkapalan mengkonsumsi kisaran 300 juta ton bahan bakar setiap tahun dan melepaskan lebih kurang 3 persennya dalam bentuk emisi karbon ke atmosfer. Menurut [1] hingga saat ini transportasi laut masih dianggap sebagai moda transportasi yang paling kecil tingkat konsumsi energi fosilnya apabila dibandingkan dengan transportasi udara maupun udara, dengan emisi CO<sub>2</sub>

akumulasi dari pelayaran internasional substansial pada kisaran 2,2 % dari total emisi global. Tentu saja, hal dan kondisi ini sangatlah dinamis dengan kemungkinan peningkatan pertumbuhan dalam perdagangan internasional dengan tingkat dekarbonisasi yang relative lebih lambat dibandingkan dengan transportasi darat.

Bagaimanapun juga fakta bahwasanya industri perkapalan merupakan tulang punggung perdagangan global dan menjadi penghubung antara masyarakat di pulau – pulau tetap menjadi sebuah potensi tak terbantahkan tentang kontribusi emisi dan konsumsi energi yang terus tumbuh secara global.

Secara historical sumber energi untuk penggerak kapal terus mengalami perubahan secara signifikan selama beberapa ratus tahun sejak awal transportasi ini digagas. Dari awal non mekanis menggunakan layar, tenaga manusia (dayung), pemanfaatan batubara, heavy fuel oil (HFO) dan Marine Diesel Oil (MDO) hingga keduanya menjadi bahan bakar mayoritas yang mendominasi sumber energi perkapalan hingga saat ini. Menurut perkiraan [2] diperkirakan akan terjadi peningkatan total konsumsi bahan bakar hingga 3 kali lipat pada tahun 2050 jika tidak ada program pengendalian terhadap penggunaan bahan bakar fosil. Perlu diperhatikan juga bahwasanya peningkatan konsumsi bahan bakar linier dengan peningkatan emisi yang dihasilkan.

Industri perkapalan bersifat dinamis dan responsive terhadap perubahan yang ada untuk mempertahankan eksistensi industry dan menunjang peningkatan permintaan jasa pelayaran barang dan manusia. Sehingga diambil langkah-langkah cepat untuk mengurangi jejak karbon yang sekaligus menjawab tantangan keketatan regulasi dan standar yang dibuat oleh IMO. Inovasi terkait pengembangan teknologi

hijau bidang perkapalan menjadi langkah inovatif yang diambil untuk menjawab tantangan efisiensi energi dan minimalisasi emisi dalam industry perkapalan.

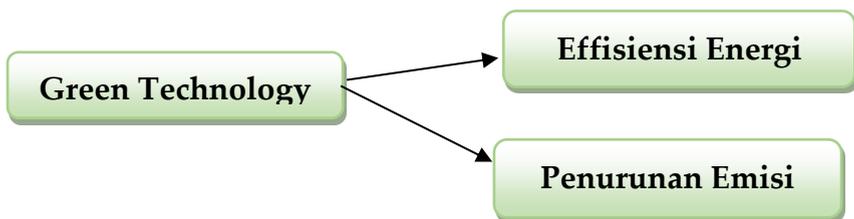
Tantangan terbesar dan utama bagi industry adalah bagaimana transfer teknologi dari laboratorium ke kapal, selain perubahan pola pikir yang dapat diintervensi dengan penerapan regulasi yang mengikat. Pada bangunan kapal baru tentu tidak sesulit saat harus melakukan aplikasi teknologi hijau pada kapal – kapal lama yang banyak memerlukan penyesuaian – penyesuaian. Menurut [3] sebagai tujuan jangka pendek untuk sector kelautan dan perkapalan adalah peningkatan efisiensi energi kapal sekitar 30%, sedangkan target jangka menengah hingga panjang dapat ditingkatkan hingga 60% dengan upaya bersama antara semua pelaku dalam industry pelayaran dan perkapalan tentunya.

### C. KARAKTERISTIK ECO FRIENDLY VESSEL

Apakah yang tergambar dalam pemikiran anda saat membaca istilah *Eco Friendly Vessel*? Apabila kita ambil terjemahan kata per kata maka dapat kita uraikan bahwa *eco friendly* memiliki arti ramah lingkungan, yaitu bagaimana sebuah teknologi yang diciptakan untuk mempermudah aktivitas manusia dilakukan tanpa menimbulkan kerusakan bagi lingkungan sekitar baik dalam jangka pendek maupun jangka panjang. Sedangkan *Vessel* memiliki arti bangunan apung (kapal) sebagai transportasi pemindahan manusia dan barang dari satu tempat ke tempat lain melalui wahana air. Sehingga apabila kita gabungkan dalam sebuah definisi lengkap, *Eco Friendly Vessel* merupakan bangunan apung (kapal) yang dalam aplikasi teknologi operasionalnya tidak menimbulkan efek negative maupun kerusakan lingkungan.

*Eco Friendly Vessel* menerapkan implementasi teknologi hijau sejak awal kapal tersebut didesain, dan melakukan operasional.

Teknologi hijau atau *Green Technology* merupakan salah satu konsep teknologi berwawasan lingkungan yang mengedepankan kepada efisiensi energi, dan penurunan emisi demi keberlangsungan kehidupan bumi yang lebih baik. Seperti yang disampaikan oleh [4][5] bahwa saat ini sebagian besar industry maritime tengah berfokus pada upaya peningkatan efisiensi energi, penggunaan sumber energi alternative dan pengurangan terhadap emisi yang dihasilkan dalam operasional. Bahkan sebagian besar upaya langkah efisiensi energi dianggap IMO sebagai upaya efisiensi biaya operasional.



Tinjauan terhadap beberapa teknologi yang berperan dalam peningkatan efisiensi energi dalam pelayaran antara lain adalah penggunaan energi terbarukan seperti penggunaan sumber daya tenaga surya dan angin, bahan bakar rendah karbon seperti gas alam cair atau biofuel, maupun penggunaan teknologi pengurangan emisi dengan penerapan advance propulsi, resirkulasi gas buang, dan lain - lain [5][6]

Berikut ini merupakan karakteristik yang melekat pada eco friendly vessel apabila dibedakan menjadi 3 parameter acuan yaitu :

## 1. Teknologi

### a. Penggunaan material ringan (*light materials*)

Penggunaan material yang lebih ringan berpotensi untuk dapat meningkatkan efisiensi energi pada kisaran 0 – 10%[6] [7]. Beberapa material baja berat yang dipergunakan kapal dapat digantikan dengan alumunium maupun sandwich plate system. Dalam studi yang dilakukan oleh [8] estimasi konservatif dilaporkan penghematan energi tidak lebih dari 2% saja. Akan tetapi memang jumlah pengurangan berat kapal tergantung pada jumlah baja yang dapat digantikan sehingga hasilnya sangat variatif

### b. Desain yang ramping (*slender design*)

Secara teoritis, desain lambung yang lebih ramping memiliki beberapa keuntungan seperti pengurangan kebutuhan propulsi kapal secara keseluruhan, tingkat konsumsi bahan bakar yang lebih rendah. Dalam riset yang dilakukan oleh [9] desain kapal yang ramping dengan koefisien blok yang lebih kecil memiliki tingkat konsumsi bahan bakar yang lebih rendah mulai dari 10 – 15% pada kecepatan rendah hingga 25% per mill laut pada 15 – 16 knot. Hal ini menjadikan optimalisasi panjang kapal terhadap rasio lambung menjadi satu hal yang penting. Akan tetapi perlu dipertimbangkan bahwa jika kapal terlalu panjang meningkatkan permukaan basah dan hambatan gesek, selain itu membutuhkan penggunaan lebih banyak baja sehingga harga bangunan kapal baru menjadi lebih tinggi. Saat ini yang dilakukan sebagai optimalisasi penambahan kapasitas kapal adalah menciptakan kapal yang ramping tanpa menambah

panjang kapal dengan operasional pada kecepatan rendah.

### c. Minimalisasi gesekan (*less friction*)

Memperkecil hambatan merupakan salah satu cara yang dapat ditempuh untuk meningkatkan efisiensi energi. Optimalisasi badan kapal merupakan salah satu tindakan yang paling umum bagi fungsi hidrodinamik, salah satunya adalah dengan *bulbous bow* yang mampu mereduksi gelombang yang dihasilkan lambung penyebab resistansi atau drag. Dalam riset yang dilakukan oleh [10] penerapan *bulbous bow* rata - rata antara 32% dan 47% telah dilakukan pada armada - armada kapal besar karena memang tidak dapat diimplementasikan pada kapal kecil. Data yang didapatkan dari riset yang dilakukan oleh [11] bahwa instalasi *bulbous bow* dapat menghasilkan 3-7% penghematan bahan bakar pada kapal tipe kargo besar. Langkah teknis lain yang dapat digunakan adalah melalui perbaikan permukaan lambung, dimana permukaan dibuat lebih halus, keras sehingga mampu mengurangi gesekan 50-80%. Pembersihan lambung, dan pelapisan lambung juga dapat ditempuh sebagai cara mengurangi gesekan. Tentang bagaimana coating atau pelapisan pada permukaan lambung ini mampu meningkatkan efisiensi energi dibahas pada bab yang lain. Sedangkan pelumasan udara seperti halnya telah diungkapkan pada riset yang dilakukan oleh [11] penggunaan pelumasan udara ini diperkirakan memiliki potensi pengurangan konsumsi bahan bakar sekitar 3%.

#### **d. Pemanfaatan buangan panas (*waste heat recovery*)**

*Waste heat recovery* memiliki potensi dimanfaatkan sebagai sumber energi listrik dan dapat dipergunakan sebagai pemenuhan kebutuhan on board. Dalam penelitian yang dilakukan oleh [8] [12] didapatkan potensi penghematan dalam kisaran 5 dan 10% serta 0 – 12% tergantung pada jenis kapalnya. Sedangkan [11] menyatakan pengurangan maksimum 4% dari konsumsi bahan bakar mesin utama. Dengan catatan dilakukan peningkatan efisiensi mesin dan penurunan kecepatan sehingga lebih sedikit panas buang.

## **2. Operasional**

### **a. Penggunaan kecepatan rendah (*lower speed*)**

Kecepatan kapal yang diatur lebih rendah berdampak pada pengurangan tingkat konsumsi bahan bakar dan emisi. Dalam riset yang dilakukan oleh [13] pengurangan kecepatan 10% mampu mereduksi pemakaian energi selama pelayaran hingga 19%. Pada dasarnya secara praktis dapat dinyatakan bahwa output engine merupakan fungsi ketiga dari kecepatan sehingga apabila terjadi pengurangan kecepatan sebesar 10% dapat diterjemahkan menjadi pengurangan tenaga mesin sebesar lebih kurang 27% dengan konsekuensi dibutuhkan waktu yang lebih lama untuk mencapai target pelayaran pada kecepatan yang lebih rendah, bahkan menurut [14] dengan asumsi kebutuhan volume transportasi total konstan maka ketika terjadi pengurangan kecepatan kapal – kapal akan berdampak pada tambahan armada untuk menjaga kapasitas transportasi tahunan. Selain itu dampak yang

ditimbulkan dari metode ini adalah terganggunya rantai pasok sehingga kemungkinan peralihan moda transportasi tidak terhindarkan.

Terdapat beberapa cara untuk mencapai kecepatan kapal yang lebih rendah yaitu :

- 1) Intervensi pada operator untuk memperlambat kapal dengan menggunakan perjanjian waktu tunggu yang disepakati terutama pada saat harga bahan bakar tinggi dan tarif angkutan rendah.
- 2) Pengaturan kecepatan secara global baik melalui otoritas pelabuhan terkait persyaratan masuk pelabuhan, peraturan syarat kecepatan pelayaran pada perairan pesisir maupun bilateral dua pelabuhan di dua negara atau lebih.
- 3) Pengaturan kecepatan dapat juga dimaknai secara rata - rata bukan absolut, dimana pada rute - rute tertentu tidak diperbolehkan melampaui batasan kecepatan tertentu.

### **b. Optimalisasi ukuran kapal (ship size)**

Kapal dengan ukuran besar dinyatakan memancarkan lebih sedikit emisi CO<sub>2</sub> per ton kilomaternya dengan catatan kapasitasnya termanfaatkan maksimal. Meskipun hubungan antara ukuran kapal dan emisi tidaklah linier akan tetapi dalam beberapa kajian didapatkan hubungan antara pengurangan emisi marjinal seiring dengan bertambahnya ukuran kapal. Dinyatakan bahwa peningkatan ukuran kapal rata - rata dapat menurunkan emisi. Dalam riset yang dilakukan oleh [9] dikatakan bahwa peningkatan ukuran bulk carrier dari 26000 DWT menjadi 46000 DWT terdeteksi pengurangan emisi

sebesar 33%, sedangkan peningkatan 46000 DWT menjadi 72000 DWT terjadi pengurangan 17%. Yang menjadi catatan serius adalah peningkatan ukuran kapal hendaknya diimbangi dengan pemaksimalan kapasitas angkut, karena pada faktanya masih banyak ditemukan hanya separo kapasitas kargo yang diangkut. Menurut asumsi efisiensi energi dan emisi justru dapat mudah tercapai dengan penggunaan kapal kecil yang mampu mengakses lebih banyak pelabuhan dan jenis kargo, serta mampu memenuhi seluruh ruang kargonya sesuai kapasitas. Selain itu ukuran kapal menjadi pembatasan pada banyak pelabuhan dan juga kenaikan biaya yang signifikan.

**c. Hubungan kapal dan pelabuhan (*ship - port interface*)**

Optimalisasi terkait hubungan kapal dan pelabuhan salah satunya adalah terkait waktu tunggu kapal. Perencanaan dan penjadwalan kedatangan kapal yang baik diharapkan dapat mempersingkat waktu tunggu sehingga didapatkan penghematan bahan bakar kapal yang secara linier berpengaruh pada penurunan nilai emisi kapal. Tentu saja optimalisasi penjadwalan yang dilakukan ini melibatkan banyak pihak seperti operator terminal, otoritas pelabuhan dan penyedia layanan pelabuhan. Digitalisasi arus kargo dan penjadwalan yang tersistematis memungkinkan kelancaran dan komunikasi terpadu sehingga dapat mengurangi waktu tunggu kapal.

### 3. Sumber Energi Alternatif

Dengan segala keterbatasan dan dampak negative yang ditimbulkan bahan bakar fosil, bahan bakar alternative untuk kapal menjadi satu opsi harapan yang menjanjikan. Selain menjadi alternative pengganti bagi ketersediaan bahan bakar fosil yang semakin menipis, bahan bakar alternative biasanya memiliki emisi kapal yang lebih rendah atau nol apabila diaplikasikan pada propulsi kapal. Terkait dengan ulasan masing – masing bahan bakar alternative ini akan dibahas pada bab berikutnya. Berikut data rangkuman potensi pengurangan emisi carbon terhadap bahan bakar alternative yang didapatkan dari beberapa sumber.

Tabel 1.1 Potensi pengurangan CO<sub>2</sub> pada bahan bakar alternatif

<b>Nama bahan Bakar</b>	<b>Potensi Pengurangan CO<sub>2</sub></b>
Biofuel	25 – 100%
LNG	0 – 20%
Hidrogen	0 – 100%
Ammonia	0 – 100%
Fuel cell	2 – 20%
Kelistrikan	0 – 100%
Angin	1 – 32%
Matahari	0 – 12%
Nuklir	0 – 100%

## **D. DECARBONISASI, APA DAN MENGAPA?**

Istilah dekarbonisasi menjadi populer saat ini sejak awal dicetuskan dalam perjanjian Paris 2015. Dekarbonisasi adalah segala upaya dan proses untuk menghilangkan dan atau mengurangi emisi karbon hasil aktivitas manusia sehingga mencapai nol emisi atau zero emission. Adapun istilah net zero emission berarti terjadinya keseimbangan antara jumlah emisi yang dikeluarkan dari proses atau aktivitas terhadap penyerapannya sehingga tidak terlepas menjadi GHG ke atmosfer.

Bidang transportasi dan industri menjadi penyumbang emisi karbon terbesar, termasuk diantaranya pada bidang pelayaran. Hal ini kemudian menjadi sesuatu yang penting mewujudkan dekarbonisasi pelayaran di Indonesia. Letak Indonesia yang strategis pada jalur perdagangan dunia menjadikan 40% jalur pelayaran internasional melewati perairan Indonesia. Hal ini selain menimbulkan pencemaran air yang tinggi juga menjadikan emisi karbon cukup tinggi. Dari data yang didapatkan dari kementerian perhubungan terdapat sekitar 1241 pelabuhan di Indonesia yang aktif beroperasi.

Terdapat beberapa strategi yang dilakukan untuk mengurangi emisi GHG pada pelayaran internasional yaitu:

1. Sejak 1 Januari 2013 semua kapal baru diatas 400 GT wajib didesain dengan energy efficiency design index EEDI dibawah patokan standar.
2. Semua kapal wajib menerapkan SEEMP atau ship energy efficiency management dan EEOI energy efficiency operational indicator sebagai alat monitoring.

Sedangkan di Indonesia sendiri sebagai bentuk respon positif terhadap upaya decarbonisasi dan mencapai zero emisi 2050 antara lain sebagai berikut:

1. Strategi pelayaran dengan menggunakan bahan bakar rendah karbon berupa campuran ammonia, hydrogen dan biofuels dimulai pada tahun 2036.
2. Penggunaan SNBP solar cell
3. Melakukan efisiensi manajemen operasional pelabuhan yaitu dengan fasilitas *Onshore Power Supply* (di Tanjung Priok, Tanjung Perak, Belawan, Makassar, Balikpapan, Batam, Dumai, Cilacap, Banjarmasin, Kumai, Sampit, Benoa, Lembar, dan Kupang (21 Pelabuhan)
4. Modernisasi kapal dengan penggunaan bahan bakar nabati B30
5. Konservasi energi di kapal dan pelabuhan  
Efisiensi Pengelolaan Operasional Pelabuhan, oleh:
  - Sel surya AtoN
  - Elektrifikasi Peralatan Bongkar Muat Pelabuhan
  - Penggunaan sel surya dan lampu LED untuk fasilitas pelabuhan
6. Pengembangan ecoport atau konsep pelabuhan hijau dengan aplikasi penggunaan EBT seperti PLTS ataupun LPJU solarcell.
7. Melakukan kerjasama dengan negara lain seperti *Bluesolution* yang mendapat dukungan dari IMO *Technical Cooperation Program*, yang bertujuan dalam pengurangan emisi GRK melalui penggunaan teknologi
8. Menerapkan regulasi tentang *Green Ship Strategies*, yang meliputi:
  - Kewajiban penggunaan bahan bakar rendah sulfur maksimal 0,50% m/m,

- Kewajiban penggunaan scrubber untuk kapal dan menerapkan bahan bakar efisiensi energi mengurangi emisi karbon dioksida,
  - Peremajaan kapal mulai dari kapal milik negara,
  - Penggunaan alat bantu navigasi yang ramah lingkungan
  - Penggunaan energi matahari, dan
  - Kewajiban melaporkan konsumsi bahan bakar kapal untuk semua kapal berbendera Indonesia.
9. Rute Pendek dan Aman (Short Sea Shipping)
  10. Penerapan Inaportnet dalam manajemen operasi kapal
  11. Meningkatkan pemantauan Lingkungan Laut
  12. Jasa Telekomunikasi Pelayaran (Pemberian Informasi Cuaca) melalui *Vessel Traffic Service (VTS)* dan *Ship Reporting System (SRS)*
  13. Penerapan fasilitas listrik darat atau *On Shore Power Supply (OPS)*

## **E. PERUBAHAN IKLIM DAN TEKNOLOGI HIJAU**

Membicarakan perubahan iklim erat kaitannya dengan efek rumah kaca. Beberapa gas yang dihasilkan dari proses produksi maupun operasional di bumi telah berperan seperti halnya kaca pada rumah kaca yang memperangkap panas matahari dan mencegahnya ke luar sehingga menyebabkan peningkatan panas global di bumi. Data yang dilansir pada periode tahun 2011 – 2020 tercatat merupakan decade terburuk dengan peningkatan suhu rata-rata 1,1°C. Peningkatan suhu dibandingkan dengan masa pra industry tentunya berakibat negative bagi kehidupan manusia dan lingkungannya. Pengaruh buruk terhadap kesehatan, lingkungan dan potensi peningkatan bencana hidrometeorologi yang

mengancam kehidupan manusia. Kesadaran perlu dipupuk pada seluruh masyarakat internasional untuk turut berjibaku dalam menjaga pemanasan jauh dibawah 2°C dan terus berupaya melakukan pembatasan diangka 1,5°C.

Diketahui beberapa gas yang dapat meningkatkan pemanasan global antara lain Karbondioksida (CO<sub>2</sub>), metana (CH<sub>4</sub>), Oksida Nitrat (NO) dan gas berfluorinasi. Beberapa sumber aktifitas diketahui menjadi sumber peningkatan jumlah gas tersebut yaitu transportasi dan industry yang menggunakan bahan bakar fosil, penebangan hutan, serta aktifitas peternakan. Selain itu terdapat aktivitas alami yang dapat meningkatkan jumlah gas seperti perubahan radiasi matahari, dan aktivitas vulkanik.

Karbondioksida (CO<sub>2</sub>) merupakan penyumbang terbesar penyebab global warming. Aktifitas pembakaran batubara, minyak bumi dan bahan bakar fosil lainnya terus meningkat hingga pada tahun 2020 konsentrasinya naik hingga 48% diatas tingkat pra industry. Pepohonan yang seharusnya menjadi penyerap karbondioksida mengalami banyak penebangan sebagai bahan baku industry maupun pemanfaatan lahan besar – besaran menjadikan konsentrasi CO<sub>2</sub> kian naik.

Metana (CH<sub>4</sub>) merupakan gas rumah kaca yang memiliki tingkat efek yang lebih kuat dibandingkan CO<sub>2</sub>. Banyak dihasilkan dari aktivitas peternakan, kotoran kambing, domba, dan sapi menghasilkan metana dalam jumlah besar. Selain itu metana juga dihasilkan dari aktifitas pembakaran tidak sempurna oleh mesin yang berbahan bakar gas, berupa methane slip. Metana memiliki umur atmosfer yang lebih pendek dibandingkan karbondioksida.

Sedangkan polutan gas non-rumah kaca, termasuk aerosol dan jenis jelaga, memiliki efek pemanasan dan pendinginan yang berbeda. Dimana selain menjadi penyebab kenaikan suhu bumi juga terkait dengan dan turunnya kualitas udara yang merugikan pernafasan dan kesehatan pada umumnya.

Gas fluorinasi merupakan emisi kuat dengan efek pemanasan 23000 kali karbondioksida. Gas ini dihasilkan dari peralatan dan produk yang banyak menggunakan jenis gas fluor atau dikenal dengan CFC. Penggunaan air conditioner, refrigerator dan alat pendingin sejenis yang menggunakan CFC menjadi penyumbang kejahatan merusak lapisan ozon.



Gambar 1.1 Sumber Pemanasan Global

## Teknologi Hijau Perkapalan

Sebagai salah satu industri yang menjadi penyumbang emisi dan contributor pemanasan global, industri maritime dan perkapalan memanfaatkan terobosan teknologi untuk memastikan kapal-kapal baru mereka berkontribusi serendah

mungkin terhadap polusi. Selain itu juga memastikan kapal – kapal lama yang masih layak jalan untuk berkontribusi dalam efisiensi energi dan penurunan emisi. Teknologi baru tersebut dikenal sebagai teknologi hijau atau *Green ship*, dimana melakukan prosedur ramah lingkungan sejak dari proses desain awal kapal, operasional hingga pengaturan rutenya. Titik pokok adalah pada kendali aturan berpihak pada lingkungan dan minimalisasi jejak karbon.

Berikut merupakan jenis – jenis teknologi hijau terapan pada kapal yang diterangkan lebih detail pada bahasan bab setelah ini.

1. *Non Ballast Tank*, dimana kapal tidak mempergunakan tangki ballast sebagai pemberat untuk mengurangi transit sedimen dan mikroorganisme dari satu wilayah ke wilayah lain.
2. LNG sebagai bahan bakar penggerak utama maupun bantu, diketahui bahwa bahan bakar ini bersifat lebih bersih, mampu mengurangi polusi udara, dan dengan model dual fuel bersama bahan bakar diesel mampu menghemat dan mengefisiensikan kinerja mesin
3. *Sulphur Scrubber*, sistem ini dipergunakan sebagai alternative pengurangan emisi sulfur pada penggunaan bahan bakar fosil.
4. Sistem Kemudi dan Baling-Baling Canggih (*advanced rudder & Propeller*), pengembangan sistem ini selain dapat mengurangi tingkat konsumsi bahan bakar juga dapat meningkatkan kecepatan kapal. Perancangan yang baik dari sistem kemudi dan propeller mampu menghasilkan lebih sedikit emisi karena efisiensi bahan bakar yang didapatkannya.

5. Nosel Kecepatan: sistem ini dikatakan mampu meningkatkan efisiensi propulsi kapal dan mampu menghemat daya. Biasa diaplikasikan pada kapal kecil maupun kapal tunda (tug boat).
6. Cat Lambung Kapal (*hull painting*), penerapan perlindungan dengan cat yang tepat mampu menghasilkan pengurangan hambatan kapal sehingga dapat melakukan penghematan bahan bakar yang mampu menurunkan emisi yang dihasilkan. Penghematan yang dilakukan sebesar 3 – 8%
7. *Waste Heat Recovery System*, panas yang dihasilkan dari gas buang dapat dimanfaatkan sebagai pemanas area kargo, akomodasi dan bahan bakar minyak. Meskipun termasuk teknologi lama, sistem ini cukup efektif karena dapat menurunkan emisi karena adanya reduksi tingkat konsumsi hingga 14%.
8. Resirkulasi Gas Buang (*exhaust gases recirculation*), penurunan suhu ruang bakar dilakukan dengan cara mensirkulasi ulang gas buang. Dengan sistem ini NO<sub>x</sub> dapat berkurang hingga 80%.
9. Air dalam bahan bakar, sistem ini menambahkan air dalam bahan bakar sesaat sebelum diinjeksi ke ruang bakar, suhu menjadi turun sehingga mampu mengurangi No<sub>x</sub> sebanyak 30 – 35%
10. Sistem pompa dan air pendingin yang Ditingkatkan, Sistem air pendingin pipa, pendingin, dan pompa yang dioptimalkan dapat menurunkan resistensi terhadap aliran. Hal ini akan menyebabkan penghematan hingga 20% daya listrik kapal dan konsumsi bahan bakar hingga 1,5%.
11. Sistem propulsi layar dan layang-layang, Sistem propulsi layar dan layang-layang bila digunakan bersama dengan

sistem propulsi konvensional dapat mengurangi emisi bahan bakar serta emisi NO<sub>x</sub>, SO<sub>x</sub> dan CO<sub>2</sub> sebesar 35%.

12. Penggerak bahan bakar dan sel surya, Penggerak sel bahan bakar memanfaatkan tenaga dari kombinasi sel bahan bakar, sel surya, dan sistem baterai. Hal ini sangat membantu dalam pengurangan emisi gas rumah kaca.
13. *Sandwich Plate System* (SPS), teknologi ini berprinsip pada pengurangan penggunaan baja sehingga struktur lebih ringan dan tidak rentan korosi. Dengan proses pengomposan dua pelat logam dengan inti elastomer poliuretan, fitur SPS ini juga ramah lingkungan karena mudah di daur ulang.

## F. RANGKUMAN

1. Inovasi terkait pengembangan teknologi hijau bidang perkapalan menjadi langkah inovatif yang diambil untuk menjawab tantangan efisiensi energi dan minimalisasi emisi dalam industry perkapalan.
2. *Eco Friendly Vessel* merupakan bangunan apung (kapal) yang dalam aplikasi teknologi operasionalnya tidak menimbulkan efek negative maupun kerusakan lingkungan
3. Karakteristik yang melekat pada *eco friendly vessel* apabila dibedakan menjadi 3 parameter acuan yaitu teknologi, operasional dan sumber energi alternative.
4. Parameter teknologi *eco friendly vessel* antara lain penggunaan material yang ringan, desain lambung yang ramping, minimalisasi gesekan dan pemanfaatan gas buang.

5. Parameter operasional *eco friendly vessel* antara lain penggunaan kecepatan rendah, optimalisasi ukuran kapal dan hubungan kapal – pelabuhan
6. Parameter sumber energi alternative *eco friendly vessel* antara lain penggunaan sumber energi non fosil ataupun sumber energi bersih lainnya seperti gas.
7. Dekarbonisasi adalah segala upaya dan proses untuk menghilangkan dan atau mengurangi emisi karbon hasil aktivitas manusia sehingga mencapai nol emisi atau *zero emission*
8. Teknologi baru tersebut dikenal sebagai teknologi hijau atau *Green ship*, dimana melakukan prosedur ramah lingkungan sejak dari proses desain awal kapal, operasional hingga pengaturan rutenya
9. Teknologi hijau perkapalan meliputi Non Ballast Tank, LNG sebagai bahan bakar penggerak utama maupun bantu, *Sulphur Scrubber, advanced rudder & Propeller, Speed Nozzle, hull painting, waste heat recovery, exhaust gases recirculation, water fuel*, Sistem Pompa dan Air Pendingin yang Ditingkatkan, Sistem Propulsi Layar dan Layang-Layang, Penggerak Bahan Bakar dan Sel Surya, *sandwich plate system*.

## G. EVALUASI / SOAL LATIHAN

1. Apa yang menjadi latar belakang inisiasi penggunaan teknologi hijau di kapal?
2. Apa yang dapat anda terangkan dari penggunaan kecepatan rendah (slower speed) dalam langkah operasional parameter eco friendly vessel?
3. Apa yang menjadi tujuan puncak decarbonisasi dengan program – programnya?
4. Mengapa penggunaan sandwich plate system dikatakan sebagai salah satu *green technology on ship*?
5. Mengapa industry maritime dan perkapalan merasa perlu untuk berkontribusi dalam upaya zero carbon global?

# **BAB 2**

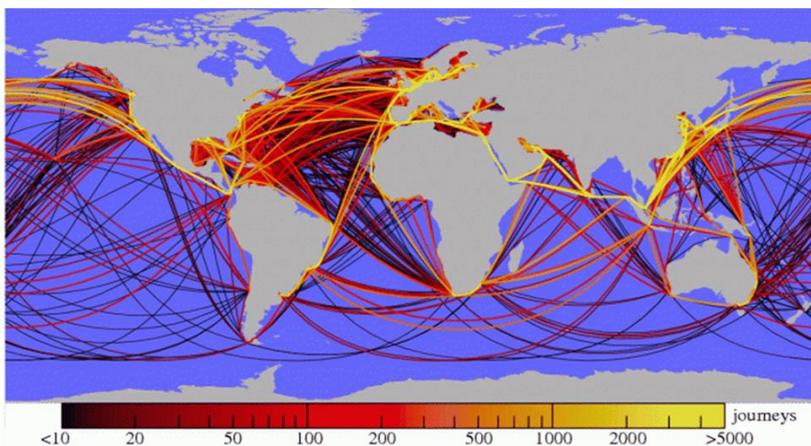
## **SISTEM TANPA BALLAST**

### **A. TUJUAN PEMBELAJARAN**

Mahasiswa dapat memahami pengantar manajemen sistem ballast di kapal, konsep teknologi tanpa ballast, keunggulan sistem dan model rancangan kapal tanpa ballast sebagai bagian dari implementasi teknologi hijau di kapal.

### **B. PENDAHULUAN**

Dunia pelayaran dan perdagangan dunia merupakan dua hal yang tidak terpisahkan satu dengan yang lainnya. Lebih dari 80% komoditas dunia dipindahkan dengan fasilitas pelayaran. Sehingga tidak berlebihan jika dikatakan bahwa perdagangan dunia secara global sangat bergantung pada aktifitas pelayaran dan perkapalan.



Gambar 2.1. Kepadatan trafik pelayaran dunia tahun 2010.

Air ballast merupakan cairan yang sengaja dimasukkan ke dalam kapal sebagai pemberat dan atau penyeimbang kapal pada saat berlayar. Sistem ballast berperan penting dalam pengaturan kondisi kapal seperti trim, draft, stabilitas GM kemiringan dan atau mengatur tegangan konstruksi kapal sehingga tetap berada dalam batas aman sebagai akibat pengaruh pergerakan atau distribusi kargo dan cairan selama operasional kapal. Berdasarkan data traffic secara global setiap tahun diperkirakan sebanyak 7 miliar ton air ballast ditransfer dan mengalami perpindahan wilayah mengikuti traffic pelayaran.

Air laut merupakan cairan pengisi yang sengaja dimasukkan ke kapal sebagai air ballast. Secara alamiah air laut mengandung lebih kurang 7000 spesies organisme yang terdiri atas plankton baik phytoplankton yang berupa tumbuhan maupun zooplankton yang berupa hewan, bakteri dan virus. Dampak yang paling terlihat adalah terganggunya ekosistem perairan dimana terjadi kontaminasi perairan di wilayah lain seiring dengan perpindahan spesies laut tersebut yang meliputi bakteri, mikroba, invertebrate kecil, telur, kista maupun larva yang terbawa melalui air ballast yang diambil dari wilayah satu dan dikeluarkan pada wilayah yang lainnya. Proses yang berlangsung berulang – ulang selama kapal beroperasi, hal ini selain mengakibatkan kontaminasi perairan juga mengganggu keseimbangan ekosistem dan bahkan mutasi genetika.

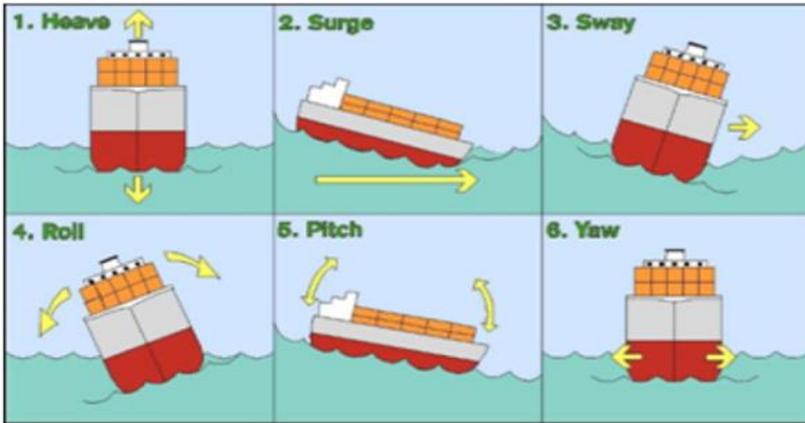
Kapal diwajibkan memiliki sertifikat dan dokumen yang terkait dengan manajemen sistem ballast dengan target meminimalkan dampaknya terhadap lingkungan.

### C. PENGANTAR MANAJEMEN SISTEM BALLAST DI KAPAL

IMO (*International Maritime Organization*) merupakan organisasi maritime internasional yang memperkenalkan konvensi air ballast pada tahun 2004 dalam penanganan pengendalian dan pengelolaan air ballast dan sedimen kapal. Peraturan yang diterbitkan dikenal sebagai regulasi *ballast water management* dan diwajibkan diberlakukan bagi semua kapal termasuk platform terapung, kapal terapung, kapal selam komersial, *floating storage unit* (FSU) maupun *floating production storage and offloading* (FPSO). Pengecualian pemberlakuan regulasi ini adalah bagi item berikut :

1. Kapal memang di desain tanpa air ballast
2. Operasional kapal bukan pada perairan internasional
3. Kapal yang dimiliki dan dioperasikan oleh suatu negara seperti kapal perang, kapal bantu angkatan laut maupun armada sejenis.
4. Kapal pelayanan non komersial
5. Kapal dengan model ballast pada tangki tertutup sehingga permanen.

Mekanisme proses ballast – debalasting dipergunakan sebagai sarana penyeimbang dan stabilitas kapal selama proses olah gerak kapal terjadi dalam pelayaran. Dalam proses pelayarannya kapal banyak mengalami pergerakan karena pengaruh eksternal dari lingkungan maupun factor internal dari desain kapal itu sendiri yang mempengaruhi stabilitas kapal. Seperti diketahui terdapat 6 gerakan respon kapal yang sering disebut sebagai 6 derajat kebebasan kapal, yaitu :



Gambar 2.2 Pola pergerakan kapal selama pelayaran

Sumber gambar: (<https://marinerspoint.in>)

1. *Heaving* adalah gerakan lurus menekan ke atas dan ke bawah sesuai keadaan (Stabilitas positional)
2. *Surging* adalah pergerakan lurus ke depan dan ke belakang dengan seimbang (Stabilitas dalam gerak ke depan dan ke belakang).
3. *Swaying* adalah pergerakan pergeseran kapal dari kiri ke kanan (Stabilitas arah)
4. *Rolling* adalah pergerakan berupa perputaran ke kiri dan ke kanan pada centre line (Stabilitas melintang)
5. *Pitching* adalah gerakan lengkungan kapal yang diakibatkan tekanan ke bawah (Stabilitas membujur)
6. *Yawing* adalah pergerakan memutar sisi bagian kapal agar dapat dikemudikan (Stabilitas gerak samping)

Selain itu Pergerakan kapal (seakeeping) dan peletakan muatan menyebabkan fenomena material stress yang berpengaruh pada konstruksi kapal yang berakibat kerugian.

- *Hogging* adalah Kondisi muatan di mana konsentrasi muatan terlalu banyak di ujung depan dan ujung belakang. (melengkung ke atas).
- *Sagging* adalah kondisi muatan dimana konsentrasi pemuatan terlalu banyak dibagian tengah-tengah akibatnya kapal akan melengkung kebawah.
- *Twisting* adalah

Fenomena tersebut seperti terlihat pada gambar 2 berikut:

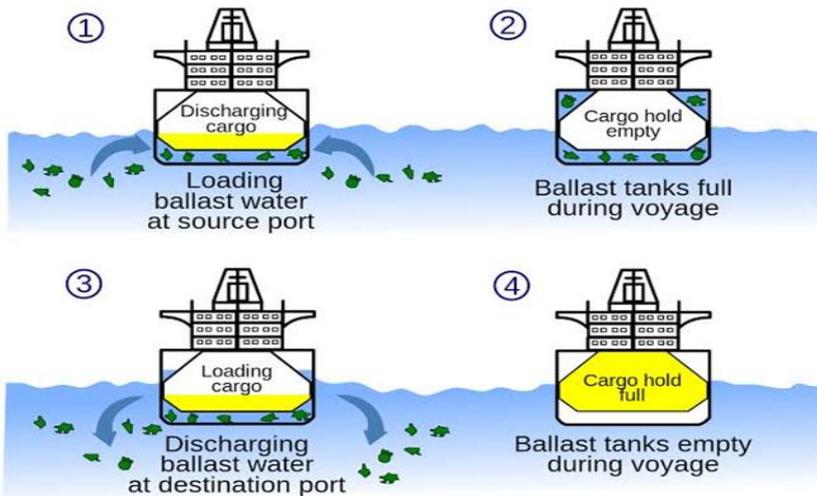


Gambar 2.3 Kondisi kapal pengaruh peletakan muatan

Sumber gambar: (<https://marinerspoint.in>)

- *Hogging* adalah Kondisi muatan di mana konsentrasi muatan terlalu banyak di ujung depan dan ujung belakang. (melengkung ke atas).
- *Sagging* adalah kondisi muatan dimana konsentrasi pemuatan terlalu banyak dibagian tengah-tengah akibatnya kapal melengkung kebawah.

Berikut disajikan gambar skema proses ballast - debalsting yang dilakukan oleh kapal.



Gambar 2.4 Proses ballast-deballasting kapal,  
Sumber gambar: (<https://marinerspoint.in>)

**Pada skema 1 – 2 disebut sebagai proses *ballast*.**

Pada proses 1 proses pemasukan air laut sebagai water ballast ke dalam lambung kapal melalui *sea chest*. Air laut mengisi tangki ballast dan mengurangi tekanan hidrostatis pada lambung kapal, memberikan stabilitas melintang kapal, meningkatkan kemampuan propulsi kapal dan olah gerak kapal. Dapat dikatakan bahwa air ballast merupakan kompensasi perubahan berat kapal terhadap kondisi perubahan pemuatan saat muatan kapal kosong ataupun berubah beratnya seperti pada proses 2. Selain itu perubahan jumlah bahan bakar maupun air tawar yang dikonsumsi selama pelayaran menjadikan dukungan pemenuhan air ballast juga penting.

### **Pada skema 3 – 4 disebut sebagai proses *deballasting***

Proses yang ada pada skema 3-4 merupakan proses kebalikan dari skema 1-2, dimana pada proses *deballasting* air ballast dikeluarkan dari tangki ballast melalui sea chest. Proses ini dilakukan untuk menjaga keseimbangan kapal dan sarat kapal serta menyesuaikan dengan persyaratan lambung timbul. Proses *deballasting* juga akibat kapal sudah dimulai dengan pemuatan muatan kapal.

Dalam konvensi air ballast IMO 2004 dinyatakan keharusan bagi kapal-kapal untuk melakukan standarisasi dan penyesuaian sistem pengolahan air ballast dan kinerja pembuangan. Dalam konvensi ini terdapat dua standar pengelolaan air ballast yang diterapkan dalam ballast water management yaitu regulasi standar D-1 dan D-2. Semua kapal setidaknya memenuhi regulasi standar D-1, sedangkan bagi kapal baru diharuskan memenuhi juga regulasi standar D-2. Berikut merupakan poin – poin pada standar regulasi konvensi air ballast 2004.

#### **1. Standar D-1,**

Dalam standari D-1 mengharuskan kapal melakukan pertukaran air ballast kurang lebih 95% pada area tertentu seperti di laut lepas, dan jauh dari area pesisir. Idealnya berjarak setidaknya 200 mill laut dari daratan dengan kedalaman laut 200 meter. Hal ini memungkinkan sedikit organisme yang bertahan hidup sehingga potensi cemaran spesies baru minimal. Selain itu dalam pertukaran air ballastnya

#### **2. Standar D-2,**

Pada standar ini kapal diharuskan memasang peralatan khusus berstandart IMO sebagai pengolah air ballast. Dalam standar 2 dilakukan penentuan ijin jumlah maksimum

mikroba pada air ballast yang dibuang, termasuk mikroba yang dinyatakan berbahaya bagi kesehatan manusia. Berikut dalam tabel 2.1 dinyatakan persyaratan jenis dan jumlah mikroba yang terdapat pada keluaran air ballast.

Tabel 2.1. IMO Standar D2 keluaran air ballast.

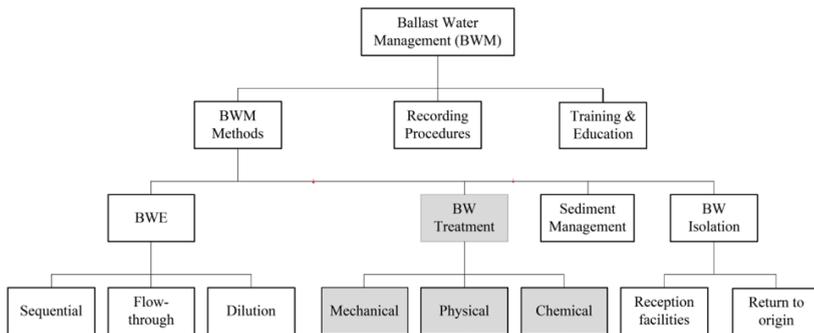
<b>Jenis Organisme</b>	<b>Regulasi</b>
Plankton, Size $\geq 50 \mu\text{m}$ in minimum dimension	< 10 viable organisms/m <sup>3</sup>
Plankton, $10 \leq \text{Size} < 50 \mu\text{m}$ in minimum dimension	< 10 viable organisms/milliliter
Plankton, Size < $10 \mu\text{m}$ in minimum dimension	No limit
Toxicogenic <i>Vibrio cholera</i> (O1 and O139)	< 1 cfu * / 100 milliliters, or < 1 cfu * / gram (wet weight) zooplankton samples
<i>Escherichia coli</i>	< 250 cfu * / 100 milliliters
Intestinal Enterococci	< 100 cfu / 100 milliliters

#### **D. METODE DALAM BALLAST WATER MANAGEMENT**

Dalam ballast water management terdapat banyak metode yang terdiri dari sistem manajemen antara proses mekanis, fisika kimiawi, biologis yang baik dilakukan secara parsial maupun terintegrasi untuk menghilangkan, mengurangi dan atau menghindari potensi bahaya, resiko dari organisme air, bibit penyakit maupun sedimen dari pengambilan maupun pembuangan air ballast. Sehingga dapat dikatakan bahwa ballast water management merupakan rekayasa sistem pengaturan yang dibangun dalam proses ballast-deballasting

dengan tujuan agar tidak terjadi kerusakan sistem dan biota laut.

*Ballast water Management System (BWMS)* meliputi tiga bagian penting yaitu *Metode Ballast Water Management, Recording And Procedure, Training & Education*



Gambar.2.5 Skema Ballast Water Management System

Sumber gambar: *Marine Insight*

Berikut merupakan penjelasan dari skema bagan diatas,

**Metode *Ballast Water Management*, terdiri atas 4 hal yaitu**

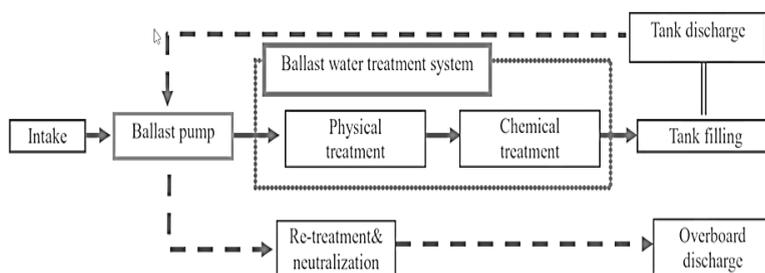
**1. *Ballast water exchange***, merupakan metode pertukaran air ballast yang menjadikan parameter desain dan usia kapal sebagai patokannya. Menurut standarisasi persetujuan IMO, *ballast water exchange* meliputi 3 metode yaitu :

- **Metode *Sekuensial***, pada metode ini proses pertukaran air ballast berlangsung dengan cara mengisi ulang tangki ballast dengan air ballast pengganti sebesar 95% volumetric setelah sebelumnya tahapan pengosongan tangki dilakukan terlebih dahulu baik secara individu maupun berpasangan. Semua air ballast dipastikan telah terpompa keluar dan untuk menghindari organisme

tertinggal di dasar tangki maka pengisian ulang dengan air baru dilakukan.

- **Metode *Flow-through***, proses dilakukan dengan cara pemompaan air ballast pengganti setidaknya tiga kali volume tangki sehingga dimungkinkan air mengalir melalui luapan atau pengaturan lainnya setidaknya mencapai 95% pertukaran ballast.
- **Metode pengenceran**, air ballast pengganti diisi melalui bagian atas tangki ballast dan pengeluaran air ballast secara simultan dari bawah pada laju aliran yang sama. Dalam metode ini sangat penting untuk menjaga air dalam tangki terjaga konstan selama proses pertukaran.

**2. *Ballast water treatment***, merupakan rangkaian teknologi air ballast dengan berbagai metode, seperti penggunaan filter sebagai treatment mekanis fisik dengan tujuan menghilangkan organisme maupun partikel yang berukuran 50 mikron ke atas. Penggunaan perangkat kavitasi, penerapan UV, perangkat kimiawi maupun penambahan zat aktif.

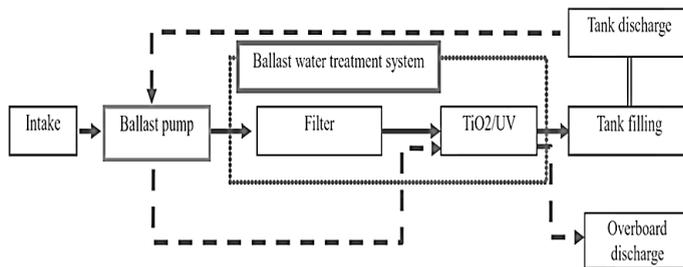


Gambar 2.6 Skema umum ballast water treatment

Dalam penerapannya di kapal ballast water treatment dikelompokkan menjadi 4 tipe treatment yaitu:

**a. UV Treatment**

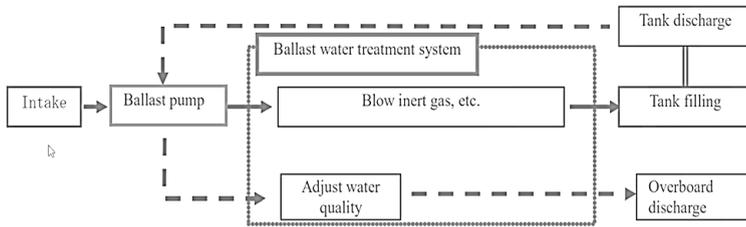
Penggunaan UV merupakan treatment lanjutan untuk menghilangkan partikel, kotoran maupun mikroorganisme yang tidak hilang dengan filter satu. UV berupa cahaya yang dipancarkan pada Titanium Dioksida yang kemudian menghasilkan oksigen aktif dan radikal hidroksil sebagai desinfektan kuat. UV dipergunakan sebagai teknologi sterilisasi agar mikroorganisme, jamur dan bakteri tidak beregenerasi



Gambar 2.7 Skema UV Treatment

**b. Gas Treatment**

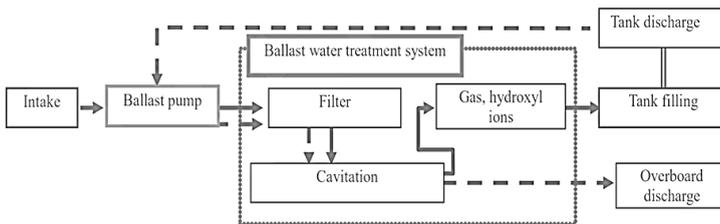
Mekanisme *gas treatment* dilakukan dengan cara penambahan gas inert menggunakan tabung venture pada saat pengisian air ballast yang telah disterilkan dengan pengurangan konsentrasi oksigennya. Penggunaan gas inert dengan konsentrasi lebih rendah dari gas inert yang digunakan untuk kapal tanker minyak. Selain itu dimungkinkan penggunaan ozon yang memiliki disinfeksi yang kuat. Proses netralisasi atau penyesuaian kualitas air sebelum dilakukan pembuangan air ballast.



Gambar 2.7 Skema *Gas Treatment*

**c. Elektrolisis**

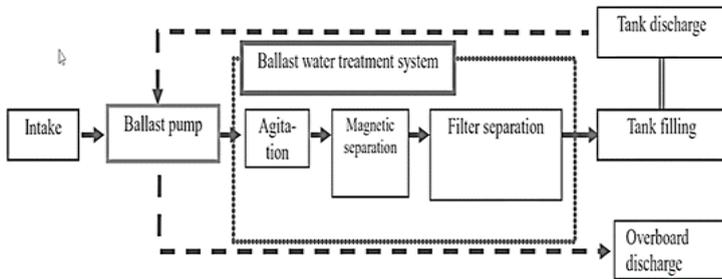
Pada penggunaan metode ini cara filtrasi dan kavitasi dilakukan, dimana air ballast dilewatkan filter sehingga partikel pengotor dengan ukuran lebih besar dari 50 mikron dapat dihilangkan. Adapun kavitasi ditempuh untuk merusak membrane sel organisme dan dilakukan pemurnian gas nitrogen, ion hidroksil yang dihasilkan elektrolisis digunakan untuk proses sterilisasi.



Gambar 2.8 Skema Elektrolisis

**d. Magnetic Separation**

Metode ini tidak menggunakan bahan kimia sebagai bahan sterilisasi, tetapi bubuk magnetic yang dimasukkan ke air ballast selama proses pengisiannya. Air diaduk dan pemisahan magnetic dilakukan. Hasil dari proses ini adalah organisme air, mikroorganisme dan mikroba menjadi terpisah dengan air ballast. Proses netralisasi tidak dilakukan pada metode ini.



Gambar. 2.9 Skema Magnetic Separation

### 3. *Sedimen Management*

Pada hakikatnya tangki ballast dan struktur internalnya dirancang agar dapat sedikit mungkin mengakumulasi sedimen, mudah dalam pembersihan dan perawatan. Residu sedimen yang terdapat dalam tangki mengandung bermacam mikroorganisme, volume sedimen yang mengendap terus dipantau secara teratur sesuai dengan perencanaan pengelolaan air ballast. Residu sedimen yang terkumpul beserta biotanya dibuang di pelabuhan terdekat yang dilalui kapal.

### 4. *Ballast water isolation (BWI)*

Metode *ballast water isolation* merupakan pengelolaan air ballast berbasis pelabuhan, dimana dilakukan proses pemindahan air ballast ke fasilitas lepas pantai untuk dilakukan treatment lanjutan. Parameter yang perlu diperhatikan adalah ukuran fasilitas lepas pantai, jumlah, waktu dan jenis kapalnya. Pihak otoritas pelabuhan perlu memastikan downtime minimal untuk kapal. Dalam ballast water isolation persetujuan IMO sebagai organisasi penetap standar perlu melakukan persetujuan terhadap desain BWI pada pelabuhan.

## **E. KONSEP DESAIN RANCANGAN KAPAL FREE BALLAST**

Desain kapal konvensional dengan menggunakan air tawar maupun air laut yang disimpan dalam tangki dan ruang kargo kapal sebagai solusi stabilitas dan manuver selama transit tanpa muatan selama berpuluh – puluh tahun menjadi ancaman ekologi dan kesehatan yang serius akibat perpindahan spesies laut yang melakukan invasi ke lingkungan lain yang sama sekali berbeda dengan asalnya dan memiliki spesies asli yang berbeda karakteristik dengan pendatang.

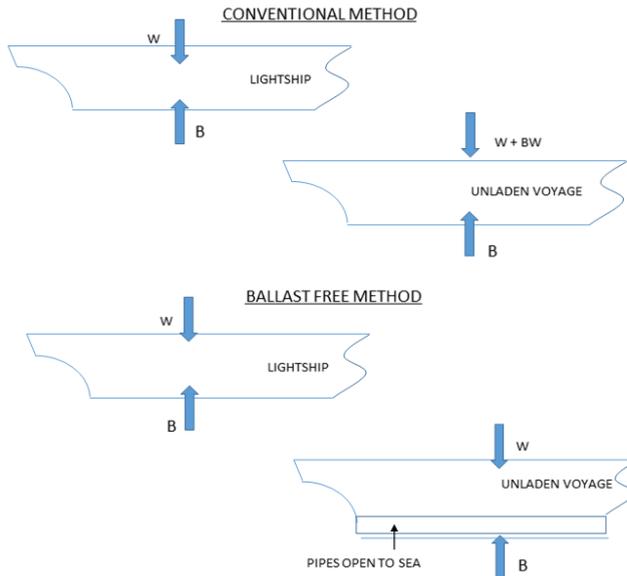
Air ballast yang diambil dari area pelabuhan pantai sebagai titik sumber untuk kemudian diangkut kapal ke pelabuhan berikutnya dan terjadi pembuangan air ballast bersama dengan segala spesies yang hidup di dalamnya. Spesies baru yang turut masuk ke lingkungan baru bersama air ballast ini dapat tumbuh sangat cepat tanpa adanya predator alami maupun sebaliknya menjadi mati karena tidak dapat bertahan hidup pada lingkungan baru dengan suhu dan salinitas yang berbeda dengan lingkungan asal. Adapun potensi spesies yang mampu bertahan hidup meskipun kecil dapat membentuk populasi dan berpotensi menyebabkan kerusakan besar, menjadi ancaman hilangnya habitat dan keanekaragaman hayati. Invasi perairan dianggap sebagai ancaman terbesar kedua terhadap keanekaragaman hayati global setelah hilangnya habitat, hampir tidak dapat diubah, dan semakin parah seiring waktu. Jika itu masalahnya, maka tidak dapat dibayangkan kerusakan yang disebabkan oleh transfer 3 hingga 5 miliar ton air ballast setiap tahun.

Beberapa konsep desain kapal tanpa ballast telah digagas awal oleh para akademisi di beberapa perguruan tinggi seperti:

1. *Delft University of Technology (DUT)*- 'dengan inovasi *Monomaran Hull*', 'The Monomaran Hull' – Sebuah kapal bongkar muat (tanpa air ballast) membutuhkan stabilitas yang memadai. DUT mengusulkan lambung monomaran dengan mengadopsi bentuk katamaran ke dasar lambung tunggal yang lebar
2. *Det Norske Veritas(DNV)*- dengan inovasi *Volume Cargo Ship*' 'Volume Cargo Ship' - DNV mengusulkan desain yang mirip dengan DUT tetapi dengan bentuk lambung trimaran sehingga memberikan tingkat stabilitas yang tinggi.
3. *Daewoo Shipbuilding and Marine Engineering (DSME)*- dengan konsep *Solid Ballast Ship*'. Dalam hal ini, air ballast diganti dengan 25 ton Solid ballast dalam kontainer standar. Namun penerapan metode ini terbatas pada kapal kontainer saja. Bentuk lambung (ukuran) tetap sama.
4. Konsep kompartemen kontrol daya apung Yokohama, yang mengubah tangki pemberat konvensional menjadi serangkaian kompartemen kontrol daya apung. Setiap kompartemen dibanjiri untuk menyediakan draft yang memadai dalam kondisi tanpa muatan kemudian terus menerus disiram dengan kecepatan perjalanan normal untuk memastikan pertukaran yang efisien tanpa memerlukan pompa. Setiap kompartemen dilengkapi dengan katup masuk dan keluar yang dirancang dan diposisikan secara optimal untuk setiap kompartemen guna memaksimalkan laju pembilasan selama kecepatan pelayaran normal.

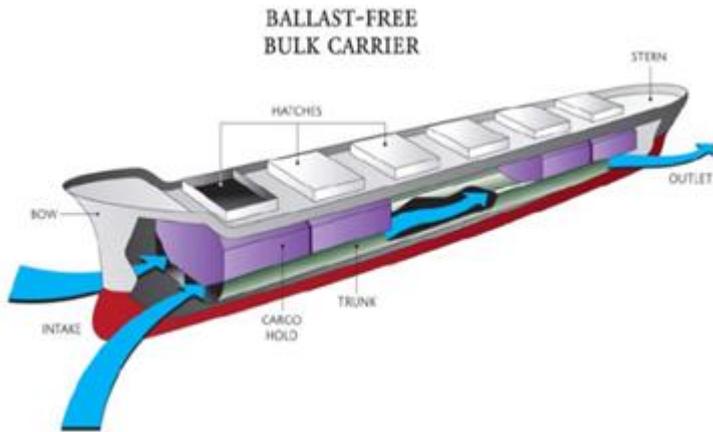
Secara prinsip dasar berikut merupakan perbandingan konsep dasar desain kapal konvensional dengan kapal *free ballast*

Gambar

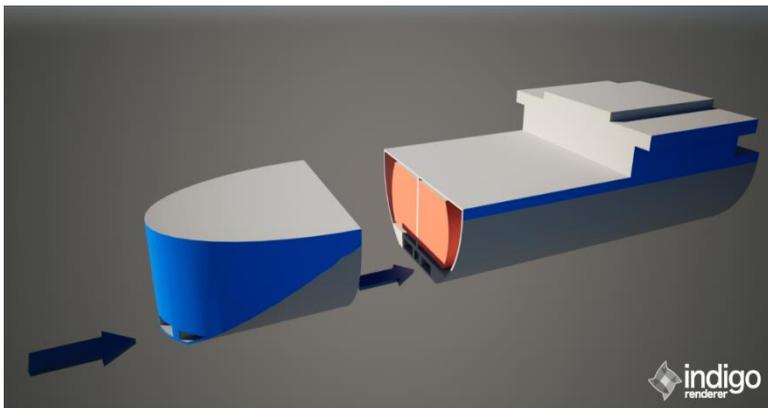


Gambar 2.10 Daya apung kapal konvensional dan tanpa ballast

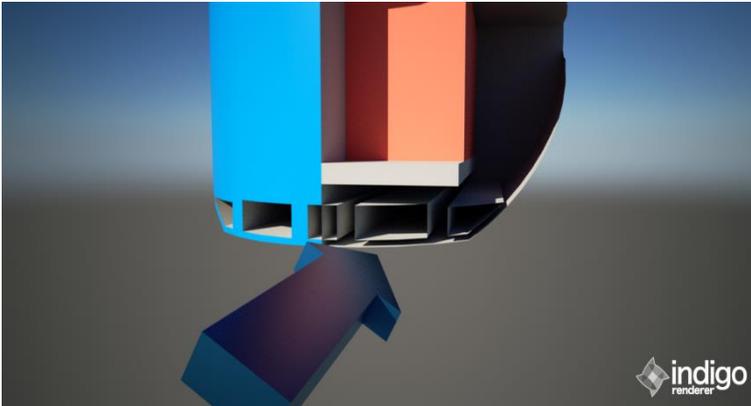
Ketika sebuah kapal bergerak maju, ia menghasilkan daerah dengan tekanan air yang meningkat di dekat haluannya dan mengurangi tekanan air di buritannya. Perbedaan tekanan ini digunakan untuk menggerakkan air melalui serangkaian koridor (batang) di bawah garis air ini tanpa memerlukan pompa. Meskipun hal ini menyebabkan sedikit peningkatan hambatan kapal, pelepasan aliran bagasi ke bagian atas piringan baling-baling cenderung memperlancar aliran masuk ke baling-baling, memungkinkan baling-baling beroperasi pada efisiensi baling-baling yang lebih tinggi dan dengan demikian mengimbangi resistensi tambahan sampai batas tertentu



Gambar 2.11 Sketsa Ballast Free pada kapal Bulk Carrier



Gambar 2.12 Tampilan konsep desain kapal tanpa ballast  
(Copyright: Learn Ship Design)



Gambar 2.13 Kompartemen kontrol daya apung pembilas air kecepatan normal (Copyright: Learn Ship Design)

Konsep kapal tanpa ballast mensyaratkan aliran longitudinal melalui pipa yang menerus sepanjang panjang kapal. Di mana katup gerbang disediakan di depan dan belakang ujung pipa. Dalam kapal tanker konvensional, struktur dasar ganda dibagi menjadi kompartemen yang berbeda di mana air ballast disimpan. Tetapi dalam kasus kapal tanpa ballast struktur dasar ganda dimodifikasi sedemikian rupa sehingga mengakomodasi aliran, yang disediakan oleh dasar ganda dengan konfigurasi pipa elips dimana struktural scantlings dari bagian midship dihitung mengikuti aturan kelas ABS.

Akan tetapi konsep desain kapal tanpa ballast masih memiliki beberapa kekurangan dan tantangan yang membutuhkan inovasi lebih jauh agar optimal dalam implementasinya. Tantangan tersebut antara lain:

1. Hilangnya kapasitas angkut kargo- karena pembatasan volume air pemberat. Karena cukup sulit untuk mempertahankan daya angkut kargo dan juga volume air pemberat yang sama

2. Kehilangan kekuatan kapal- Akan ada desain ulang total dari dasar ganda. Karena kerangka melintang konvensional akan membuat air pemberat sulit mengalir melalui terowongan. Oleh karena itu eliminasi ini akan meningkatkan aliran air ballast dengan mengorbankan kekuatan kapal. Masyarakat klasifikasi mungkin tidak mengizinkan penghapusan semua kerangka ini. Selain itu, batas batang yang kedap air akan dibutuhkan di lokasi melintang. Pengaku longitudinal dapat diganti dengan panel *sandwich*, sehingga meningkatkan aliran. Dengan demikian mengkompensasi hilangnya kekuatan.
3. Peningkatan tahanan kapal- akibat gangguan dari pelepasan air ballast ke aliran di sekitar baling-baling – Pengenalan plenum di haluan dan buritan kapal, serta lokasi plenum akan mempengaruhi tahanan kapal, meningkatkan konsumsi bahan bakar. Juga, peningkatan kecepatan aliran air ballast di lokasi pembuangan akan meningkatkan resistensi seperti yang ditunjukkan secara eksperimental.

## **F. RANGKUMAN**

1. Mekanisme proses ballast – debalasting dipergunakan sebagai sarana penyeimbang dan stabilitas kapal selama proses olah gerak kapal terjadi dalam pelayaran
2. Dalam ballast water management terdapat banyak metode yang terdiri dari sistem manajemen antara proses mekanis, fisika kimiawi, biologis yang baik dilakukan secara parsial maupun terintegrasi untuk menghilangkan, mengurangi dan atau menghindari potensi bahaya, resiko

dari organisme air, bibit penyakit maupun sedimen dari pengambilan maupun pembuangan air ballast

3. *Ballast water Management System (BWMS)* meliputi tiga bagian penting yaitu *Metode Ballast Water Management, Recording And Procedure, Training & Education*
4. *Metode Ballast Water Management*, terdiri atas 4 hal yaitu *Ballast water exchange, Ballast water treatment, Sedimen Management, Ballast water isolation*
5. Dalam penerapannya di kapal ballast water treatment dikelompokkan menjadi 4 tipe treatment yaitu: *UV Treatment, Gas Treatment, elektrolisis dan magnetic separation*
6. Beberapa konsep desain kapal tanpa ballast telah digagas awal oleh para akademisi di beberapa perguruan tinggi seperti *Monomaran Hull, Volume Cargo Ship, Solid Ballast Ship* dan kompartemen kontrol daya apung Yokohama
7. Konsep desain kapal tanpa ballast masih memiliki beberapa kekurangan dan tantangan yang membutuhkan inovasi lebih jauh agar optimal dalam implementasinya
8. Tantangan kapal dengan konsep free ballast tank antara lain hilangnya kapasitas angkut kargo, kehilangan kekuatan kapal, peningkatan tahanan kapal.

## G. EVALUASI / SOAL LATIHAN

1. Apa yang dapat anda jelaskan tentang perbandingan konsep kapal konvensional dengan konsep *free ballast tank*?
2. Jelaskan konsep UV treatment pada *ballast water treatment*!
3. Mengapa pengelolaan water ballast menjadi sangat penting dan membutuhkan perhatian khusus?
4. Apa yang dapat jelaskan tentang kelebihan penerapan *free ballast tank*?
5. Apa yang anda ketahui tentang metode *Flow - Through* pada *ballast water management*?
6. Berikan penjelasan terkait hubungan antara invasi spesies dengan kepunahan biodiversitas!



## **BAB 3**

# **BAHAN BAKAR NATURAL GAS DAN BIOFUEL UNTUK KAPAL**

### **A. TUJUAN PEMBELAJARAN**

Pada bab 3 materi bahan bakar NG dan Biofuel untuk kapal ini bertujuan agar :

1. Mahasiswa memiliki pengetahuan dan pemahaman terkait potensi bahan bakar alternative yang bisa dipergunakan di kapal berbasis natural gas (NG) dan bahan bakar hayati (biofuel) sebagai daya dukung penurunan emisi dunia
2. Mahasiswa memiliki pengetahuan dan pemahaman tentang keunggulan, kelebihan, kekurangan maupun tantangan dalam implementasi bahan bakar NG dan biofuel pada bidang perkapalan

### **B. PENDAHULUAN**

Dalam perkembangannya sumber energi yang menggerakkan kapal mengalami perkembangan dan perubahan yang cukup signifikan. Perkembangan ilmu pengetahuan dan teknologi yang terkait dengan tren efisiensi maupun intervensi dari regulasi memaksa adaptasi terjadi pada transportasi perkapalan. Perubahan secara signifikan pada transformasi sumber energi di kapal berlangsung selama 150 tahun terakhir. Layar menjadi awal perkembangan sumber energi penggerak kapal setelahnya kemudian muncul teknologi mesin uap dengan batubara sebagai bahan bakar utamanya. Perkembangan selanjutnya adalah muncul bahan bakar fosil

yang baru yaitu *heavy fuel oil* (HFO) dan *marine diesel oil* (MDO) yang saat ini menjadi bahan bakar dominan.

Perkembangan penggunaan bahan bakar fosil dari tahun ke tahun semakin meningkat seiring dengan peningkatan permintaan armada transportasi dan pelayaran. Dalam prediksinya *International Maritime Organization (IMO)* menyatakan bahwa tingkat konsumsi bahan bakar pada kisaran 250 – 325 juta ton dengan menghasilkan 2,8% emisi gas rumah kaca pertahun secara global. Angka ini meskipun dinyatakan merupakan nilai terendah dibandingkan dengan mode transportasi yang lainnya tetapi apabila dibiarkan dapat diperkirakan akan mengalami peningkatan tiga kali lipat pada tahun 2050 mendatang. Merespon kondisi tersebut salah satu pilihan yang dilaksanakan adalah pengadaan bahan bakar alternative. Bahan bakar alternative merupakan segala jenis dan bentuk bahan bakar non fosil beserta turunannya dengan ketersediaan energi melimpah, dapat diperbaharui, dan berkarakter bersih. Bahan bakar alternative dan energi terbarukan menjadi satu potensi yang menjanjikan.

Natural gas meskipun termasuk dalam bahan bakar fosil namun memiliki karakter alami yang memikat para ahli energi dunia. Sifat alaminya yang lebih bersih menjadikannya bahan bakar yang lebih ramah lingkungan dibandingkan batubara maupun minyak mentah. Sedangkan pengembangan biofuels telah mengalami peningkatan meskipun masih harus banyak melakukan evaluasi komprehensif agar dapat berdaya guna lebih.

## C. BAHAN BAKAR NATURAL GAS (NG)

### Sejarah Asal dan Perkembangan NG

Bahan bakar natural gas (NG) merupakan bahan bakar fosil berbentuk gas yang kaya hidrokarbon dan banyak ditemukan di ladang minyak, ladang gas alam dan lapisan batubara [15]. Dalam perjalanan sejarahnya, sumur gas alam pertama kali ditemukan oleh William Hart dari Amerika pada tahun 1821 di Fredonia, beliau kemudian mendapat julukan sebagai bapak gas alam. Sepanjang abad ke 19 penggunaan gas alam sebagai sumber penerangan hanya dipergunakan dalam wilayah local saja, keamanan struktur penyimpanan dan proses pengangkutan yang belum memadai dalam segi keselamatan dan keamanan menjadikan penggunaan wilayah secara luas belum terlaksana. Baru setelah perang dunia II, dengan adanya kemajuan teknologi terkait pembangunan jaringan perpipaan maka distribusi natural gas menjadi lebih luas. Pembangunan instalasi perpipaan menjadikan distribusi natural gas lebih aman dan handal [16][17]. Hal ini membawa perubahan yang sangat signifikan terhadap pemanfaatan natural gas ke depannya.

Dalam data statistic pertumbuhan informasi terkait gas alam telah dirilis oleh [18] *BP Statistical Review of World Energy* tercatat pertumbuhan naik sekitar 0,3 % pada akhir tahun 2014 yaitu 187,1 triliun meter kubik (tcm) dengan akhir tahun 2013 yang sebanyak 186,5 tcm. Terus mengalami perkembangan tingkat produksi produksi dengan peningkatan sebesar 1,6 % lebih tinggi dibandingkan tingkat konsumsi secara global atau dapat dikatakan empat kali lipatnya pada tahun 2014 – 2015. Adapun pertumbuhan permintaan gas alam secara global diharapkan dapat mencapai angka 1,9 %

pertahun, meskipun dinyatakan pertumbuhan produksi maupun konsumsi berada di bawah angka rata – rata pada semua wilayah kecuali Amerika Utara, Timur Tengah dan Amerika Utara. Skala global natural gas telah menjadi penyumbang 23,7 % dari konsumsi energi utama [19]. Permintaan dari sector listrik dan industry telah menyumbang lebih dari 80% pertumbuhan permintaan global untuk natural gas.

Proses pembentukan natural gas terbagi menjadi 3 proses yaitu *thermogenic*, *biogenic* dan *abiogenic* [20][21]

### **1. Proses *Thermogenic***

- Proses pembentukan natural gas yang dipengaruhi oleh suhu dan tekanan pada kedalaman bumi yang berbeda – beda.
- Melibatkan dekomposisi yang berjalan relative lambat karena berjalan secara alami
- Pada kedalaman yang dangkal di dekat permukaan bumi, proses dekomposisi dan degradasi puing organisme berjalan lambat dan tidak lengkap sehingga terjadi penumpukan residu di sedimen sebagai makromolekul kompleks yang disebut kerogen
- Pada proses degradasi termal kerogen inilah hidrokarbon terbentuk sekaligus beserta non hidrokarbon senyawa seperti CO<sub>2</sub>, H<sub>2</sub>S, H<sub>2</sub>, H<sub>2</sub>O dan N<sub>2</sub> dan *pyrobitumen* yang berupa residu yang kaya karbon.
- Formasi minyak bersama gas termal dihasilkan setelah proses konversi kerogen baik melalui kerogen labil dan kerogen tahan api. Kerogen labil dapat menghasilkan gas dan minyak bermassa rasio 0,2 dalam kisaran 100 dan

150<sup>0</sup>C, sedangkan kerogen tahan api menghasilkan gas pada suhu 150 – 220<sup>0</sup>C. Proses konversi kerogen ini sering juga disebut sebagai proses pematangan.

## **2. Proses *Biogenic***

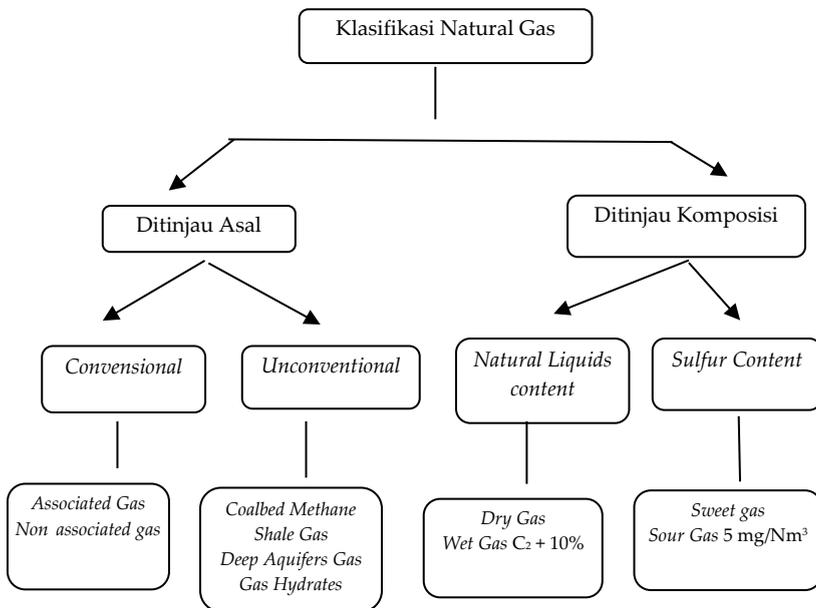
- Proses biogenic melibatkan organisme berupa bakteri metanogen. Gas metana terbentuk oleh aktivitas metanogen yang berlimpah pada akseptor electron seperti O<sub>2</sub>, NO<sub>3</sub>, Fe<sub>3</sub>, SO<sub>4</sub>. Adapun habitat umumnya pada digester anaerobic, sedimen anoxic, tanah banjir dan pencernaan gastroin.

## **3. Proses *Abiogenic***

- Proses abiogenic berbeda dengan biogenic, dimana bahan awal metana berasal dari gas vulkanik sehingga non organic. Adapun metana terbentuk dari reduksi CO<sub>2</sub> selama proses penurunan suhu magma. Sebagai sistem hidrotermal selama interaksi air – batuan.

## Klasifikasi Natural Gas

Natural gas dalam keadaan murni memiliki sifat tidak berwarna, tidak berbentuk dan tidak berbau. Sifatnya yang mudah terbakar dan menghasilkan energi yang cukup besar menjadikan natural gas sebagai salah satu alternative bahan bakar yang bersih dan menjanjikan. Berikut merupakan klasifikasi natural gas dalam skema:



Tempat penyimpanan gas (reservoir) berada dalam batuan berpori bersifat permeable dan dikelilingi bahan kedap air. Reservoir sendiri dapat berbentuk kubah (*syncline - anticline*). Gas alam terbentuk di bawah permukaan, bermigrasi melewati patahan dan celah bawah tanah hingga mencapai reservoir.

## **Natural gas ditinjau dari asal terbentuknya terbagi atas:**

### **a. Gas konvensional**

- Gas konvensional biasanya bersamaan dengan minyak mentah dapat bersifat *associated gas* (dengan minyak mentah) atau *non associated gas* (tanpa minyak mentah).

### **b. *Assosiated Gas***

- Dapat berupa gas terlarut, gas larutan minyak dan terletak diatas minyak reservoir (*casing head gas*)
- Disebut juga sebagai gas basah (*wet gas*), mengandung lebih sedikit metana, lebih kaya konstituen paraffin dengan berat molekul lebih tinggi.
- Aliran gasnya bersifat kaya dengan komposisi gas cair (*natural gas liquids NGLs*) yang berisikan C<sub>2</sub> + produk yang kemudian dikenal sebagai natural gasoline atau gas kondensat

### **c. *Non Assosiated Gas***

- Gas jenis ini sering disebut juga sebagai gas kering (*dry gas*)
- Dihasilkan dari bentukan geologi dengan sifat tidak banyak mengandung minyak mentah atau hidrokarbon cair.
- Tipikal banyak mengandung metana, dengan molekul yang lebih ramping, tetapi lebih berat pada kandungan hidrokarbon dan bahan kondensat
- Mengandung gas non hidrokarbon seperti karbondioksida CO<sub>2</sub> dan hydrogen sulfide

#### **d. Gas Unkonvensional**

Berbeda dengan tipe konvensional dimana gas dapat langsung diekstraksi dari bumi baik melalui mekanisme alami maupun dengan pemompaan, tipe unconventional gas membutuhkan teknologi lagi untuk mengeksplorasinya. Tipe gas ini meliputi gas serpih (*shale gas*), *coal bed methane*, *deep aquifer gas*, *gas hydrate*.

#### **e. Shale gas**

- Gas ini dikenal sebagai gas serpih, karena diperoleh dari serpihan batuan dengan permeabilitas yang rendah dan kedap air seperti halnya batu pasir, karbonat berpasir, batu gamping, dolomit, dan reservoir kapur.
- Gas ini berasal dari dua mekanisme pembentukan secara biogenic dengan aktifitas mikroba anaerobic pada material organik pada kondisi tekanan dan kedalaman yang relative rendah, serta termogenik dengan pengaruh tekanan dan suhu karena pembebanan.
- Shale gas terbagi atas *terrestrial shale*, *lacustrine shale* dan *marine shale*

#### **f. Coal Bed Methane (CBM)**

- Pada tipe gas ini mayoritas terdiri atas metana, sedikit hidrokarbon dan gas non hidrokarbon yang terbentuk dari beberapa proses kimia dan fisika dalam batubara.
- Coal bed methane berasosiasi dengan batubara sebagai reservoir dan sumber bukan dari reservoir pasir, gamping maupun rekahan batuan beku seperti halnya gas alam yang dikenal saat ini.
- Dalam proses produksi CBM, tahap awal berupa rekayasa pada batubara dengan proses *dewatering* agar terjadi

perubahan kesetimbangan mekanika. Setelah *dewatering* maka didapatkan cukup ruang sebagai jalan keluar gas. Gas metana kemudian mengalir melalui rekahan batubara untuk kemudian menuju lubang sumur.

- CBM dapat langsung dijual sebagai gas alam, energi dan bahan baku industry.
- Eksploitasi CBM menguntungkan bagi para penambang batubara dan tidak menurunkan kualitas, gas emisi yang telah diambil justru menjadikan penambangan batubara aman.

#### **g. *Deep Aquifer Gas***

- Jenis gas ini dapat ditemukan selama proses perpindahan gas melalui akuifer ke batuan reservoir.
- Kandungan gas akuifer sangat dipengaruhi oleh tekanan, salinitas dan temperatur

#### **h. *Gas Hydrate***

- Gas hidrat merupakan bentuk substitusi migas konvensional, merupakan akumulasi methane yang berubah bentuk menjadi kristal air karena tekanan dan temperatur tertentu
- Bentuknya dapat berupa hidrat klatrat, Kristal hidrat, metana hidrat. Meskipun dikatakan bahwa pada berbagai kondisi suhu dan tekanan semua gas dapat membentuk hidrat. Hidrat klatrat merupakan sel Kristal dari air yang berikatan hydrogen molekul. Kristal hidrat terbentuk melalui langkah nukleasi sedangkan metana hidrat dibentuk oleh mikroba reduksi CO<sub>2</sub> dari bahan organik di cekungan sedimen dangkal pada lingkungan

laut, untuk metana hidrat pemulihan dapat mencapai 5% atau lebih dari produksi gas dunia pada 2050

## **Natural gas ditinjau dari komposisi kimianya terbagi atas:**

### **a. Hidrocarbon**

- Merupakan komponen utama penyusun natural gas yang meliputi metana ( $\text{CH}_4$ ) sebagai unsur mayoritas dan penyusun lainnya seperti etana ( $\text{C}_2\text{H}_6$ ), propana ( $\text{C}_3\text{H}_8$ ) dan butana ( $\text{C}_4\text{H}_{10}$ )
- Berdasarkan kandungan hidrocarbonnya ini natural gas dapat dibedakan menjadi dry gas yang terdiri dari metana sebagai unsur utama dengan sedikit atau tanpa komponen  $\text{C}_2$ . Sedangkan wet gas mengandung unsur  $\text{C}_2$  yang lebih tinggi dari 10%
- Adapun gas metana sendiri dapat berasosiasi dengan hidrokarbon paraffin seperti etana, propane, butane dan sebagian kecil hidrokarbon  $\text{C}_2$  yang mungkin mengandung beberapa aromatic seperti benzene, toluene dan xilena.

### **b. Sulfur**

- Berdasarkan kandungan sulfur, gas alam dapat diklasifikasikan menjadi sweet gas ketika tidak mengandung atau sedikit mengandung  $\text{H}_2\text{S}$ . dan gas asam ketika kandungan  $\text{H}_2\text{S}$  berada dalam jumlah yang tidak dapat diterima yaitu melebihi  $5 \text{ mg}/\text{Nm}^3$

## Mengenal LNG

Gas alam yang saat ini dikenal ada sebutan yaitu LNG (*Liquefied Natural Gas*) dan CNG (*Compressed Natural Gas*). *Liquified natural gas* atau LNG merupakan campuran gas hidrokarbon dengan komposisi utama adalah metana, terkandung pula di dalamnya etana, propana, butana dan pentana. LNG adalah gas alam yang telah diproses untuk menghilangkan impuritas dan hidrokarbon fraksi berat untuk kemudian dikondensasi menjadi cairan pada tekanan atmosfer dengan cara mendinginkannya pada suhu sekitar -160°C. LNG ditransportasikan dengan menggunakan kendaraan yang dirancang khusus dan diletakkan pada sebuah tangki yang dirancang khusus.

LNG memiliki kelebihan dalam kepadatan energi, memiliki kandungan nilai kalori yang tinggi jika dibandingkan dengan bahan bakar yang sudah ada saat ini dengan menghasilkan produk polusi yang lebih sedikit. Yang menjadi permasalahan saat ini adalah biaya produksi yang relatif tinggi dengan kebutuhan penyimpanannya yang menggunakan cryogenic yang mahal, selain itu dalam proses transportasi bahan bakar ini jalur pipa tidak memungkinkan atau tidak ekonomis sehingga diperlukan kendaraan LNG dengan tangki membran karena LNG memiliki isi sekitar 1/640 dari gas alam pada suhu dan tekanan standar sehingga lebih hemat jika ditransportasi jarak jauh dimana jalur pipa tidak ada. Secara tidak langsung hal – hal seperti inilah yang masih menjadi kendala dalam komersialisasi bahan bakar ini. *Liquified natural gas* atau LNG adalah *bio-derived* dari gas dan liquid yang saat ini dinilai sangat ramah lingkungan (Nwafor dkk, 2000) karena beberapa karakteristik properties yang dimilikinya sehingga lebih rendah emisinya apabila dibandingkan dengan bahan bakar

diesel. Berikut adalah karakteristik dari LNG, gas alam ini merupakan campuran dari beberapa gas yang berbeda sehingga tidak memiliki nilai panas yang spesifik. Nilai panas tertinggi LNG berkisar sekitar 24 Mj/l pada suhu -164°C dengan nilai terendah 21 Mj/l. Nilai panas ini tergantung pada sumber gas yang digunakan pada proses untuk mencairkan bentuk gasnya. Kepadatan LNG berkisar 0,41-0,5 kg/l dan tergantung dari suhu, tekanan dan komposisi.

## **Mengenal CNG**

*Compressed Natural Gas* (CNG) merupakan gas alam yang terkompresi pada tekanan penyimpanan 200 – 248 bar. CNG tidak akan mencair dibawah tekanan tinggi dan akan tetap menjadi bentuk gas kecuali di dinginkan setidaknya hingga – 164°C. Berikut adalah penggambaran skema CNG saat akan digunakan pada mesin. Tangki gas alam didesain dengan bentuk silinder dengan dua ujung hemispherical yang simetris sehingga dapat berisikan gas bertekanan tinggi yang efektif dan relatif aman. Berdasarkan sumber dari [Ghazi A Karim, 2014], aplikasi CNG memang masih sangat terbatas penggunaannya di masa lalu karena adanya beberapa kelemahan antara lain: 1. Perbedaan harga antara bahan bakar cair dan gas yang kurang cukup menarik secara ekonomi, saat ini dengan adanya peningkatan jumlah ketersediaan dan penurunan harga gas alam semakin meningkatkan penggunaan CNG secara luas. 2. Dukungan infrastruktur yang belum memenuhi syarat terutama untuk daerah – daerah. Ini membuat bahan bakar CNG kurang menarik untuk dioperasikan, kapasitas tangki yang terbatas secara volume menuntut ketersediaan stasiun pengisian yang cukup jumlahnya dan penyebarannya. 3. Biaya keseluruhan antara mesin, kendaraan, tangki penyimpanan untuk gas terkompresi tinggi cenderung

tinggi. Keuntungan penggunaan LNG apabila dibandingkan CNG pada mesin transportasi adalah energi yang tersimpan lebih banyak persatuan volume, bobot sistem bahan bakar yang relatif lebih rendah, waktu pengisian yang relatif lebih pendek, fasilitas pengisian bahan bakar yang lebih rendah dan adanya keseragaman kualitas.

Pada umumnya natural gas lebih ringan dari udara dengan densitas 0,68 relatif terhadap udara. Gas alam memiliki titik nyala otomatis yang lebih tinggi dibandingkan bensin atau solar. Hal ini menyebabkan gas alam lebih sulit menyala sehingga dapat mengurangi bahaya kebakaran secara signifikan dan anti knocking terutama saat dikompresi tinggi pada ruang bakar. Sifat kimia dari gas alam adalah bebas timah, memiliki emisi lebih rendah dibandingkan dengan diesel sehingga sangat ramah lingkungan.

Tabel 3.1 Berikut perbedaan antara LNG, CNG dan LPG

Parameter	LNG	CNG	LPG
Komposisi	Mayoritas metana	Mayoritas metana	Terdiri atas propane dan butana
Penyimpanan	Disimpan tidak bertekanan	Disimpan dalam tangki yang dirancang untuk melepaskan gas lebih lambat.	Disimpan di bawah tekanan tinggi
Pengolahan	LNG dicairkan melalui paparan suhu yang sangat rendah	CNG memiliki rasio kompresi yang tinggi berkat nilai oktannya.	Tekanan ringan digunakan untuk mencairkan LPG
Pengiriman	Tangki kriogenik dan saluran pipa yang dirancang khusus digunakan untuk menyimpan dan mengangkut LNG	Disimpan dan diangkut dalam tangki atau silinder	Disimpan dan diangkut dalam tangki atau silinder

Parameter	LNG	CNG	LPG
Keselamatan	Karena LNG tidak didinginkan, tidak diberi tekanan, maka lebih aman dibandingkan LPG	CNG lebih aman dibandingkan LPG dan LNG karena bobotnya lebih ringan dibandingkan udara, sehingga akan terlepas ke atmosfer saat tumpah.	Karena tekanan, dan bobot maka LPG relative lebih berbahaya
Penggunaan	LNG digunakan untuk peralatan berat, katup gas, mesin dan infrastruktur.	CNG digunakan pada mobil sebagai pengganti bensin	LPG biasanya digunakan dalam sektor pendingin, pertanian dan industri. Ini juga digunakan di rumah pada peralatan memasak listrik dan peralatan pemanas

#### **D. BAHAN BAKAR HAYATI (*BIOFUEL*)**

Bahan bakar hayati secara definisi merupakan sumber energi biomassa yang berasal dari tumbuhan dan hewan semacam kayu, tanaman, produk hasil pertanian maupun limbah tanaman dan hewan. Biofuel dapat berupa bahan bakar padat, cair maupun gas yang tentu saja bersifat dapat diperbaharui.

- Biofuel padat dapat berupa kayu, arang maupun ampas tebu.
- Biofuel cair dapat berupa etanol, minyak tumbuhan dan biodiesel
- Biofuel gas berupa biogas dari anaerobic seperti kotoran hewan.

Saat ini biofuel dapat menjadi alternative energi bagi sector industry maupun transportasi meskipun pada kenyataannya masih minim terapannya terutama pada sector perkapalan. Beberapa permasalahan yang muncul antara lain terkait penyimpanan bahan bakar yang kadang tidak stabil, korosi hingga permasalahan pengiriman.

Berikut tahapan jalur pengembangan *biofuel* konvensional dan advanced dari generasi ke generasi :

- Generasi 1 berupa sumber karbon untuk *biofuel* adalah gula, lipid atau pati yang diekstraksi langsung
- Generasi 2 berupa karbon biofuel yang berasal dari selulosa, *hemiselulosa*, *lignin* dan atau *pectin*. Cakupan berupa limbah atau residu pertanian, kehutanan atau bahan baku non pangan yang dibudidayakan untuk tujuan tertentu.
- Generasi 3 berupa karbon biofuel berasal dari organisme autotrofik akuatik seperti ganggang. Cahaya, karbondioksida dan nutrisi yang digunakan sebagai bahan baku jangka panjang sumber karbon dalam produksi *biofuel*.

## **Briket**

Pengolahan biomassa menjadi bahan bakar padat serupa arang dapat disebut sebagai briket. Ampas tebu, sekam padi, jerami dapat dimanfaatkan sebagai bahan baku briket pengganti batubara. Dengan bahan baku biomassa maka dapat menggantikan energi tak terbarukan menjadi terbarukan.

Bagaimanapun bahan baku batubara menyisakan banyak problematika dalam lingkungan berupa emisi yang cukup tinggi.

Teknik pembuatan briket secara umum melalui proses

- 1) Penumbukan sehingga dapat mengubah bahan baku menjadi partikel yang lebih kecil untuk mempermudah pembentukan maupun percampuran zat tambahan,
- 2) Mixing atau proses percampuran serbuk biomassa dengan zat – zat tambahan.
- 3) Proses pencetakan bahan baku biomassa menjadi briket dimana biomassa telah bercampur dengan bahan tambahan. Proses pencetakan menggunakan sistem hidrolik
- 4) Pengeringan hingga tercapai suhu dan kualitas briket yang dikehendaki baik dari segi bentuk, kandungan kimiawi

Terdapat beberapa hal yang dapat mempengaruhi kualitas briket yaitu : berat jenis serbuk, kehalusan serbuk, suhu karbonisasi, tekanan tempa, dan formula campuran. Bahan baku briket menentukan kualitas dari pembakaran, pada prinsipnya semakin tinggi kandungan selulosa pada bahan baku maka semakin baik kualitas briket.

Briket yang baik memiliki sifat :

- 1) Bersifat mudah dinyalakan,
- 2) Memiliki permukaan yang halus dan apabila dipegang tidak menimbulkan bekas hitam di tangan.
- 3) Apabila dibakar tidak mengeluarkan asap maupun bau yang tidak sedap.
- 4) Emisi dari hasil pembakaran tidak mengandung racun
- 5) Bersifat kedap air dan tidak berjamur bila disimpan dalam waktu yang lama
- 6) Memiliki laju pembakaran yang baik dan panas yang dihasilkannya tinggi.

Karakteristik kandungan briket secara standard dan dinyatakan berkualitas tinggi seperti standar mutu Inggris dan Jepang, tampak pada tabel berikut

Tabel 3.2 Perbandingan kandungan briket pada beberapa negara

	<b>Inggris</b>	<b>Indonesia</b>	<b>Jepang</b>	<b>Amerika</b>
Kadar air (%)	3,596	8,62	7,57	-
Kadar abu (%)	5,93	6,83	5,51	-
Kerapatan (gr/cm)	0,481	1,21	0,4407	-
Nilai kalor (kal/gr)	7289	7000	6230	6814,11

Sumber : Santoso, 2003

## **Biodiesel**

Saat ini penggunaan bahan bakar fosil pada mesin –mesin kompresi memiliki kelemahan berupa ketersediaan yang semakin menipis dan dampak emisinya yang besar. Pembentukan bahan bakar fosil memerlukan proses yang panjang menjadikan keterbatasan dalam jumlah sehingga memunculkan ketidakstabilan harga pencetus resesi ekonomi secara global.

Biodiesel merupakan salah satu jenis energi alternative yang memiliki potensi sebagai pengganti bahan bakar fosil untuk dampak yang lebih baik pada lingkungan. Saat ini penggunaan bahan bakar fosil pada mesin –mesin kompresi memiliki kelemahan berupa ketersediaan yang semakin menipis dan dampak emisinya yang besar. Biodiesel didapatkan dengan penggabungan minyak alami apapun secara kimia atau lemak dengan alcohol seperti methanol atau etanol.

Biodiesel menjadi nama yang diberikan kepada minyak nabati yang telah mengalami transesterifikasi dan menggantikan bahan bakar diesel [22]. Selain ketersediaannya yang relative melimpah dan terbarukan sifatnya relative lebih bersih dibandingkan dengan bahan bakar diesel [23]. Menurut [24] biodiesel memiliki keunggulan apabila dibandingkan dengan solar dari segi kandungan sulfur, titik nyala, kandungan aromatic dan *biodegradabilitas*. Akan tetapi menghasilkan daya yang sedikit lebih rendah, serta konsumsi bahan bakar yang lebih banyak untuk satuan daya yang sama.

Biodiesel dapat dibuat dari beberapa bahan baku seperti minyak kedelai, metanol dan katalis alkali [22] akan tetapi tingginya nilai kedelai sebagai produk pangan menjadikan produksinya menjadi kurang efektif. Selain itu biodiesel dapat juga diproduksi dari minyak dan lemak murah dari limbah restoran akan tetapi memproses minyak dan lemak berbiaya rendah ini sering mengandung asam lemak bebas (FFA) dalam jumlah besar yang tidak dapat dikonsumsi, Biodiesel saat ini juga dapat diproduksi dari minyak sawit, nilai kalor yang lebih tinggi (HHV) dari biodiesel 39 – 41 MJ/kg sedikit lebih rendah dibandingkan bensin yaitu 46 MJ/kg atau minyak bumi 42 MJ/kg tetapi lebih tinggi dari batubara 32 – 37 MJ/kg.

Berikut perbandingan antara karakteristik biodiesel dibandingkan dengan bahan bakar diesel

- Sifat pembakaran; biodiesel lebih bersih dibandingkan dengan diesel yang relatif menimbulkan polusi dan mengganggu kesehatan.
- Sifat pelumasan; biodiesel memiliki sifat pelumasan sedangkan diesel tidak
- Angka Cetana; biodiesel lebih tinggi dari diesel

- Emisi CO<sub>2</sub>; biodiesel memiliki emisi 78% lebih rendah dibandingkan diesel yang saat ini memiliki emisi CO<sub>2</sub> penyebab pemanasan global.
- Emisi zat padat dan gas buang; biodiesel menghasilkan sedikit jelaga, CO, hidrokarbon dan SO<sub>2</sub> sedangkan diesel menghasilkan lebih banyak
- Efek terhadap lingkungan; biodiesel relative bersifat tidak beracun dan mudah terurai. Sedangkan diesel bersifat biodegradable lebih rendah dari biodiesel dan penyebab utama gas rumah kaca.

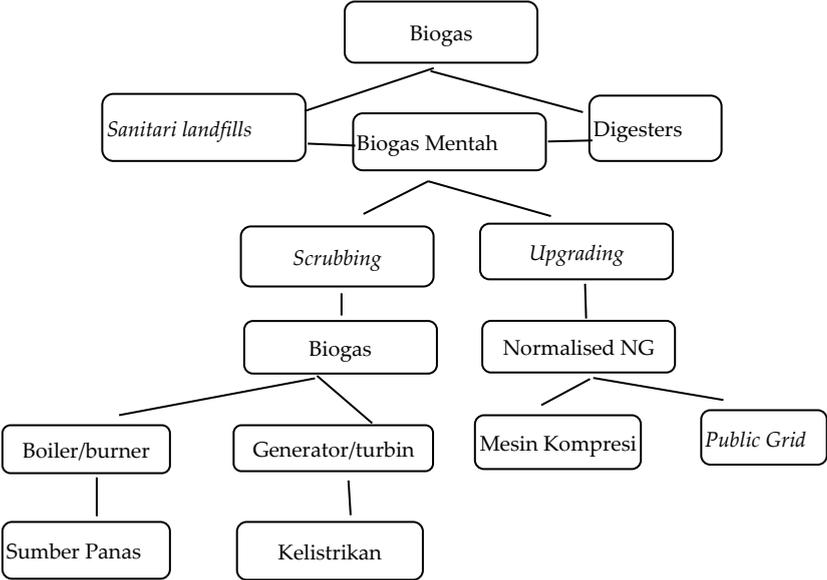
Menjadi sebuah keistimewaan yang dimiliki biofuel cair biodiesel adalah sifatnya yang terbarukan karena berasal dari tumbuhan dan hewan yang sifatnya mudah ditemukan dan memiliki masa perkembangan yang cepat, meskipun harus bersaing dengan ketersediaan pangan bagi kebutuhan hidup. Sifat bersih dari biodiesel juga menjadi tambahan keunggulan yang dimiliki menjadikannya pilihan bagi pengganti bahan bakar fosil dalam upaya decarbonisasi dan solusi kelangkaan bahan

## **Biogas**

Biogas merupakan biofuel dalam bentuk gas yang berasal dari proses pencernaan bahan organik secara anaerobic, merupakan produk energi yang berasal dari proses pembusukan materi tanpa oksigen yang dilakukan pada sebuah digester anaerob. Dimana gas merupakan hasil peruraian materi oleh bakteri anaerob. Bahan baku biogas biasanya berupa kotoran baik hewan ataupun manusia dan produk limbah organik. Biogas mengakomodasi kepentingan krisis energi dan isu lingkungan dengan melakukan perubahan

limbah yang membebani lingkungan menjadi sumber energi alternatif. Potensi dari biogas untuk menggantikan bahan bakar fosil masih menjadi perdebatan banyak kalangan karena produksi yang dihasilkan masih sangat minim dalam ukuran energi. Biogas terdiri dari 50-80% metana, 15-45% karbondioksida, air, hidrogen sulfida, dan nitrogen. Bagian yang dimanfaatkan sebagai bahan bakar adalah metana, sehingga diperlukan banyak proses untuk memurnikan biogas. Pemurnian berupa penghilangan kotoran, kelembapan, kandungan hydrogen sulfide dan karbondioksida sehingga dapat membentuk biometana dengan kualitas sama dengan gas alam. Seperti halnya gas alam, biometana dapat dicairkan menjadi biometana cair dan digunakan sebagai bahan bakar transportasi yang rendah emisi dan lebih disukai.

Berikut merupakan bagan skema umum biogas, sumber, teknik pengolahan dan pemanfaatannya:



Tahapan produksi biogas mencakup 4 hal penting yang terbagi menjadi fase – fase yaitu :

- **Fase Hidrolisis**, merupakan tahapan awal fermentasi pada proses produksi biogas, dimana senyawa yang dihasilkan pada tahap ini antara lain senyawa asam organik, glukosa, etanol, CO<sub>2</sub> dan senyawa hidrokarbon lainnya. dimanfaatkan oleh mikroorganisme sebagai sumber energi dalam aktivitas fermentasi selanjutnya. Dalam tahap ini terjadi pula proses perombakan struktur dari polimer menjadi monomer. Pada tahap hidrolisis secara umum terjadi penguraian bahan organik bersenyawa kompleks yang memiliki karakteristik mudah larut seperti lemak, protein dan karbohidrat menjadi senyawa lain lebih sederhana. Berikut merupakan ikhtisar reaksi kimia yang terjadi di dalamnya:



- **Fase Asidogenesis**, merupakan tahapan lanjutan setelah hidrolisis dimana pada tahap ini senyawa – senyawa asam organik seperti asam asetat, asam propionat, asam butirat dan asam laktat beserta produk sampingan seperti alkohol, CO<sub>2</sub>, hidrogen maupun zat amonia dihasilkan dari aktifitas bakteri. Adapun aktifitas bakteri pada tahapan ini mendapatkan sumber energi dari hasil fase hidrolisis sebelumnya.
- **Fase Asetogenesis**, tahapan ini kondisi derajat keasaman lingkungan berkisar 5,5 – 6,5 pada 30<sup>0</sup> C. Aktifitas bakteri asetogenik menghasilkan asam senyawa pendek hasil hidrolisis menjadi asam asetat, hidrogen dan karbondioksida yang ditunjang oleh oksigen dan karbon yang diperoleh dari oksigen terlarut.

- **Fase *Metanogenesis***, pada tahapan ini bakteri yang berperan adalah methanococcus, methanosarcina dan methanobacteri. Bakteri ini akan merubah produk lanjutan dari asetogenesis menjadi gas metan, karbondioksida dan air sebagai penyusun biogas.

## **E. TANTANGAN APLIKASI NATURAL GAS DAN BIOFUEL**

Tantangan dan hambatan penerapan energi terbarukan di sector perkapalan sangatlah kompleks namun dapat dikategorikan menjadi 4 hal, yaitu :

- 1) Organisasi (*Structural*), tantangan prinsip dalam bentuk organisasi lebih mengarah kepada pengaruh kekuasaan, territorial maupun kebijakan yang mengikat hubungan wilayah atau kenegaraan. Seperti halnya,
  - Pengaruh politik dan kekuatan dinamis antara wilayah utara dan selatan.
  - Struktur legislative dan politik
  - Budaya konservatif
  - Model pendekatan belum menyeluruh dan komprehensif
  - Kebijakan yang lebih focus kepada kapal-kapal besar dibandingkan dengan kapal kecil
- 2) Perilaku (*Behaviour*), mengacu kepada cara berfikir dan respon individu maupun kelompok terhadap sesuatu hal baru, seperti halnya :
  - Persepsi terhadap kompleksitas dan harga
  - Investasi yang akan dikeluarkan dan persepsi terhadap inovasi yang ada
  - Minimnya informasi terkait dengan penanganan maupun solusi teknologi penunjang pendamping.

- 3) Factor pasar (*Market Failure*), merupakan daya dukung dan penerimaan kondisi pasar terhadap teknologi dan hal baru yang ditawarkan. Seperti halnya,
- Investasi yang bersifat jangka panjang kadang menimbulkan keengganan
  - Alokasi insentif pada program
  - Kebijakan dan peraturan terhadap insentif pasar
- 4) Factor non pasar (*Non Market Failure*), semua yang merupakan factor non pasar yang berpengaruh terhadap penerapan program, seperti halnya;
- Ketidakpastian teknologi dan kompleksnya solusi
  - Kegagalan dalam sumber dan pengembangan investasi
  - Isu keselamatan dan keandalan
  - Biaya – biaya tak terduga
  - Akses pada pembiayaan yang belum terbuka/masih kurang
  - Kegagalan pada manajemen resiko

## **F. RANGKUMAN**

1. Bahan bakar alternative merupakan segala jenis dan bentuk bahan bakar non fosil beserta turunannya dengan ketersediaan energi melimpah, dapat diperbaharui, dan berkarakter bersih
2. Proses pembentukan natural gas terbagi menjadi 3 proses yaitu thermogenic, biogenic dan abiogenic
3. Natural gas dalam keadaan murni memiliki sifat tidak berwarna, tidak berbentuk dan tidak berbau. Sifatnya yang mudah terbakar dan menghasilkan energi yang cukup besar menjadikan natural gas sebagai salah satu alternative bahan bakar yang bersih dan menjanjikan

4. Biofuel merupakan sumber energi biomassa yang berasal dari tumbuhan dan hewan semacam kayu, tanaman, produk hasil pertanian maupun limbah tanaman dan hewan, dapat berupa bahan bakar padat, cair maupun gas yang bersifat dapat diperbaharui.
5. Biodiesel merupakan minyak nabati yang telah mengalami transesterifikasi dan menggantikan bahan bakar diesel
6. Biogas merupakan biofuel dalam bentuk gas yang berasal dari proses pencernaan bahan organik secara anaerobic, merupakan produk energi yang berasal dari proses pembusukan materi tanpa oksigen yang dilakukan pada sebuah digester anaerob
7. Tahapan produksi biogas mencakup 4 hal penting yaitu fase *Hidrolisis*, fase *Asidogenesis*, fase *Asetogenesis*, fase *Metanogenesis*
8. Tantangan dan hambatan penerapan energi terbarukan di sector perkapalan sangatlah kompleks namun dapat dikategorikan menjadi 4 yaitu organisasi (*Structural*), Perilaku (*Behaviour*), Factor pasar (*Market Failure*), dan Factor non pasar (*Non Market Failure*)

## G. EVALUASI DAN LATIHAN SOAL

1. Ceritakan bagaimana sejarah perkembangan natural gas sebagai bahan bakar hingga saat ini!
2. Bagaimanakah proses terbentuknya natural gas, jelaskan!
3. Apakah yang anda ketahui tentang briket? Dan bagaimana proses pembuatannya?
4. Apakah yang menjadi keunggulan dari biodiesel dibandingkan dengan bahan bakar diesel?
5. Jelaskan yang anda ketahui tentang fase *asidogenesis* pada proses biogas!
6. Apakah fungsi dan peran bakteri metana?
7. Apakah perbedaan antara biogas dengan natural gas? Tinjau dari proses terbentuk dan karakteristiknya
8. Apa saja yang menjadi tantangan dan hambatan pada penerapan energi terbarukan di sector maritime pada khususnya?



# **BAB 4**

## **SISTEM SCRUBBER SULFUR**

### **A. TUJUAN PEMBELAJARAN**

1. Mahasiswa memiliki pengetahuan tentang teknologi scrubber sulfur pada aplikasi permesinan kapal yang menjadi daya dukung penurunan emisi pada bidang maritime.
2. Mahasiswa mempelajari tentang sistem scrubber sulfur, bagaimana cara kerjanya, jenis – jenis scrubber, pro dan kontra penerapan scrubber serta bagaimana pandangan komersialisasi terhadap produk ini.

### **B. PENDAHULUAN**

Penggunaan bahan bakar fosil pada sector pelayaran perkapalan memberikan dampak negative pada lingkungan dalam bentuk emisi salah satunya sulfur. International Maritime Organisation (IMO) merespon dengan pemberlakuan persyaratan prosentase kandungan sulfur dalam gas buang. Transportasi perkapalan merupakan salah satu moda yang banyak menghasilkan emisi terkait karena jenis bahan bakarnya yang memang sangat berpotensi sebagai penghasil emisi tinggi, diperkirakan sebesar 5,5% dari seluruh emisi lingkungan di bumi dihasilkan dari sector perkapalan [25]. Isu yang berkembang adalah terkait pengurangan emisi belerang, nitrogen dan karbondioksida pada armada laut. Data menunjukkan sekitar 63% dari lalu lintas angkutan barang dan jasa di dunia adalah memanfaatkan jasa transportasi laut

dengan perkiraan data konsumsi 5-6 juta barel per hari. Tentu saja hal ini jika dilakukan berbulan-bulan menuai konsekuensi berupa bencana yang berasal penggunaan bahan bakar fosil tersebut.

Dalam pengurangan konsekuensi terhadap lingkungan hidup maka sebagai bentuk dukungan dalam bidang maritime, melalui annex VI Marpol 73/78 pada tahun 2010 menetapkan kandungan sulfur maksimum sebesar 3,5%, hingga Januari 2020 IMO menetapkan batas global untuk sulfur hingga 0,5% [26]. Fakta penerapan regulasi ini menjadi satu dorongan kuat perubahan pada sistem teknologi pengoperasian kapal yang mengarah pada transformasi signifikan dalam pembuatan kapal, bahan bakar dan operasional serta peralatan kapal. Scrubber menjadi salah satu intervensi teknologi yang dapat dipergunakan untuk mereduksi SO<sub>x</sub> dan CO<sub>2</sub> hingga dapat memenuhi pada tingkat level regulasi yang ditetapkan.

### **C. TEKNOLOGI & SISTEM SCRUBBER SULFUR**

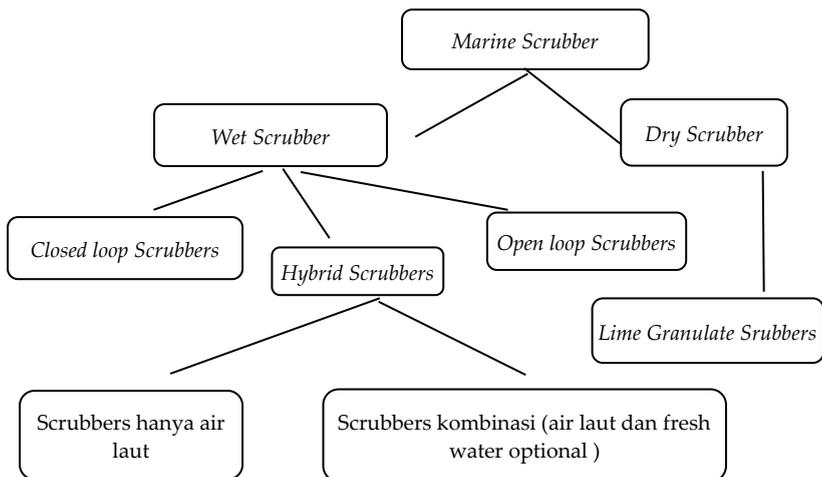
Scrubber secara umum merupakan suatu peralatan yang dipergunakan untuk menangkap partikel padat, pengotor gas dari campuran dan debu dengan cara dibasahi dengan cairan. Pengumpulan gas dan debu terjadi secara hidrodinamik, elektrostatis, dan proses difusi yang dihasilkan melalui turbulensi aliran. Dapat dikatakan bahwa scrubber secara teknis merupakan sistem pembersihan gas buang atau SO<sub>x</sub>. Istilah scrubber pada masa lama dikaitkan dengan peralatan control polusi dengan menggunakan cairan untuk mencuci polutan yang tidak diinginkan dari aliran gas buang, sedangkan pada masa kini lebih dipergunakan sebagai penggambaran sistem untuk memastikan bahan aktif kering

(dry) atau liquid (wet) pada aliran gas buang “kotor” untuk mencuci gas asam.

Scrubber berbentuk seperti menara, menyediakan pergerakan berlawanan arus dari udara kotor yang berat dan cairan. Udara kotor disuplai ke bagian bawah scrubber melalui pipa saluran masuk kemudian naik sepanjang badan menara karena pengaruh tekanan dan penyemprotan bahan cair (zat penyerap) pada nosel multi level. Reaksi bahan kimia dengan kotoran berbahaya dalam bentuk lumpur disimpan dalam tempat khusus, sedangkan gas yang dimurnikan dibuang melalui saluran gas pada bagian atas menara.

Jenis dan besar scrubber tergantung pada parameter kerja kapal, seperti wilayah kerja, jumlah mesin, volume dan komposisi gas buang.

### Klasifikasi Marine scrubber:



Gambar 4.1 Klasifikasi *Marine Scrubbers*  
(sumber : Marine insight, scrubber system on ship)

## **I. *Wet Scrubber* :**

*Wet scrubber* merupakan suatu sistem yang bekerja mengumpulkan polutan partikel dan gas dalam tetesan atau butiran liquid. Untuk pengotor dalam bentuk partikel maka dilakukan teknik penangkapan melalui tetesan atau butiran liquid. Sedangkan pengotor dalam bentuk gas, scrubber bekerja dengan cara melarutkan atau menyerap polutan ke dalam liquid. Sistem *wet scrubber* mendapatkan antusiasme yang cukup baik dalam pemakaiannya karena efisiensi pembersihan udara yang cukup tinggi, biaya produksi yang relative rendah meskipun masih terdapat kelemahan karena penggunaannya berpotensi berbahaya pada penggunaan tidak standar dapat menyebabkan suhu dan kelembapan tinggi, resiko pembakaran spontan dan ledakan gas. Sistem kerja wet scrubber terbagi menjadi tiga sistem yaitu :

### **1. Skema Scrubber Terbuka (*Opened Loop Scrubber*)**

- Merupakan sistem scrubber yang paling sederhana, dan relative berbiaya rendah. Konstruksi relative sederhana
- Tidak mempergunakan reagen berbahaya (*no hazardous reagen*) dalam siklus operasionalnya
- Secara umum dengan sifat basa alami dari air laut mampu menetralkan oksida belerang yang terkandung dalam bahan bakar minyak dengan kandungan sulfur 3,5%
- Skema pekerjaan *open loop scrubber* adalah sebagai berikut :

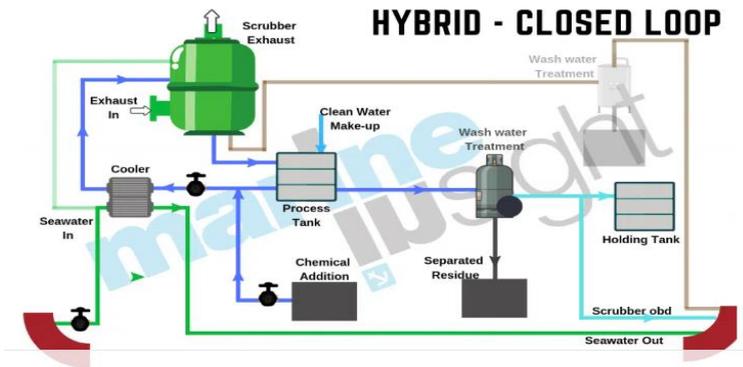


## 2. Skema Scrubber Tertutup (*Closed Loop Scrubber*)

- Skema ini lahir karena kesadaran bahwa sistem pembuangan air cucian ke laut memiliki dampak langsung yang tidak baik bagi lingkungan.
- Sistem konstruksi lebih kompleks dan operasional relative lebih rumit. Menggunakan reagen berbahaya dalam operasionalnya.
- Biaya produksi dan operasional relative lebih mahal dibandingkan dengan sistem yang terbuka.
- Sistem ini tidak mengambil air laut secara langsung akan tetapi memanfaatkan air yang berasal dari proses dalam kapal itu sendiri.
- Air bersirkulasi dari tangki air menuju menara scrubber dan kembali, air menyerap belerang, panas, debu dan padatan yang ada dalam gas buang.
- Untuk menetralkan oksida belerang, dipergunakan komponen basa seperti NaOH. Ketika NaOH bertemu dengan oksida belerang maka terjadi reaksi kimia yang menghasilkan  $\text{Na}_2\text{SO}_3$  dan  $\text{CO}_2$  dimana selanjutnya bersama partikel padat disimpan dalam tangki khusus yang dikontrol dan diawasi secara ketat. Sedangkan untuk kontaminan lumpur disimpan dalam tangki tersendiri. Tangki tersebut nantinya dikosongkan dalam periode tertentu. Hal ini menyebabkan dibutuhkannya tenaga dan kru khusus dalam pelaksanaannya.
- Berikut merupakan skema scrubber sistem tertutup :



- Sistem dapat dijalankan dengan bahan bakar yang berbiaya lebih rendah untuk jangka waktu yang lebih lama
- Sistem ini dapat menjadi solusi ekonomis sekaligus merupakan upaya pencapaian regulasi internasional.
- Berikut ini merupakan skema sistem hybrid scrubber:



Gambar 4.4 Skema hybrid closed loop

- Adapun keuntungan dari sistem ini adalah cocok untuk kapal berperjalanan pendek ataupun panjang. Sistemnya yang lebih fleksibel memungkinkannya untuk menghabiskan banyak waktu di zona ECA maupun di pelabuhan dibandingkan dengan sistem loop terbuka.
- Dapat menggunakan HFO yang berbiaya lebih rendah
- Sedangkan kekurangan dari sistem ini adalah dibutuhkan modifikasi struktural lebih lanjut yang menambah biaya investasi instalasi yang lumayan dan memerlukan waktu.
- Membutuhkan ruang penyimpanan yang besar untuk bahan kimia maupun bahan tambahan lainnya

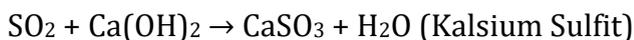
## II. Dry Scrubber

- Scrubber jenis ini tidak menggunakan air sebagai bahan scrubbing melainkan pelet kapur terhidrasi sebagai bahan penghilang sulfur.
- Suhu scrubber lebih tinggi dibandingkan scrubber basah sehingga dapat membakar sisa jelaga dan minyak dalam sistem.
- Sistem ini membutuhkan lebih sedikit tenaga dibandingkan yang basah karena tidak memerlukan pompa sirkulasi, meskipun begitu memiliki bobot yang lebih besar dibandingkan yang basah.

- Sistem kerja dry scrubber adalah sebagai berikut :

Kalsium yang terkandung dalam butiran kapur kaustik bereaksi dengan sulfur dioksida dalam gas buang membentuk kalsium sulfit. Kemudian beroksidasi dengan udara membentuk kalsium sulfat dehidrasi yang dengan air membentuk gipsum.

Reaksi yang Terlibat



- Pelet bekas (gipsum) disimpan di kapal untuk dibuang di pelabuhan dan dapat dimanfaatkan sebagai bahan pupuk dan konstruksi.
- Beberapa keuntungan yang didapatkan dari sistem ini adalah tidak adanya hasil produksi limbah cair yang harus dibuang ke laut, terdapat penghilangan oksida nitrogen dan

sulfur secara efisien, gypsum yang diperoleh menjadi produk yang dapat dimanfaatkan kembali.

- Sedangkan kekurangannya adalah dibutuhkan penyimpanan onboard yang signifikan untuk menangani reaktan curah kering, reaktan harus selalu tersedia dan harganya cukup mahal terutama urea untuk pengurangan NOx dan kalsium hidrosida untuk SOx.

### **Mekanisme Penangkapan Partikel pada Scrubber:**

1. *Impaction*, merupakan mekanisme pengumpulan partikel dengan ukuran yang terlalu besar untuk mengalir di sepanjang arus streamline gas di sekitar droplet akan bertubrukan dengannya
2. *Difusi*, mekanisme ini dipergunakan untuk partikel yang sangat kecil bergerak secara acak bertubrukan dengan droplet karena mereka terkurung dalam ruang yang terbatas
3. *Direct Interception*, merupakan mekanisme kelanjutan dari *impaction*. Titik pusat partikel mengikuti streamline sekitar droplet, namun peleburan terjadi jika jarak antara partikel dan droplet kurang dari radius tersebut.
4. *Electrostatic*, merupakan mekanisme penangkapan untuk partikel dan droplet menjadi saling berlawanan dan tertarik satu sama lain
5. *Kondensasi*, merupakan mekanisme penangkapan partikel dalam arus gas ketika gas panas menjadi dingin dengan cepat. Disini partikel bertindak sebagai inti kondensasi dan akhirnya semakin besar.

6. *Gaya Sentrifugal*, mekanisme berbentuk kurvatur yang menyebabkan arus gas berputar dalam gerakan spiral, melemparkan partikel besar ke dinding sistem
7. Gravitasi, mekanisme penangkapan partikel dalam jumlah yang cukup besar dan pergerakannya lambat sehingga kemudian jatuh dan dikumpulkan.

**Selain itu yang mempengaruhi desain sistem scrubber antara lain :**

1. Kelajuan aliran gas buang, suhu dan kelembapan
  - Makin tinggi laju aliran gas, makin besar sistem venture dan volume scrubbing liquid yang dibutuhkan untuk mencuci gas
  - Ketika udara melewati wet scrubber, air menguap dan menyebabkan humiditas meningkat dan mendinginkan arus gas.
  - Jumlah penguapan ditentukan oleh temperatur inlet dan humiditas. Laju penguapan yang tinggi akan meningkatkan konsumsi air yang dibutuhkan liquid to gas ratio.
  - Temperatur tinggi mempengaruhi material yang digunakan untuk membuat scrubber.
2. Kecepatan gas dan pressure drop
  - Peningkatan kecepatan gas dan droplet meningkatkan momentum partikel, meningkatkan pressure drop, kebutuhan energi, dan biaya operasional scrubber.

### 3. Rasio Liquid to gas (L/G)

- Banyaknya volume liquid yang diinjeksikan per volume gas masuk (L/G) ratio dapat meningkatkan collection efficiency. Secara umum hal ini akan meningkatkan biaya operasi karena penggunaan scrubbing liquid yang besar dan pompa.

### 4. Residence time

- Dengan menambah panjang *throat* dan bagian *diverging* dapat meningkatkan waktu antara liquid dan partikel pengotor dalam arus gas. Untuk sistem energi tinggi maka direkomendasikan panjang bagian *diverging* dari *throat* minimal 4 kali lebar *throat* agar memenuhi waktu yang cukup

### 5. Ukuran droplet

- Ukuran droplet lebih kecil memiliki permukaan lebih besar terhadap rasio volume, sehingga menangkap partikel lebih banyak per volume yang diinjeksikan.
- Jika ukuran droplet terlalu kecil, momentum dari arus gas dapat berpindah ke droplet yang akan menurunkan kecepatan relatif antara droplet dan partikel. Kecepatan relatif rendah akan menghasilkan *collection efficiency* yang rendah pula.

### 6. Persamaan pressure drop

## **D. PRO KONTRA SISTEM SCRUBBER SULFUR**

Sistem Scrubber pada bidang perkapalan menjadi salah satu upaya dalam menjawab tantangan lingkungan dengan kebutuhan akan lingkungan dan udara yang lebih bersih bagi kesehatan manusia pada khususnya. Teknologi hadir dengan

segala kelebihan dan kekurangannya. Beberapa hal penting yang kemudian menjadi catatan kelebihan scrubber dalam bidang perkapalan adalah sebagai berikut :

1. Data menunjukkan bahwa terdapat pengurangan 77% emisi SO<sub>x</sub> dari gas buang kapal menjadi data yang signifikan bagi peningkatan kesehatan, pengurangan penyakit paru, kardiovaskuler. Sedangkan bagi lingkungan berdampak pada pencegahan hujan asam dan pengasaman laut.
2. Udara yang lebih bersih karena adanya reduksi Sulfur Oksida
3. Bahan bakar menjadi lebih berkualitas tinggi dalam upaya memenuhi IMO 2020
4. Peningkatan kesiapsiagaan bagi operator kapal, pemilik dan kilang
5. Kapal terpantau oleh pihak berwenang untuk kepatuhannya.

Adapun kekurangan Teknologi Scrubber yang menjadi kontra terhadap implemtasinya adalah sebagai berikut :

1. Mahalnya investasi awal
2. Pemasangan membutuhkan waktu sehingga menurunkan operasional kapal
3. Scrubber tidak menghilangkan NO<sub>x</sub> dan CO<sub>2</sub>
4. Munculnya potensi masalah pembuangan limbah atau residu sisa scrubber.

Kepatuhan dan konsistensi terhadap upaya pengurangan sulfur menjadi satu hal yang penting. Target dalam masa depan adalah 10 – 15% unit armada kapal telah memasang sistem scrubber untuk menangkap emisi sulfur dan partikulat halus

sebagai produk gas buang. Teknologi Scrubber basah (*wet scrubber*) diperkirakan akan mendominasi pasar global. Teknologi *Exhaust Gas Recirculation* (EGR) dan Scrubber menjadi solusi teknologi yang efektif bagi pengurangan sulfur.

## E. RANGKUMAN

1. Scrubber menjadi salah satu intervensi teknologi yang dapat dipergunakan untuk mereduksi SO<sub>x</sub> dan CO<sub>2</sub> hingga dapat memenuhi pada tingkat level regulasi yang ditetapkan.
2. Scrubber secara umum merupakan suatu peralatan yang dipergunakan untuk menangkap partikel padat, pengotor gas dari campuran dan debu dengan cara dibasahi dengan cairan
3. Sistem *wet scrubber* mendapatkan antusiasme yang cukup baik dalam pemakaiannya karena efisiensi pembersihan udara yang cukup tinggi, biaya produksi yang relative rendah meskipun masih terdapat kelemahan karena penggunaannya berpotensi berbahaya pada penggunaan tidak standar dapat menyebabkan suhu dan kelembapan tinggi, resiko pembakaran spontan dan ledakan gas
4. Sistem *dry scrubber* memiliki beberapa keuntungan yang didapatkan dari sistem ini adalah tidak adanya hasil produksi limbah cair yang harus dibuang ke laut, terdapat penghilangan oksida nitrogen dan sulfur secara efisien, gypsum yang diperoleh menjadi produk yang dapat dimanfaatkan kembali.
5. Sistem *dry scrubber* memiliki kekurangan yaitu dibutuhkannya penyimpanan onboard yang signifikan untuk menangani reaktan curah kering, reaktan harus

selalu tersedia dan harganya cukup mahal terutama urea untuk pengurangan NO<sub>x</sub> dan kalsium hidrosida untuk SO<sub>x</sub>.

6. Sistem Scrubber pada bidang perkapalan menjadi salah satu upaya dalam menjawab tantangan lingkungan dengan kebutuhan akan lingkungan dan udara yang lebih bersih bagi kesehatan manusia pada khususnya.
7. Teknologi *Exhaust Gas Recirculation* (EGR) dan Scrubber akan menjadi solusi teknologi yang efektif bagi pengurangan sulfur.

## F. EVALUASI / SOAL LATIHAN

1. Jelaskan perkembangan regulasi terkait upaya reduksi sulfur pada gas buang hasil aktifitas perkapalan!
2. Apa yang anda ketahui tentang scrubber sulphur system?
3. Sebutkan dan jelaskan jenis – jenis scrubber yang dipergunakan pada bidang perkapalan!
4. Apa yang anda ketahui tentang perbedaan besar antara wet scrubber dan dry scrubber?
5. Mengapa hybrid scrubber dikatakan lebih fleksibel dalam operasionalnya?
6. Apa yang menjadi perbedaan antara mekanisme penangkapan partikel secara *impaction* dan *difusi*?
7. Jelaskan mengapa suhu dan kelembapan menjadi salah satu parameter penentuan desain sistem scrubber?
8. Gambarkan skema hybrid scrubber!
9. Apa perbedaan mendasar antara *wet* dan *dry scrubber*?
10. Secara umum jelaskan keunggulan dan kelemahan sistem scrubber!

# **BAB 5**

## **TEKNOLOGI SISTEM PROPULSI BERBANTU ANGIN**

### **A. TUJUAN PEMBELAJARAN**

Mahasiswa dapat memahami tentang :

1. Sejarah perkembangan sistem dan jenis layar
2. Teknologi sistem propulsi berbantu angin sebagai alternative sumber energi hijau sebagai solusi kelangkaan bahan bakar fosil dan penurunan emisi

### **B. PENDAHULUAN**

Teknologi penggunaan layar pada kapal sebenarnya bukan merupakan hal yang baru pada bidang perkapalan. Teknologi ini telah muncul jauh sebelum munculnya mesin uap dan memonopoli laut lepas sebagai tenaga yang menggerakkan kapal. Seiring dengan perkembangan teknologi dan tingkat kebutuhan maka lambat laun teknologi tersebut tergantikan dengan bahan bakar fosil. Penggunaan bahan bakar fosil dengan segala dinamisasinya, kelebihan dan keunggulannya selama berpuluh tahun menjadi primadona industry dan transportasi pada akhirnya mencapai titik kelangkaan produksi karena sifatnya yang tidak terbarukan. Selain itu dengan adanya krisis pemanasan global sebagai akibat dari tingginya pencemaran udara hasil proses industry dan transportasi menjadikan respon regulasi berkembang kearah pengurangan penggunaan bahan bakar fosil.

Dalam data yang dilansir oleh [27] hampir 90% pengiriman barang di belahan dunia bergantung pada transportasi perkapalan, hal ini menjadikan transportasi kapal bertanggung-jawab atas 3% emisi CO<sub>2</sub> pada energi global. Kenyataan ini yang menjadi pendorong undang – undang maritime internasional memberlakukan beberapa target penurunan emisi seperti zero sulfur maupun zero carbon pada 2050. Intervensi teknologi hijau pada bidang perkapalan menjadi solusi bagi hal tersebut, dimana salah satunya nanti adalah dengan penerapan bahan bakar alternative untuk kapal.

Teknologi sistem propulsi berbantuan angin atau *wind assisted ship propulsion* (WASP) menjadi salah satu teknologi yang memanfaatkan energi terbarukan angin sebagai alternative energi untuk mengurangi konsumsi bahan bakar dan emisi. Teknologi ini akan dilengkapi dengan tenaga penggerak yang menghasilkan gaya aerodinamis. Meskipun dalam aplikasinya saat ini, tenaga penggerak angin masih memiliki banyak kelemahan seperti variasi kekuatan angin maupun dalam pergerakan dengan prinsip aerodinamis. Dalam perkembangannya saat ini teknologi berbantuan angin ini terbagi menjadi teknologi layar lunak (*soft sail*), layar tetap (*fixed sail*), layang – layang sistem (*kite system*) dan turbin angin (*wind turbine*) dan Solar Sailor. Energi berbasis angin ini mempunyai potensi untuk meningkatkan efisiensi operasi pelayaran secara signifikan dan memberikan kontribusi yang berarti terhadap dekarbonisasi industri, karena angin merupakan sumber energi yang tidak ada habisnya, tersedia bebas dan yang terpenting bersih emisi karbon.

Intervensi teknologi hijau dalam bidang perkapalan menjadi satu strategi yang diharapkan dapat menjadi solusi dalam upaya zero carbon 2050 mendatang. Tabel berikut memberikan gambaran seberapa besar prosentase pengaruh

masing – masing teknologi terhadap potensi penurunan green house gases (GHG)

Tabel 5.1. Intervensi teknologi dan potensi penurunan GHG

<b>Teknologi</b>	<b>Prosentase penurunan GHG</b>
Sistem propulsi berbantuan angin (WASP)	Lebih dari 30% [28][29][6][30]
Desain yang ramping (Slender design)	Lebih dari 15% [9]
Pelumasan Udara (Air Lubrication)	Lebih dari 13% [28]
Peningkatan muatan (increased cargo)	Lebih dari 10% [28]
Material	Lebih dari 10% [6]
Desain Propeler	Lebih dari 10% [28]
Bulbous Bow	Lebih dari 7% [11]
Penggunaan ulang panas (heat recirculation)	Lebih dari 6% [30]
Permukaan lambung (hull surface)	Lebih dari 5% [8]

Dari hasil pembacaan tabel diatas terlihat bagaimana teknologi sistem berbasis angina (WASP) memiliki tingkat prosentase penurunan gas rumah kaca yang paling signifikan.

### C. KATEGORI PENGGERAK BERBASIS ANGIN

Secara umum penggerak berbasis angin dapat dikelompokkan menjadi :

#### 1. Layar Lunak (*Soft Sail*)

- Merupakan layar fleksibel dengan ciri khas sebagaimana penampilan layar tradisional akan tetapi memiliki fitur inovatif dan diotomatisasi.
- Terdapat banyak jenis soft sail seperti *duplex rigs*, rig persegi (*freestanding square rigs*) dan model layar tiang berputar (*rotating masts*).

- Teknologi *soft sail* yang paling populer adalah Dynarig karena penggunaannya yang mudah. Dynarig memiliki ciri utama berupa tiang yang dibuat ringan dan mampu berputar sehingga menjadikan maneuver rig nyaman dan aman.
- Dalam *soft sail* ketika kapal berlayar melawan arah angin efisiensinya akan berkurang.
- Berikut beberapa bentuk *soft sail*:



Gambar 5.1 Gambar *Soft sail*  
 Sumber gambar: Irena, 2019 [31]

- Dalam perbandingan performanya pada layar sayap (*wingsail*) koefisien angkatnya lebih rendah namun semakin besar gaya angkatnya seiring dengan semakin besar luas permukaan layar.

## 2. Fixed / Rigid Sail (layar kaku)

- Bentuk layar kaku merupakan teknologi yang relative matang dengan ketidakpastian rendah pada biaya dan memiliki arsitektur sederhana tanpa motor besar.

- Bentuk layarnya kaku

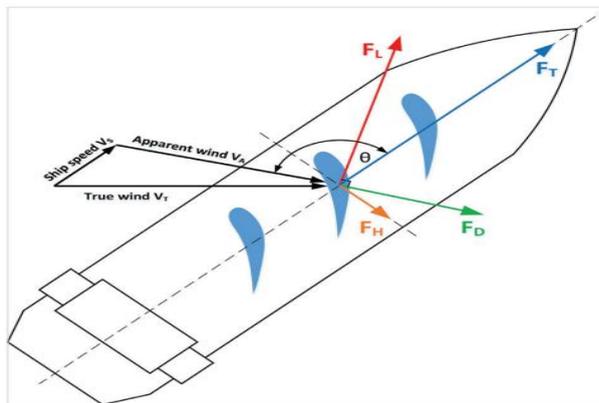


Gambar 5.2 : Contoh penggunaan layar kaku

### 3. *Wing Sail* (layar sayap)

- Prinsip pengoperasian layar sayap adalah memaksimalkan gaya angkat aerodinamis dengan memutar yang dipengaruhi oleh sudut serang angin.
- Profil layar berbentuk sayap dengan ketebalan bentuk airfoil mampu menghasilkan efek daya angkat dan dorongan yang kuat sambil mengurangi hambatan induksi yang memperlambat kapal
- Layar sayap dengan menggunakan tiang yang berputar  $360^{\circ}$  akan bekerja pada sudut angin yang berbeda dan bahkan melawan arah angin.
- Untuk optimalisasi gaya dorong, dalam kajian yang dilakukan oleh [32] layar sayap harus sekecil mungkin dan oleh karena itu harus menggunakan alat pengangkat tinggi, [33][34] double flap atau lipatan ganda memberikan gaya dorong yang lebih besar.

- Teknologi terkait tipe sayap ini masih perlu dikembangkan karena didapatkan fakta dilapangan adanya kesulitan dalam pengoperasian layar sayap multielemen.
- Gambar berikut menjelaskan hubungan antara geometri layar sayap terhadap gaya – gaya yang bekerja karena angin. Dalam gambar terdapat 4 gaya yang berpengaruh dan bekerja pada layar yaitu gaya dorong / *thrust force* ( $F_T$ ), gaya melayang / *drift force* ( $F_H$ ), gaya angkat / *lift force* ( $F_L$ ) dan gaya Tarik / *drag force* ( $F_D$ ). Sedangkan  $\theta$  merupakan sudut antara angin semu (*apparent wind*) terhadap garis memanjang kapal.



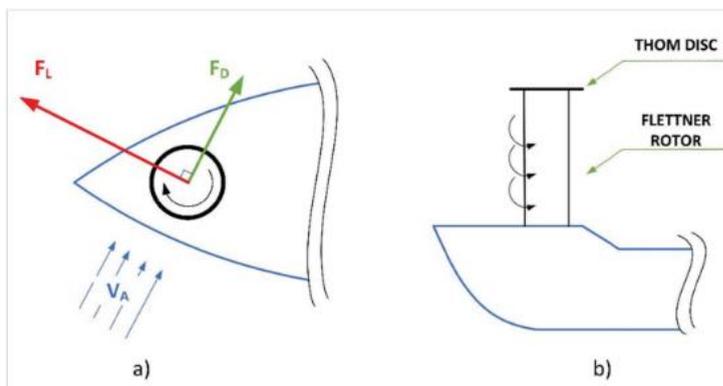
Gambar 5.3 Ilustrasi gaya – gaya yang bekerja pada layar  
 Sumber gambar: M.Petkovic, 2021 [35]



Gambar 5.4 : Contoh penggunaan layar kaku

## 4. Rotor

- Layar rotor atau sering disebut sebagai rotor flettner berbentuk silinder yang berputar, dipasang secara vertical di dek. Putaran rotor menggunakan motor listrik.
- Putaran rotor ini menghasilkan efek magnus yang menghasilkan gaya angkat tegak lurus terhadap vector angin semu yang tergantung pada rotasi arah silinder. Seperti yang ditunjukkan pada gambar xx didapatkan hubungan antara gaya – gaya yang bekerja pada layar rotor yaitu gaya angkat/lift force ( $F_L$ ), Gaya geser/drag force ( $F_D$ ) serta ilustrasi pergerakan flettner rotor terhadap Thom disc



Gambar 5.5. Ilustrasi gaya pada rotor

- Layar rotor pertama dipasang pada kapal bernama Backau pada tahun 1925. Konsep terbukti secara teknis dapat bekerja dengan baik hanya saja kemudian ditinggalkan karena situasi ekonomi yang memprihatinkan efek dari harga minyak yang rendah.
- Menurut [36] layar rotor dapat mencapai penghematan bahan bakar hingga 20% pada kapal cargo komersial dengan asumsi tiga rotor dipasang.

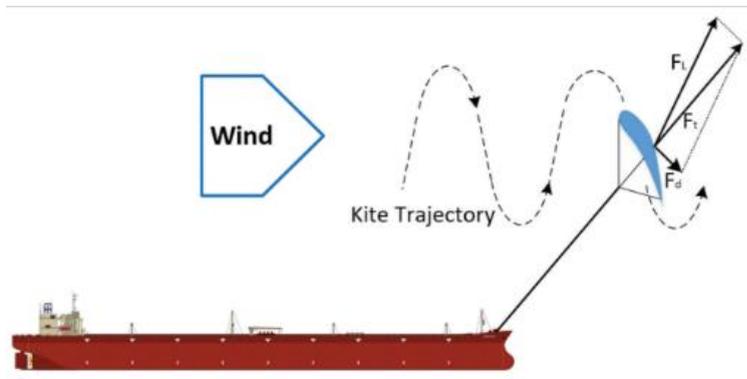
- Rasio putaran rotor memiliki implikasi yang signifikan pada pengendalian aliran. Daya bersih yang dihasilkan akan menurun seiring dengan bertambahnya koefisien rotasi
- Dalam uji eksperimen yang dilakukan didapatkan hasil bahwa rotor flettner menghasilkan 50% daya dorong nominal pada kondisi angin sepoi dan 100% pada angin sedang.
- Dalam suatu uji didapatkan penghematan bahan bakar 2,6 % hanya dengan satu rotor. Penambahan satu rotor menunjukkan penghematan bahan bakar hingga 6,1 %



Gambar 5.6 Rotor dalam aplikasi

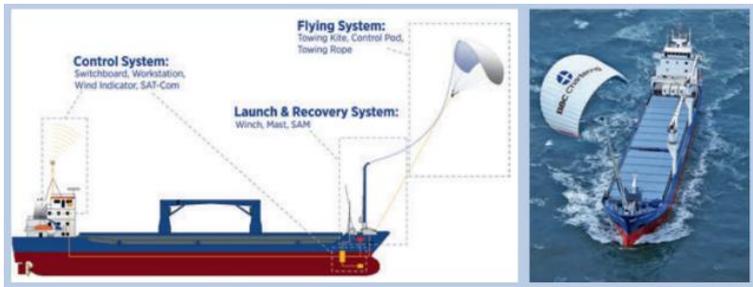
## 5. *Kite Sail*

- Layar jenis ini berbentuk layang – layang dengan prinsip dasar menarik kapal dengan bantuan angin. Untuk mendapatkan gaya tarik maksimal maka layar jenis ini diterbangkan pada ketinggian 100 – 300 meter. Berikut merupakan ilustrasi layar berbentuk layang – layang dengan gaya yang bekerja di dalamnya. Gaya tersebut adalah gaya angkat/*lift force* (FL), gaya geser/*drag force* (FD) dan gaya total (FT)



Gambar 5.7 Gaya pada layar layang – layang

- Dalam penelitian [37] yang dilaksanakan secara eksperimen dinyatakan perlu adanya model atau jalan titik-massa dengan lintasan berbentuk delapan. Ilustrasi menunjukkan bahwa layar layang – layang seluas  $15 \text{ m}^2$  mampu menarik perahu nelayan kecil berukuran  $30 \text{ m}^2$  dan dampak positifnya tentu saja operasional kapal tanpa emisi gas buang
- Penelitian yang dilakukan oleh [38][39] dinyatakan penghematan bahan bakar sebesar 10 - 15% dan daya hingga 2 MW pada kondisi angin yang menguntungkan. Penghematan bahan bakar yang dihasilkan pada layar layang – layang tergantung pada kecepatan angin, model menunjukkan pada kecepatan angin  $10 \text{ m/s}$  terjadi penghematan 10% dan meningkat menjadi hemat 50% pada kecepatan  $15,6\%$
- Beluga Skysails adalah kapal kargo container komersial pertama yang menggunakan layar layang – layang sebesar  $160 \text{ m}^2$  pada tahun 2008



Gambar 5.8 Pemakaian *kite sail* pada kapal

## 6. Turbin Angin (*wind turbine*)

- Turbin angin masih menjadi perdebatan dalam aplikasinya ketika ditempatkan pada kapal, karena hingga saat ini belum ada prototype yang berhasil. Kendala paling umum adalah pada sistem stabilitas, getaran dan efisiensi konversi energinya.
- Keunggulan turbin angin ini adalah dapat langsung dimanfaatkan tenaganya ketika arah angin sesuai dengan arah pelayarannya.
- Turbin angin dapat juga dipergunakan sebagai tenaga tambahan pengganti tenaga listrik yang biasanya disupply melalui *shore connection*

## 7. *Solar photovoltaics and hybrid systems (Solar Sailor)*

- Dalam konsep solar sailor, aplikasi yang terbentuk merupakan gabungan antara konsep layar dengan photovoltaic (PV) untuk menghasilkan gaya dorong kapal sekaligus daya listrik.
- Energi listrik yang berasal dari solar cell sebenarnya secara kalkulasi merupakan salah satu potensi sumber energi yang dapat dimanfaatkan untuk operasional kapal. Saat ini kendala utama dalam pengembangan PV adalah area penempatan yang terbatas untuk panel dan penyimpanan energi.

- Desain solar sailor yang telah diaplikasikan oleh Ocius Techno menggunakan layar tetap hibrida yang dipadukan dengan susunan PV pada layar maupun dek.



Gambar 5.9 Aplikasi solar sailor pada kapal

#### D. TANTANGAN & PROSPEK PENGEMBANGAN WASP

Seperti halnya teknologi pengembangan energi terbarukan secara umum, selain prospeknya yang sangat besar sebagai solusi permasalahan kekurangan energi bahan bakar minyak dunia dan tingginya tingkat pencemaran yang berpengaruh besar terhadap kelangsungan kehidupan di bumi, maka teknologi layar juga memiliki tantangan dalam pengembangannya. Faktor tantangan tersebut secara umum antara lain:

1. Dunia pelayaran secara umum memiliki karakteristik yang unik berbasis pada kebijakan masing – masing negara. Hal ini tentu menjadi tantangan tersendiri bagi perkembangan teknologi perkapalan.
2. Teknologi baru selalu membutuhkan investasi yang cukup besar, termasuk adaptasi teknologi yang membutuhkan biaya tambahan yang cukup besar.
3. Keterbatasan pembiayaan penelitian dan pengembangan pada proses pembuktian awal dan keraguan akan hasil menjadikan implementasi teknologi menjadi lambat

4. Kurangnya akses permodalan dan kurang tertariknya investor pada pengembangan teknologi baru tersebut.
5. Potensi sumber daya angin yang tidak menentu dan berbeda pada tiap-tiap wilayah juga menjadi pertimbangan
6. Sector pelayaran jarang tersorot umum sehingga mengurangi tekanan masyarakat terhadap inovasi teknologi yang berdampak pada lingkungan

## E. RANGKUMAN

1. Teknologi sistem propulsi berbantuan angin atau *wind assisted ship propulsion* (WASP) menjadi salah satu teknologi yang memanfaatkan energi terbarukan angin sebagai alternative energi untuk mengurangi konsumsi bahan bakar dan emisi.
2. Teknologi berbantuan angin ini terbagi menjadi teknologi layar lunak (*soft sail*), layar tetap (*fixed sail*), layang – layang sistem (*kite system*) dan turbin angin (*wind turbine*)
3. Teknologi sistem berbasis angin (WASP) memiliki tingkat prosentase penurunan gas rumah kaca yang paling signifikan
4. Terdapat banyak jenis soft sail seperti duplex rigs, rig persegi (*freestanding square rigs*) dan model layar tiang berputar (*rotating masts*).
5. Teknologi terkait tipe sayap (*wing sail*) ini masih perlu dikembangkan karena didapatkan fakta dilapangan adanya kesulitan dalam pengoperasian layar sayap multielemen.
6. Keunggulan turbin angin adalah dapat langsung dimanfaatkan tenaganya ketika arah angin sesuai dengan arah pelayarannya. Turbin angin dapat juga dipergunakan

sebagai tenaga tambahan pengganti tenaga listrik yang biasanya disuplay melalui *shore connection*

7. Saat ini kendala utama dalam pengembangan PV adalah area penempatan yang terbatas untuk panel dan penyimpanan energi.
8. Tantangan dan hambatan pada penggunaan WASP berupa tantangan kebijakan yang berbeda pada tiap negara, investasi yang besar, potensi sumber daya angin yang berbeda pada tiap daerah, adaptasi teknologi dan biaya pengembangan.

## F. EVALUASI / SOAL LATIHAN

1. Apakah yang anda ketahui tentang *wind assisted sail propulsion* WASP?
2. Sebutkan dan jelaskan yang menjadi perbedaan antara *soft sail* dan *rigid sail*!
3. Apakah yang dimaksud dengan solar sailor? Dan apa saja yang menjadi tantangan dalam perkembangannya?
4. Apa yang menjadi keunggulan sistem energi yang berbasis angin?
5. Sebutkan gaya – gaya yang bekerja dalam *kite sail system*!
6. Uraikan penjelasan terkait bagaimana teknologi penggerak berbasis angin dapat menjadi salah satu karakteristik eco friendly vessel!
7. Sebutkan apa saja yang menjadi kendala pengembangan *solar sailor* maupun sistem *photovoltaic* secara umum di kapal!

# **BAB 6**

## **CAT DAN PELAPIS LAMBUNG KAPAL**

### **A. TUJUAN PEMBELAJARAN**

1. Mahasiswa memahami tentang teknologi pelapis dan pengecatan kapal sebagai bagian dari teknologi hijau bidang perkapalan
2. Mahasiswa memahami bagaimana fouling menjadi resistensi kapal yang merugikan dan menurunkan efisiensi energy

### **B. PENDAHULUAN**

Sistem operasional kapal dalam melayani pengiriman barang di seluruh wilayah dunia semakin mengalami peningkatan. Diperkirakan sekitar 300 juta ton bahan bakar dikonsumsi per tahun melalui transportasi air. Hal ini tentu linear dengan peningkatan emisi yang dihasilkan oleh armada. International Maritime Organisation (IMO) memperkirakan terjadi peningkatan emisi udara yang diakibatkan karena terjadinya peningkatan konsumsi bahan bakar melalui pelayaran antara 38% dan 72% pada tahun 2020. Hal ini dapat di minimalisir apabila dilakukan intervensi tindakan perbaikan maupun implementasi teknologi hijau pada bidang perkapalan. Permasalahan lingkungan hidup, upaya penghematan energi, pengurangan emisi gas rumah kaca hingga penciptaan transportasi ramah lingkungan menjadi focus perhatian periset dari universitas, pusat riset maupun perusahaan pelayaran.

Dalam pelayaran, fouling merupakan fenomena yang tidak dapat dihindari dan sekaligus tidak diinginkan. Fouling menjadi satu hal yang menjadi sebab berkurangnya efisiensi karena menjadikan resistensi pada lambung kapal. Dampak resistensi yang besar pada kapal menjadikan tingkat konsumsi bahan bakar semakin besar. Pada kapal dengan lambung yang bersih, dan bebas fouling meningkatkan efisiensi energi. Lapisan anti fouling merupakan tindakan perlindungan utama untuk mengurangi biofouling sebagai upaya tindakan implementasi teknologi hijau menuju zero carbon 2050. Dalam sebuah informasi dinyatakan bahwa dengan aplikasi antifouling didapatkan penghematan bahan bakar sebesar \$60 miliar, pengurangan karbon dioksida sebesar 384 juta ton dan emisi sulfur dioksida sebesar 3,6 juta ton.

Teknologi pelapisan dan pengecatan merupakan bagian kegiatan saat dry docking dengan biaya yang relative besar, dikarenakan prosesnya yang detail dan memakan waktu. Pemeliharaan lambung kapal yang teratur menjadi implikasi yang baik dari terpeliharanya kecepatan kapal pada tingkat konsumsi bahan bakar yang minimal. Biaya bahan bakar dalam operasional berbanding terbalik dengan semakin tingginya kualitas cat lambung dan teknologi pengendali fouling kapal. Pada beberapa pemilik kapal prioritas hanya pada perlindungan terhadap korosi dan hal ini bukan serta merta menjadikan lambung kapal juga terbebas dari fouling. Cat antifouling sendiri memiliki beberapa ragam jenis dan tidak semuanya ramah lingkungan. cat antifouling TBT sangat disukai selama bertahun-tahun karena kemampuan antifoulingnya yang nyaris sempurna. Dengan penggunaan pelapis TBT kapal tidak perlu sering melakukan dry docking. Hanya saja terdapat kelemahan TBT yaitu sifatnya yang tidak ramah lingkungan, toksik terhadap kehidupan laut, dan persistensi lingkungan

perairan. Hal ini menyebabkan IMO melarang pelapis TBT. Kondisi inilah yang kemudian menjadikan teknologi penelitian terkait pengembangan antifouling ramah lingkungan menjadi prioritas.

### C. FOULING DAN DAMPAKNYA

Biofouling menjadi istilah yang dipergunakan pada proses akumulasi organisme laut yang dialami obyek akibat perendaman baik sebagian permukaan, semi terendam maupun seluruhnya [40]. Keberadaan organisme ini tidak dapat dihindari karena karakteristik mereka dan lingkungan laut yang unik dan beberapa memiliki kecenderungan untuk menempel pada permukaan, menetap dan tumbuh di atasnya. Fouling banyak terjadi saat kapal diam di pelabuhan dan lebih banyak terjadi pada daerah perairan tropis. Organisme laut tersebut diperkirakan melebihi 2500, marine fouler atau organisme pengotor laut menjadi satu fenomena invasi yang tidak dapat di hindari [41]. Pada fase 1, mereka segera menempel sesaat setelah kapal terendam air dan mulai menumpuk di lambung kapal. Untuk selanjutnya pada fase 2, bakteri dan uniseluler menumpuk pada permukaan sebagai film mikroba. Setelah itu menjadi seperti *slime* yang menghasilkan beberapa bahan kimia sekresi dan menyebabkan kekasaran permukaan yang mendorong terjadinya makrofouling. Pada fase 3 terjadi akumulasi pada fouling terjadi perbanyakannya semakin kompleks menjadi produsen primer multiseluler, penggembala dan pengurai. Adapun fase keempat merupakan fase penyelesaian dan pertumbuhan makro alga dan *fouling animal*. Berikut merupakan bentukan beberapa jenis fouling yang ada:

### ***Slime Fouling***

- Lapisan molekul organik ini terbentuk sesaat setelah benda apapun dibenamkan ke dalam laut.
- Berbentuk serupa lendir, berupa bakteri, diatom (*Achnantes*) dan alga berserabut.
- Lapisan *slime* pada kapal selalu ada namun tidak selalu terlihat.



Gambar 6.1. *Achnantes*

### ***Alga Fouling***

- Berawal dari sel individual yang membentuk rantai sel hingga memanjang.
- Contohnya adalah *Enteromorpha* (ganggang hijau) dan *ectocarpus* (ganggang coklat)
- Alga melekat kuat hingga mencapai batas akhirnya



Gambar 6.2. *Ectocarpus*

## ***Animal Fouling***

- Teritip, cacing tabung dan kerang merupakan contoh animal fouling yang terkenal dan cenderung banyak berkembang biak pada perairan subtropics.
- *Hard fouling/encrusters* merupakan istilah yang dipergunakan untuk fouling berbentuk cangkang
- Sedangkan teritip merupakan kelas organisme berbentuk larva (cyprids) yang menetap pada permukaan keras, berkapur. Apabila teritip menempel pada substrat maka tidak mudah dalam penghilangannya. Cangkang teritip mampu bertumbuh dari diameter 5 mm hingga menjadi 5 cm dan mampu melemahkan pelapis epoksi yang keras. Contoh teritip yang paling umum adalah *Acorn* dan yang khas adalah *Gooseneck*



Gambar 6.3 *Animal Fouling*

Biofouling di laut dipandang sebagai permasalahan dalam bidang ekonomi dan lingkungan. Biofouling terkait dengan peningkatan resistensi kapal, konsumsi bahan bakar, emisi GRK, dan invasi spesies dari tempat satu ke yang lainnya. Fouling dalam jumlah besar mengakibatkan peningkatan hambatan dan gesekan kapal yang menjadikan kecepatan kapal berkurang, hal ini meningkatkan tingkat konsumsi bahan bakar kapal. Menurut beberapa riset yang telah dilakukan sebelumnya, adanya kekasaran yang disebabkan oleh akumulasi biofouling dapat menyebabkan resistensi drag kapal hingga 40% dan mengurangi kecepatan jelajah hingga 86%. Tentunya hal ini akan menyebabkan peningkatan kebutuhan bahan bakar yang tidak diinginkan dalam operasional pelayaran.

Selain itu teritip yang bercangkang keras mengakibatkan kerusakan cat dan menjadi pencetus korosi pada kapal. Adapun dampaknya terhadap lingkungan, keberadaan biofouling menjadi masalah berupa invasi keberadaan mikroorganisme yang dapat merusak keanekaragaman hayati, kepunahan species dan menimbulkan penyakit. Dampak berikutnya lagi adalah adanya penyumbatan saluran pendingin maupun kerusakan pada saluran sistem kapal yang diakibatkan oleh aktifitas teritip sehingga menjadikan korosi.

Dengan melihat besarnya dampak yang ditimbulkan oleh keberadaan fouling maka tidaklah berlebihan apabila dikatakan bahwa pengadaan antifouling merupakan kegiatan investasi yang sangat berharga. Dengan adanya pelapis anti fouling maka didapatkan keuntungan terutama terkait efisiensi kapal terhadap spesifikasi awal desain.

## **D. PENGENALAN TEKNOLOGI COATING & PELAPISAN PADA KAPAL**

Secara pengertian yang dimaksud sebagai teknologi coating atau pelapisan adalah metode yang memberikan proteksi permukaan lambung kapal dari pengaruh luar yang bersifat korosif dan merusak material plat kapal. Dalam prinsipnya teknologi pelapis antifouling memberikan perlindungan yang efektif terhadap lapisan dengan menciptakan lingkungan yang tidak kondusif bagi perkembangan fouling serta melepas biosida dari lapisan. Pencegahan penempelan fouling terjadi dengan meminimalkan adhesi organisme dengan penggunaan pelapis berbasis silicon. Sedangkan untuk pelepasan biosida menjadi variatif tiap produk, konsumen memilih berdasarkan pada umur desain, pola pelayaran, sistem pelapisan dan anggaran yang tersedia. Perlu diketahui bahwa tingkat konsentrasi yang terlalu tinggi dapat berakibat negative pada organisme non target yaitu biota lain yang tidak menempel semisal ikan.

Pelapis lambung yang optimal hendaknya memenuhi persyaratan sebagai berikut :

1. Mampu mencegah atau membatasi biofouling pada segala profil dan kondisi kapal.
2. Ramah lingkungan dan atau tidak berdampak buruk pada lingkungan
3. Memiliki tingkat penggunaan yang ekonomis dan efisien
4. Berdampak guna dalam waktu yang panjang
5. Memiliki tingkat pelapisan yang kuat, tidak menimbulkan resistensi tinggi dan tahan lama.

## **Jenis Coating**

Terdapat 2 jenis coating secara umum yaitu berbasis biosida (*biocide*) dan non biosida (*non biocide*). Produk biosida yang kita kenal sebagai anti fouling biasanya terbentuk dari tembaga oksida. Jenis ini tergolong pada zat yang keras sehingga banyak dilarang di beberapa negara. Sehingga saat ini banyak produsen mulai mengembangkan anti fouling bebas tembaga.

Pada coating berbasis biosida, pelapis anti fouling memiliki karakteristik yang cukup baik dengan melakukan penggabungan bahan aktif biosida ke dalam matriks organik pembentuk lapisan film. Setelah dilakukan perendaman, bahan aktif dilepaskan secara terkontrol untuk mencegah dan atau membatasi biofouling.

## **Mekanisme Kerja**

- Mekanisme dan kemampuan biosida dalam melawan pertumbuhan maupun melepaskan fouling dari lambung kapal menjadi parameter kunci.
- Ketika biosida larut ke dalam air, maka perlahan lapisan akan berkurang konsentrasinya sehingga mengurangi tingkat fungsionalnya.
- Perawatan rutin dan berkala pada kapal menjadikan keberadaan biofouling terkendali. Dalam proses pemberian antifouling tentunya factor lokasi, suhu, dan aktifitas kapal menjadi parameter yang perlu dipertimbangkan. Hal ini menjadi dasar pertimbangan bagi pemasok antifouling untuk merancang produk dengan berbagai ketebalan lapisan/film yang berbeda termasuk biaya polesnya.

- Terdapat 3 cara peletakan biosida dalam coating sebagai pelapis permukaan yaitu :
  - a. Metode pencucian/*Leaching* dalam proses ini menghasilkan “*leached layer*”
  - b. Metode erosi / *Erosion* proses ini disebut juga ablative dan tidak terkendali, biosida rilis bervariasi dari waktu ke waktu.
  - c. Metode Poles sendiri / *self polishing* untuk metode ini pada umumnya menggunakan 2 cara yaitu melalui campuran resin hidrofobik dan hidrofilik dan *self smoothening* berdasarkan *silil akrilat* yang terhidrolisa

Berikut ini disampaikan tabel perbedaan antara jenis – jenis coating yang ada

Tabel 6.1 Jenis – jenis coating

Jenis Coating	Jangka waktu (tahun)	Kelemahan	Keuntungan
Tin – free SPC ( <i>Self-polishing copolymer coatings</i> )	3 – 5	Tingkat efisiensinya lebih rendah jika dibandingkan dengan coating berbasis TBT ( <i>tributyltin</i> )	Lebih murah dan lebih tidak beresiko terhadap lingkungan jika dibandingkan dengan coating berbasis TBT ( <i>tributyltin</i> )
CDP ( <i>Control depletion polymers</i> )	3	Kualitas pelapisannya kurang halus, Peningkatan <i>leached layer</i> seiring waktu perendaman, pelepasan biosida tidak konstan, berbiaya mahal karena ada penambahan pelapisan – pelapisan	

Jenis Coating	Jangka waktu (tahun)	Kelemahan	Keuntungan
<i>Fouling release</i>	5 - 10	Permukaan lapisan rentan kerusakan karena pengaruh air, pada kondisi statis berpotensi tidak mampu membatasi biofouling	Resiko terhadap lingkungan kecil dan memiliki daya gesek yang rendah

## Pengecatan Kapal (*Marine Coating*)

Pengecatan adalah salah satu teknologi pelapisan berupa produk cair (liquid) maupun bubuk yang mengandung zat pewarna sebagai film pelapis material yang melindungi material dari pengaruh lingkungan yang buruk. Adapun komposisi cat terdiri atas bahan dasar, bahan pengikat, pigmen pewarna, pelarut atau pengencer berupa solvent atau thinner, dan zat tambahan sesuai dengan pengaplikasiannya.

Secara umum, cat dapat berfungsi sebagai lapisan perlindungan (protektif), pemberi estetika (dekoratif), maupun bermisi khusus semisal sebagai anti fouling pencegah menempelnya biota laut pada plat kapal. Adapun peruntukan cat pada kapal secara khusus memang sedikit berbeda dengan yang lain mengingat lingkungan laut yang asin dan sangat korosif maka cat kapal haruslah tahan air asin dan korosi atmosferik. Untuk cat aplikasi pada kapal terbagi atas 3 tipe dasar sesuai komposisi cat.

1. Cat serbaguna, jenis cat ini berbahan dasar resin *alkid*, *bitumen* dan *Gilsonite*. Cat ini relative murah dan memiliki daya proteksi 5 – 6 bulan saja. Setelah masa proteksi habis maka kapal memerlukan pengecatan ulang kembali.
2. Cat berbasis karet terklorinasi, jenis cat ini memiliki ketahanan yang baik terhadap lingkungan air asin, garam

maupun pengaruh korosi atmosfer. Perlindungan setelah diaplikasikan adalah kisaran 2 tahun.

3. Cat berbasis resin epoksi, tipe cat ini secara harga relative mahal tetapi dengan daya kinerja yang juga tinggi. Masa proteksi cat jenis ini adalah 5 tahun.

Aplikasi cat di kapal memiliki perbedaan yang tergantung pada luas kapal itu sendiri. Berdasarkan hal tersebut maka area aplikasi kapal terbagi atas :

1. Zona utama satu yaitu bagian atas yang tidak dicelupkan ke dalam air laut. Pada zona ini paparan air laut berasal dari percikan akibat angin dan gelombang. Pada area ini cat yang paling cocok adalah cat yang berbahan dasar resin enamel.
2. Zona utama dua yaitu daerah sisi kapal yang berada di bawah air laut atau di atasnya air laut. Hal ini tergantung dari muatan kapal maupun draft kapal. Pada area ini cat berbahan dasar karet terklorinasi sangat cocok diaplikasikan.
3. Zona utama tiga yaitu daerah yang selalu berada di bawah air laut selama kapal beroperasi. Zona utama tiga merupakan daerah yang paling rawan terdampak korosi maupun penempelan fouling. Cat yang paling cocok adalah yang berbahan dasar bitumen maupun sesuai spesifikasi khusus.

Berikut merupakan contoh standar India untuk aplikasi cat laut :

- a. IS 1419 sebagai cat anti fouling bagi dasar dan lambung kapal.
- b. IS 1404 merupakan cat anti korosif bagi bawah dan lambung kapal

- c. IS 2074 sebagai cat dasar krom oksida – seng merah
- d. IS 6951 merupakan cat untuk finishing eksterior kapal
- e. IS 6714 sebagai cat ready mix dan finishing anti slip

## **E. EFISIENSI ENERGI DAN TEKNIK COATING**

Permasalahan yang terkait dengan efisiensi bahan bakar adalah hal urgent yang menjadi prioritas pada masa ini karena keterbatasan jumlah dan tingginya harga bahan bakar. Selain itu permasalahan lingkungan seperti tingginya emisi rumah kaca, SO<sub>2</sub> dan NO<sub>x</sub> menjadi daya dorong usaha – usaha efisiensi energi pada bidang transportasi. Pengendalian biofouling melalui perawatan rutin pada lambung menjadi salah satu cara yang ditempuh. Diketahui bahwa sebagai perawatan rutin suatu kapal komersial terjadwalkan interval dry docking pada 3–5 tahun sekali, dalam kurun waktu tersebut akan terjadi akumulasi mikro dan makroorganisme seperti ganggang, lendir, gulma maupun teritip yang berdampak negatif pada kapal berupa menurunnya kecepatan, kemampuan manuver, peningkatan konsumsi bahan bakar, dan tingkat emisi.

Dalam bidang perkapalan beberapa hal yang dapat dioptimalkan untuk mencapai efisiensi energi melalui pengurangan tahanan kapal yang secara langsung mampu menurunkan tingkat konsumsi bahan bakar adalah dengan mengurangi gesekan lambung kapal dengan air. Pada kapal berkecepatan rendah, dengan kondisi beban penuh resistansi berada pada tingkat yang lebih tinggi. Hal yang dapat ditempuh untuk mengurangi hal tersebut adalah dengan menerapkan lapisan pada lambung (*advanced coating*). Meskipun pelapis lambung canggih ini memiliki tingkat

investasi yang mahal namun dapat segera kembali dalam waktu yang relatif tidak lama.

Tahanan gesek merupakan komponen tahanan mayoritas pada kapal. Pada kapal cargo, *bulk carrier*, dan tanker yang biasanya bergerak lambat di perairan akan menghasilkan hambatan gesekan 70 – 90% dari hambatan total, sedangkan pada kapal cepat seperti kapal pesiar, kontainer kurang dari 40% hambatan total. Hal ini menjadi sebuah penguat bahwa teknologi pelapisan lambung menjadi satu hal yang penting. Pelapis lambung pada kapal berfungsi sebagai pencegahan peningkatan resistensi, potensi kerusakan mekanis dan akumulasi biofouling.

## **F. RANGKUMAN**

1. Fouling menjadi satu hal yang menjadi sebab berkurangnya efisiensi karena menjadikan resistensi pada lambung kapal
2. Pemeliharaan lambung kapal yang teratur menjadi implikasi yang baik dari terpeliharanya kecepatan kapal pada tingkat konsumsi bahan bakar yang minimal. Biaya bahan bakar dalam operasional berbanding terbalik dengan semakin tingginya kualitas cat lambung dan teknologi pengendali fouling kapal
3. Biofouling terkait dengan peningkatan resistensi kapal, konsumsi bahan bakar, emisi GRK, dan invasi spesies dari tempat satu ke yang lainnya. Fouling dalam jumlah besar mengakibatkan peningkatan hambatan dan gesekan kapal yang menjadikan kecepatan kapal berkurang, hal ini meningkatkan tingkat konsumsi bahan bakar kapal.

4. Terdapat 2 jenis coating secara umum yaitu berbasis biosida (*biocide*) dan non biosida (*non biocide*).
5. Pengecatan adalah salah satu teknologi pelapisan berupa produk cair (liquid) maupun bubuk yang mengandung zat pewarna sebagai film pelapis material yang melindungi material dari pengaruh lingkungan yang buruk
6. Peruntukan cat pada kapal secara khusus memang sedikit berbeda dengan yang lain mengingat lingkungan laut yang asin dan sangat korosif maka cat kapal haruslah tahan air asin dan korosi atmosferik
7. Untuk cat aplikasi pada kapal terbagi atas 3 tipe dasar sesuai komposisi cat, yaitu cat serbaguna, cat berbasis karet terklorinasi, dan cat berbasis resin epoksi.
8. Pelapis lambung berfungsi sebagai pencegahan peningkatan resistensi, potensi kerusakan mekanis dan akumulasi biofouling

## **G. EVALUASI / SOAL LATIHAN**

1. Jelaskan yang anda ketahui tentang fouling? Dan jelaskan hubungannya dengan resistensi kapal!
2. Jelaskan yang menjadi perbedaan antara anti fouling berbasis biosida dan non biosida?
3. Sebut dan jelaskan persyaratan bagi zat pelapis lambung kapal!
4. Sebutkan jenis-jenis biofouling dan karakternya!
5. Bagaimanakah hubungan antara efisiensi energi di kapal dengan aplikasi coating pada kapal?
6. Sebutkan dan jelaskan tipikal cat berdasarkan komposisinya!
7. Mengapa coating pada lambung menjadi sesuatu yang penting untuk dilakukan di kapal?



## DAFTAR PUSTAKA

- [1] IMO, "Second IMO GHG study, 2009. International Maritime Organization (IMO)," *Marit. Organ.*, 2009.
- [2] IMO *et al.*, "Third IMO Greenhouse Gas Study 2014," *Int. Marit. Organ.*, 2014, doi: 10.1007/s10584-013-0912-3.
- [3] "GreenShip's treatment technology: Environment and health as competitive items," *HSB Int.*, vol. 50, no. 8, 2001.
- [4] M. H. Dewan, O. Yaakob, and A. Suzana, "Barriers for adoption of energy efficiency operational measures in shipping industry," *WMU J. Marit. Aff.*, vol. 17, no. 2, 2018, doi: 10.1007/s13437-018-0138-3.
- [5] N. Rehmatulla and T. Smith, "Barriers to energy efficient and low carbon shipping," *Ocean Eng.*, vol. 110, 2015, doi: 10.1016/j.oceaneng.2015.09.030.
- [6] E. A. Bouman, E. Lindstad, A. I. Rialland, and A. H. Strømman, "State-of-the-art technologies, measures, and potential for reducing GHG emissions from shipping – A review," *Transp. Res. Part D Transp. Environ.*, vol. 52, 2017, doi: 10.1016/j.trd.2017.03.022.
- [7] G. Mallouppas and E. A. Yfantis, "Decarbonization in Shipping industry: A review of research, technology development, and innovation proposals," *Journal of Marine Science and Engineering*, vol. 9, no. 4. 2021, doi: 10.3390/jmse9040415.

- [8] F. Tillig, W. Mao, and J. W. Ringsberg, "Systems modelling for energy-efficient shipping," *Chalmers Univ. Technol.*, 2015.
- [9] H. Lindstad and G. S. Eskeland, "Low carbon maritime transport: How speed, size and slenderness amounts to substantial capital energy substitution," *Transp. Res. Part D Transp. Environ.*, vol. 41, 2015, doi: 10.1016/j.trd.2015.10.006.
- [10] N. Rehmatulla, J. Calleya, and T. Smith, "The implementation of technical energy efficiency and CO<sub>2</sub> emission reduction measures in shipping," *Ocean Eng.*, vol. 139, 2017, doi: 10.1016/j.oceaneng.2017.04.029.
- [11] T. Smith *et al.*, "CO<sub>2</sub> Emissions from International Shipping: Possible reduction targets and their associated pathways," 2016.
- [12] P. Gilbert, A. Bows-Larkin, S. Mander, and C. Walsh, "Technologies for the high seas: Meeting the climate challenge," *Carbon Manag.*, vol. 5, no. 4, 2014, doi: 10.1080/17583004.2015.1013676.
- [13] J. Faber, "Regulated Slow Steaming in Maritime Transport. An Assessment of Options, Costs and Benefits," *CE Delft Publ.*, no. February, 2012.
- [14] H. Lindstad, B. E. Asbjørnslett, and A. H. Strømman, "Reductions in greenhouse gas emissions and cost by shipping at lower speeds," *Energy Policy*, vol. 39, no. 6, 2011, doi: 10.1016/j.enpol.2011.03.044.
- [15] A. Benamor, M. Nasser, and M. J. Al-Marri, "Gas Processing Technology-Treatment and Utilization," in *Encyclopedia of Sustainable Technologies*, 2017.
- [16] A. J. Kidnay, A. J. Kidnay, and W. R. Parrish, *Fundamentals of Natural Gas Processing*. 2006.

- [17] A. J. Kidnay, W. R. Parrish, and D. G. McCartney, *Fundamentals of Natural Gas Processing: Second Edition*. 2011.
- [18] British Petroleum, "BP Statistical Review of World Energy, June 2014," *Br. Pet.*, no. June, 2014.
- [19] B. Petroleum, "BP Statistical Review of World Energy," *BP Stat. Rev. World Energy*, no. June, 2016.
- [20] S. Faramawy, T. Zaki, and A. A. E. Sakr, "Natural gas origin, composition, and processing: A review," *Journal of Natural Gas Science and Engineering*, vol. 34. 2016, doi: 10.1016/j.jngse.2016.06.030.
- [21] J. G. Speight, *Natural gas: A basic handbook*. 2018.
- [22] A. Demirbas, "Progress and recent trends in biodiesel fuels," *Energy Convers. Manag.*, vol. 50, no. 1, 2009, doi: 10.1016/j.enconman.2008.09.001.
- [23] G. Goga, B. S. Chauhan, S. K. Mahla, and H. M. Cho, "Performance and emission characteristics of diesel engine fueled with rice bran biodiesel and n-butanol," *Energy Reports*, vol. 5, 2019, doi: 10.1016/j.egy.2018.12.002.
- [24] B. Bala, "Studies on biodiesels from transformation of vegetable oils for diesel engines," *Energy Educ. Sci. Technol.*, vol. 15, 2005.
- [25] D. Pyć, "Ship energy efficiency measures and climate protection," *International Community Law Review*, vol. 23, no. 2. 2021, doi: 10.1163/18719732-12341474.
- [26] International Maritime Organization, "IMO 2020 : consistent implementation of MARPOL Annex VI.," *OMi*, 2020.
- [27] P. Brodie, "International Chamber of Shipping," in *Commercial Shipping Handbook*, 2020.

- [28] C. Nash, "International Transport Forum," in *A Dictionary of Transport Analysis*, 2010.
- [29] G. Atkinson, H. Nguyen, and J. Binns, "Considerations regarding the use of rigid sails on modern powered ships," *Cogent Eng.*, vol. 5, no. 1, 2018, doi: 10.1080/23311916.2018.1543564.
- [30] F. Tillig and J. W. Ringsberg, "Design, operation and analysis of wind-assisted cargo ships," *Ocean Eng.*, vol. 211, 2020, doi: 10.1016/j.oceaneng.2020.107603.
- [31] L. Mofor, P. Nuttall, and A. Newell, "Renewable Energy Options for Shipping," *IRENA*, 2015.
- [32] D. M. Kralj and B. Klarin, "Wing sails for hybrid propulsion of a ship," *J. Sustain. Dev. Energy, Water Environ. Syst.*, vol. 4, no. 1, 2016, doi: 10.13044/j.sdewes.2016.04.0001.
- [33] D. Li, G. Li, J. Dai, and P. Li, "A new type of collapsible wing sail and its aerodynamic performance," in *Proceedings of the International Conference on Offshore Mechanics and Arctic Engineering - OMAE*, 2017, vol. 10, doi: 10.1115/OMAE2017-61084.
- [34] D. Li, Y. Zhang, P. Li, J. Dai, and G. Li, "Aerodynamic performance of a new double-flap wing sail," *Polish Marit. Res.*, vol. 26, no. 4, 2020, doi: 10.2478/pomr-2019-0067.
- [35] M. Petkovic, M. Zubcic, M. Krcum, and I. Pavic, "Wind assisted ship propulsion technologies - Can they help in emissions reduction?," *Nase More*, vol. 68, no. 2, 2021, doi: 10.17818/NM/2021/2.6.
- [36] L. Talluri, D. K. Nalianda, K. G. Kyprianidis, T. Nikolaidis, and P. Pilidis, "Techno economic and environmental assessment of wind assisted marine

- propulsion systems," *Ocean Eng.*, vol. 121, 2016, doi: 10.1016/j.oceaneng.2016.05.047.
- [37] "Modelling and Control of a Tethered Kite In Dynamic Flight," *J. Sail. Technol.*, vol. 3, no. 01, 2018, doi: 10.5957/jst.2018.03.
- [38] M. Traut *et al.*, "Propulsive power contribution of a kite and a Flettner rotor on selected shipping routes," *Appl. Energy*, vol. 113, 2014, doi: 10.1016/j.apenergy.2013.07.026.
- [39] R. Leloup *et al.*, "A continuous and analytical modeling for kites as auxiliary propulsion devoted to merchant ships, including fuel saving estimation," *Renew. Energy*, vol. 86, 2016, doi: 10.1016/j.renene.2015.08.036.
- [40] J. A. Lewis, "Marine biofouling and its prevention on underwater surfaces," *Mater. Forum*, vol. 22, 1998.
- [41] C. Anderson, M. Atlar, M. Callow, M. Candries, a Milne, and R. L. Townsin, "The development of foul-release coatings for seagoing vessels," *J. Mar. Des. Oper.*, vol. 2003, 2003.

# GLOSARIUM

Anaerobic	Pengolahan biologi yang memanfaatkan mikro organisme dalam mendegradasi bahan organik dalam kondisi tidak didapatkan atau sangat sedikit oksigen terlarut
Autotrofic	Organisme yang mampu menghasilkan makanan (energi) sendiri.
Bulbuous Bow	Lambung tambahan pada bagian depan kapal yang digunakan oleh desainer sebagai andalan untuk mereduksi wave making resistance dengan memanipulasi gelombang pada haluan kapal agar gelombang yang dihasilkan adalah kecil.
Bulk Carrier	Kapal kargo curah atau kapal bulker adalah kapal untuk dagang yang dirancang untuk mengangkut kargo curah unpackaged
Biodegradabilitas	Dapat terurai dengan alami dalam waktu relatif cepat, sehingga tidak mencemari lingkungan
Bitumen	Bahan hidrokarbon, yang memiliki sifat melekat atau adhesive, tahan dari kandungan air, berwarna hitam, viskoelastik yaitu bisa menahan aliran geseran dan juga renggangan

secara linier, elastis ketika diregangkan dan juga akan kembali.

Cyrogenic	Ilmu yang mempelajari materi dengan temperatur sangat rendah (di bawah $-150^{\circ}\text{C}$ , $-238^{\circ}\text{F}$ atau 123 K)
Drag	Jumlah semua gaya eksternal dalam aliran fluida yang melawan arah gerak objek dan disebabkan oleh aliran udara turbulen di sekitar benda yang melawan gerak maju objek melalui gas atau cairan.
DWT	Selisih dari displacement kapal yang bermuatan penuh ( <i>extreem weight</i> ) dan kapal kosong ( <i>light weight</i> ) dihitung dalam satuan ton metrik
Droplet	Tetes atau percikan
Dewatering	Proses atau metode pengeluaran air agar area tersebut terbebas dari kebasahan atau pengaruh air.
Draft	Jarak vertikal antara garis air sampai dengan lunas kapal,
Dry Docking	Kawasan terstruktur tempat dilakukannya pembangunan, perbaikan, dan pemeliharaan kapal niaga dan perahu.
EEDI	Energy Efficiency Design Index, indeks desain penghematan bahan bakar
EEOI	Energy Efficiency Operational Indicator, indeks operasional yang dibuat dari pengukuran rasio emisi CO <sub>2</sub> kapal terhadap pekerjaan yang dilakukan.

Eco Friendly Vessel	Konsep desain kapal yang ramah lingkungan dan berdampak minim terhadap lingkungan.
Epoksi	Bahan kimia yang memiliki rangkaian polimer yang dimulai sebagai cairan dan secara reaksi kimia berubah menjadi padat
Fluorinasasi	Pemasukan atom fluorin ke dalam molekul organik
Floating Storage Unit	Struktur terapung yang dapat digunakan sebagai tempat produksi, storasi/penyimpanan maupun offloading minyak dan gas bumi lepas pantai
GHG	Greenhouse gas) adalah gas-gas yang ada di atmosfer yang menyebabkan efek rumah kaca
Green Ship	Kapal yang menerapkan sebuah teknologi yang bertujuan untuk mengurangi emisi dan meningkatkan efisiensi energi secara bersamaan
Heavy Fuel Oil	Salah satu jenis bahan bakar yang merupakan sisa bahan bakar yang timbul selama penyulingan minyak mentah
Kavitasi	Fenomena perubahan zat cair menjadi uap pada saat mengalir. Kejadian tersebut terindikasi dengan timbulnya gelembung uap, vibrasi dan suara bising
Marine Diesel Oil	Bahan bakar yang dihasilkan melalui distilasi yang mengandung fraksi berat atau campuran dari bahan bakar fraksi berat dengan bahan bakar fraksi ringan

Onshore Power Supply	Fasilitas listrik darat untuk kapal di pelabuhan
Pressure Drop	Istilah yang digunakan untuk mengidentifikasi pengurangan tekanan udara dari pelepasan kompresor ke titik penggunaan yang sebenarnya.
Permeable	Membran atau lapisan jaringan yang bisa dilalui cairan
Reagen	Sebuah substansi yang ditambahkan pada sebuah campuran untuk memunculkan rantai reaksi kimia dari campuran tersebut
Reservoir	Tempat yang dipergunakan untuk menyimpan suatu cadangan seperti air, dan juga bahan bakar gas
Resin	Eksudat (getah) yang dikeluarkan oleh banyak jenis tumbuhan, terutama oleh jenis-jenis pohon runjung (konifer). Biasanya membeku, lambat atau segera, dan membentuk massa yang keras dan, sedikit banyak, transparan
SEEMP	Manajemen penghematan bahan bakar kapal kegiatan operasional yang menetapkan mekanisme untuk meningkatkan efisiensi energi kapal dengan cara yang hemat biaya
Slime	Karakteristik kenyal, lembut, lengket, dan berwarna-warni
Ship Reporting System	Sistem pelaporan kapal yang melibatkan kapal yang masuk dan keluar wilayah

Sea Chest	Suatu perangkat yang berhubungan dengan air laut yang menempel pada sisi dalam dari pelat kulit kapal yang berada dibawah permukaan air dipergunakan untuk mengalirkan air laut kedalam kapal sehingga kebutuhan sistem air laut
Trim	Sudut kemiringan kapal secara membujur
Teritip	Krustasea kecil yang lengket yang berkerabat dengan kepiting, lobster dan udang
Vessel Traffic Service	Sistem monitoring lalu-lintas pelayaran yang diterapkan oleh pelabuhan, atau suatu manajemen armada Perkapalan.

# BIOGRAFI PENULIS

## Dr. Betty Ariani, S.T.,M.T



Menjadi seorang Dosen dan Peneliti merupakan cita-cita dari perempuan kelahiran Jember 44 tahun silam. Dr. Betty Ariani, S.T, M.T meraih gelar Doktornya pada tahun 2021 setelah menempuh pendidikan S3 Doktorat di Fakultas Teknologi Kelautan Institut Teknologi Sepuluh Nopember–Surabaya.

Pendidikan sarjana dan Pasca Sarjana ditempuh pada universitas yang sama yaitu Institut Teknologi Sepuluh Nopember Surabaya. Saat ini beliau merupakan salah satu pengajar di Program Studi Teknik Perkapalan, Fakultas Teknik, Universitas Muhammadiyah Surabaya. Beberapa riset yang dilakukan berdasarkan kepada bidang keahlian beliau yaitu pada topik terkait Eco Friendly Vessel, Alternatif Fuels for ship, Emission Control Technology Marine Power Plant serta efisiensi energi di kapal. Beberapa buku dan artikel jurnal baik nasional maupun internasional telah dihasilkan beliau. Saat ini menjadi dosen pengampu mata kuliah korosi, permesinan kapal, teknologi bahan bakar, Eco Friendly Vessel, Effisiensi Energi dan kelistrikan kapal di program studi Teknik

Perkapalan Universitas Muhammadiyah Surabaya. Untuk korespondensi dapat melalui email **betty.ariani@ft.um-surabaya.ac.id**

## **Ponidi, S.T.,M.T**



Ponidi, Lahir di Mojokerto pada 03 Februari 1972, menempuh Pendidikan S1 Teknik mesin dan mendapatkan gelar sarjana pada tahun 1995 dari jurusan Teknik mesin UM Surabaya. Melanjutkan Program Pascasarjana Teknik Industri ITATS Surabaya dan mendapatkan gelar Magister Teknik 2011. Tahun 2018 memperoleh sertifikat Asean Engineering (Asean.Eng) dari Asean Federation of Engineering Organisations (AFEO). Beliau menempuh Program profesi Insinyur Universitas Hasanudin dan memperoleh gelar Insinyur tahun 2020. Kegiatan saat ini adalah sebagai dosen Teknik Mesin Universitas Muhammadiyah Surabaya, selain itu dalam dunia industri beliau berkiprah sebagai Direktur PT. Karya Agung Mandiri guna sinergi antara teori dan aplikasi bidang keilmuan. Untuk berkorespondensi dapat dilakukan melalui Email: **ponidi@ft.um-surabaya.ac.id**