

## **BAB II**

### **DASAR TEORI**

#### **2.1 Kapal**

Kapal ialah alat transportasi yang dibuat untuk beroperasi diatas air, baik di sungai, laut, atau danau, dan digunakan untuk beragam keperluan misalnya pengangkutan barang, penumpang, penangkapan ikan, militer, penelitian, hingga rekreasi. Fungsi utama kapal ialah sebagai alat transportasi air untuk mengangkut penumpang, barang, atau melakukan aktivitas tertentu seperti penangkapan ikan, eksplorasi, militer, atau penelitian. Dalam sektor maritim modern, kapal berperan vital dalam sistem logistik global karena sekitar 80% volume perdagangan internasional diangkut melalui laut. [4]



*Gambar 2. 1 Kapal Ferry Ro-Ro*

Peran kapal menjadi sangat strategis, terutama dalam mendukung konektivitas antarpulau, distribusi logistik nasional, serta peningkatan perekonomian daerah terpencil. Pemerintah Indonesia juga mengandalkan moda

transportasi laut dalam program tol laut, guna memperkuat jalur distribusi dan menekan disparitas harga antarwilayah.

Secara spesifik, definisi kapal disebutkan dalam UU No.17 tahun 2008 mengenai pelayaran, yakni kendaraan air bertenaga angin, mekanik, atau energi lain yang beragam jenis dan bentuknya; bisa ditunda atau ditarik; serta tergolong dalam kendaraan dibawah air, kendaraan dinamis, serta bangunan dan alat apung yang tidak bergerak. Singkatnya, kapal ialah setiap alat yang berguna sebagai kendaraan air, termasuk yang beroperasi di bawah laut seperti kapal selam.

Sedangkan, kapal diartikan sebagai alat apung dengan bergaam jenis dan bentuk dalam PP NO. 17 Tahun 1988 mengenai Penyelenggaraan dan Pengusahaan Pengangkutan Laut. Sedangkan pada pasal 309 KUHD, kapal diartikan lebih sempit yakni alat berlayar dengan beragam nama dan sifat. Dari definisi tersebut, bisa diartikan bahwa kapal ialah segala benda yang terapung dan bergerak, contohnya mesin pnyedot pasir atau lumpur. [5]

Fungsi dan peran kapal sangat penting dalam sistem logistik global maupun nasional. Sebagai negara kepulauan, Indonesia menjadikan kapal sebagai tulang punggung transportasi antarpulau. Berdasarkan fungsinya, kapal diklasifikasikan ke dalam berbagai jenis yang masing-masing dirancang sesuai dengan kebutuhan operasional dan spesifikasi teknisnya. Berikut ialah beberapa jenis kapal yang umum dikenal dalam dunia pelayaran:

1. Kapal Kargo (*Cargo Ships*)

Fitur dan desain kapal kargo dirancang khusus sesuai jenis barang yang diangkut. Menurut jenis muatan, kapal kargo digolongkan menjadi beberapa jenis berikut:

a) Kapal Kargo Umum (*General Cargo Ship*)

Kapal ini dibuat untuk jenis muatan yang tidak membutuhkan kondisi penyimpanan khusus, misalnya barang yang dikemas dalam drum, karung, atau peti kemas. Biasanya kapal ini dilengkapi dengan derek dan alat yang lain untuk memudahkan proses bongkar muat di pelabuhan.

Jenis kapal ini berfungsi sebagai transportasi angkutan laun yang umum. Kapal ini bisa mengangkut beragam jenis muatan sesuai namanya, mulai dari kargo curah, karung, sampai kontainer, sehingga kapal ini sering disebut sebagai kapal multifungsi.

Kapasitas kapal kargo mencapai 25 ribu dwt dan memiliki dua deck dengan ukuran yang sama atau biasa disebut *double decker*.

b) Kapal Kontainer (*Container Ship*)

Kapal ini biasanya dikenal sebagai kapal pengangkut kontainer yang merupakan kapal kargo yang didesain khusus untuk mengangkut kontainer standar atau peti kemas. Sebagai unit penyimpanan seragam berukuran 20 atau 40 kaki untuk beragam jenis barang, kontainer diangkut oleh kapal yang dirancang khusus untuk peti kemas dengan standar ISO. Kapal ini dilengkapi sistem bongkar muat otomatis, yang menjadikannya lebih efisien untuk kebutuhan logistik moden dan pelayaran terjadwal.

Bongkar muat barang menjadi lebih cepat dengan menggunakan kontainer, karena muatan dalam kontainer tidak perlu dibongkar sehingga memudahkan pemindahan dari kapal ke kereta api atau truk. Penghubung rantai logistik global merupakan fungsi utama kapal kontainer. Kapal ini memuat barang dari

satu pelabuhan ke pelabuhan yang lain, mendorong perdagangan internasional melalui penyediaan sarana transportasi yang aman, cepat, dan bisa diandalkan.

Kapal kontainer juga dapat menunjang efisiensi dan pertumbuhan ekonomi melalui pengiriman barang dalam kuantiti besar dengan biaya yang relative rendah.

c) Kapal Tanker

Kapal yang dirancang untuk memuat minyak atau sejenisnya disebut kapal tanker. Kapal ini mencakup beberapa jenis tanker, misalnya tanker kimia, minyak, dan pengangkut LNG. Kapal ini dikhususkan untuk memuat minyak dari tempat pengeboran menuju darat hingga perdagangan minyak antar negara atau pelabuhan. Karakteristik khusus yang dimiliki kapal tanker ini ialah:

- Ukurannya besar, terutama untuk daerah pelayaran antar negara
- Mempunyai coefficient block yang besar
- Daerah paralell middle bodynya panjang, sampai lebih dari panjang kapal keseluruhan
- Biasanya lokasi kamar mesin di belakang, karena membutuhkan kapasitas yang lebih besar serta untuk keselamatan (*safety*) seperti menghindari kebakaran.

d) Kapal Curah (*Bulk Carrier*)

Kapal ini kerap disebut sebagai bulker, yakni kapal yang dirancang untuk muatan jumlah dengan jumlah besar. Yang dimaksud muatan curah ialah material yang tidak dikemas dalam kotak atau kontainer dan langsung dimasukkan dalam ruang kargo kapal dengan jumlah banyak. Maka dari itu,

ruang kargo dalam kapal ini didesain luas tanpa pembatas internal untuk memuat angkutan dengan jumlah yang sangat besar.

Desain yang sederhana dan kuat yang berfokus pada efisiensi bongkar muat muatan ialah ciri khas kapal ini. Untuk memudahkan proses bongkar muat material curah, kapal ini dilengkapi dengan palka besar. Disisi lain, untuk memfasilitasi operasi pada pelabuhan yang minim fasilitas bongkar muat, beberapa *bulk carrier* dilengkapi dengan derek dan alat bongkar muat yang lain.

Dalam industri maritim, kapal ini berperan penting untuk pengangkutan bahan mentah secara efisien dari negara produsen ke negara konsumen. Seperti, tambang bijih besi dari Australia bisa diangkut ke pabrik baja Cina dengan *bulk carrier*.

Dalam industri maritim, kapal *bulk carrier* berperan penting dalam efisiensi pengangkutan bahan mentah dari negara produsen ke konsumen. Seperti, bijih besi yang ditambah di Australian bisa diangkut ke pabrik bajak Cina. Efisiensi dan efektivitas perdagangan global tidak akan seperti saat ini tanpa adanya kapal *bulk carrier*.

Dalam industri pelayaran global, kapal *bul carrier* menjadi elemn penting karena dapat memuat barang mentah secara efisien dengan jumlah besar. Kapal ini didesain khusus untuk memenuhi kebutuhan pengangkutan muatan curah, mulai dari jenis Handymax sampai Very Large Ore Carrier. *Bulk carrier* tetap menjadi pilihan utama perdagangan komoditas global karena efisien biaya operasional dan jumlah kapasitas angkut yang besar meskipun memiliki tantangan keterbatasan akses kondisi cuaca dan pelabuhan.

e) Kapal Ro-Ro (*Roll-on/Roll-off Ship*)

Sebagai kapal yang didesain khusus, RORO memfasilitasi keluar (*roll-off*) masuknya (*roll-on*) kendaraan bermotor secara langsung ke dek kapal. Ini merupakan keunggulan desain yang membuat pengangkutan kendaraan lebih efisien karena tidak perlu bongkar muatan seperti kapal lain biasanya.

Kapal RORO diartikan sebagai kapal memiliki satu atau lebih geladak, baik terbuka atau tertutup untuk memuat beragam jenis kendaraan melalui sistem pintu rampa pada bagian depan atau belakang kapal sesuai dengan yang dijelaskan pada Permenhub No. 115 Tahun 2016.

Roll on dan roll off atau masuk keluar ialah sebuah sistem kerja kapal yang memudahkan kendaraan untuk keluar masuk melalui bantuan mesin penggerak di setiap kendaraan.

Mobil penumpang, sepeda motor, truk, bus, alat berat, sampai kereta api dapat diangkut oleh kapal roro di pelabuhan penyebrangan. Selain dilengkapi jalan khusus, kapal ini juga memiliki pintu yang bisa menaik turunkan kendaraan dan menghubungkan sebagai lalu lintas kendaraan dengan dermaga di pelabuhan.

Fungsi utama kapal ini ialah sebagai pengangkut baik penumpang atau beragam kendaraan misalnya mobil, sepeda motor, trailer, truk, dan yang lain.

Selain kebutuhan sipil, kapal ini juga dimanfaatkan untuk kebutuhan militer pada sektor angkatan laut. Akan tetapi, kapal ini biasanya dipakai untuk mengangkut sejumlah barang penting dari laut atau darat.

Kapal ini sering terlihat di berbagai pelabuhan, seperti Pelabuhan Bakauheni Lampung dan Merak Banten. Kapal ini juga populer dalam

penyeberangan antar pulau, misalnya Jawa Bali, Jawa Sumatera, dan Jawa Madura.[6]

## 2. Kapal Negara (*State Ships*)

Definisi kapal negara menurut UU 17 tahun 2008 mengenai pelayaran, ialah kapal milik negara yang dipakai Instansi Pemerintah tertentu yang diberi fungsi kewenangan sesuai dengan ketentuan aturan UU untuk menegakkan hukum serta tugas pemerintah yang lain.

## 3. Kapal Perikanan (*Fishing Vessels*)

Kapal ini biasa digunakan untuk hal yang berkaitan dengan penangkapan ikan. Desain kapal ini dirancang dengan ukuran, kapasitas muat, akomodasi, mesin, perlengkapan, dan yang lain secara menyeluruh disesuaikan dengan kebutuhan operasi.

Kapal perikanan mencakup beragam macam ukuran dan bentuk, mulai dari yang kecil seperti perahu nelayan atau sampan yang dibuat dari kayu yang didayung sampai kapal perikanan dari besi baja yang berukuran lebih dari 100 GT dan digerakkan dengan mesin. Untuk penangkapan ikan di sungai atau danau, perahu (sampan kecil) atau canoe baik dipakai. Untuk penangkapan *inshore* di laut, direkomendasikan menggunakan kapal atau canoe besar yang berukuran 5-7 meter. Sedangkan untuk penangkapan jauh dari daratan dan membutuhkan waktu lebih dari satu hari, maka kapal besar dengan ukuran 12-15 meter cocok untuk digunakan.

Menggolongkan kapal menjadi 4 bagian menurut metode pengoperasian alatnya, yakni:

- Kapal yang menggunakan alat tangkap statis seperti *gillnet*, *longline*, *pole*, *lift net*, dan sejenisnya.

- Kapal yang mengoperasikan alat tangkap tarik (*trawl, tonda*, dan lain-lain).
- Kapal yang menggunakan alat tangkap lingkaran (*purse seine, payang dogol*, dan lainnya).
- Kapal serbaguna (multipurpose) yang mengoperasikan lebih dari dua jenis alat tangkap dengan cara kerja berbeda.

Antara satu wilayah dengan wilayah lain, memiliki bentuk, jenis, dan ukuran kapal yang beragam yang disesuaikan dengan kondisi perairan, tujuan usaha, daerah penangkapan ikan, dan yang lain. [7]

#### 4. Kapal Khusus (*Special Purpose Vessels*)

Kapal Khusus merupakan kapal yang dirancang dan dibangun untuk tujuan operasional tertentu di luar fungsi angkutan umum seperti penumpang atau barang. Kapal ini memiliki spesifikasi teknis dan perlengkapan khusus yang menyesuaikan dengan kebutuhan tugasnya, Kapal Khusus merupakan kapal yang memiliki fungsi teknis atau operasional tertentu, yang tidak dapat digantikan oleh kapal konvensional tanpa modifikasi mendalam.

Berikut jenis-jenis kapal khusus berdasarkan tugas pekerjaan yang dijalankan:

##### a) Kapal Keruk (*Dredger*)

Kapal ini berfungsi untuk memperdalam kolam pelabuhan, sungai, alur pelayaran, dan yang lain, serta menyediakan tanah untuk reklamasi rawa-rawa atau perluasan daerah menjadi daratan. Jenis galian tanah memengaruhi tipe pemakaian keruk, berikut ialah tipe kapal keruk:

- *Grab Dredger*

Karena alain ini bisa merapat sampai tepi, maka alat ini direkomendasikan untuk pengoperasian di sekitar dermaga, *graving dock*, dan bagian-bagian sudut dari kade. Kedalaman penggalian alat ini bergantung pada berat *grab bucket*, namun karena kerusakannya tidak merata, maka sulit untuk menentukan kedalaman pastinya.

- *Cutter Section Dredger*

Dikenal sebagai Cutter-suction dredger atau CSD, alat ini merupakan kapal keruk penghidap yang memiliki kepala pemotong pada ujung hisapnya. Pemotong tersebut berguna untuk material yang keras seperti batu dan kerikil. Cara pengerukan material ialah dengan dihisap melalui pompa pengisap sentrifugal dan dikeluarkan melalui tongkang/pipa. Pemotong pada CSD ini lebih kuat untuk memotong batu. Selain itu, CSD juga dilengkapi dengan dua jangkar pada bagian depan kanan dan kiri yang berguna untuk menarik ke kanan dan kiri, serta dua spud can pada bagian belakang yang berguna sebagai porong penggerak CSD.

- *Trailing Suction Hopper Dredger*

Cara kerja *trailing suction hopper dredger* atau TSHD ialah dengan menyeret pipa pengisap dan mengisi material yang diisap ke dalam satu atau beberapa penampung (*hopper*) di dalam kapal. TSHD akan berlayar ke lokasi pembuangan saat penampung sudah penuh. Material dibuang melalui pintu bawah kapal atau dengan cara memompa material keluar kapal.

- *Bucket Dredger*

Jenis kapal keruk tertua ialah *bucket dredger*. Kapal ini biasanya dilengkapi dengan beberapa alat misalnya *bucket*/timba yang bergerak bersamaan untuk mengangkat sedimen dari dasar air. *Bucket Wheel Dredger* ialah salah satu jenis dari *Bucket dredger*. Sebagian *Bucket* dan *Grab dredger* cukup kuat untuk mengangkat dan mengeruk karang supaya bisa membuat alar pelayaran. Di kepulauan Riau dan provinsi Bangka Belitung, *bucket dredger* masih dimanfaatkan untuk penambangan bijih timah yang dioperasikan oleh PT Timah Tbk. Tanah galian dikeruk dengan menggunakan timba, ini cocok dengan semua jenis galian tanah baik pada atau bebatuan, namun bukan tanah padas yang keras.

- *Backhoe/Dipper Dredger*

*Backhoe/dipper dredger* dilengkapi dengan *backhoe* yang mirip ekskavator. Jenis *dredger* ini bisa menggunakan ekskavator darat yang diletakkan di atas tongkang. *Backhoe dredger* biasanya terdiri dari tiga *spudcan*, yakni tiang pengganti jangkar supaya kapal berhenti, *backhoe dredger* dengan *high-tech*, hanya membutuhkan satu operator. *Dredger* ini dimanfaatkan untuk penggalian yang susah dan terdapat intangan yang tidak bisa dikerjakan oleh kapal keruk yang lain, sesuai jenis tanah yang keras dan ukuran yang besar.

- *Water Injection Dredger*

Dengan *water injection dredger*, air disuntikkan dalam jet kecil bertekanan rendah ke sedimen di dasar perairan. Tekanan rendah ini memastikan sedimen tidak menyebar luas, tapi terikat oleh air dan melayang. Kemudian, sedimen tersebut didorong oleh arus dan gaya berat untuk keluar dari area

pergerakan. WID biasanya dipakai untuk perawata *dredging* di pelabuhan. WID masih menjadi perdebatan apakah tergolong dalam pergerakan atau bukan. Ini dikarenakan sulitnya pengukuran kedalaman air secara akurat, meskipun terdapat alat ukur seperti *singlebeam echosounder* namun hasilnya kurang presisi, sehingga membutuhkan *multibeam echosounder* yang lebih mahal untuk hasil yang lebih baik.

b) Kapal Tongkang

Jenis kapal yang memiliki lambung datar atau satu kotak besar yang mengapung disebut ponton atau tongkang. Kapal ini berguna untuk pengangkutan barang yang ditarik dengan kapal tunda dan akomodasi pasang surut seperti pada dermaga apung. Selain itu, kapal ini juga digunakan untuk mengangkut mobil menyebrangi sungai pada daerah yang belum memiliki jembatan. Tongkang populer pada tahun 1960 – 1980 di jalur lintas Kalimantan, Sumatera, Papua, dan Sulawesi, namun kini sudah digantikan dengan jembatan. Tetapi tongkang masih digunakan untuk keperluan wisata. Penggabungan dua ponton secara paralel bertujuan untuk meningkatkan kestabilan kapal. Tongkang tidak dilengkapi dengan sistem pendorong (propulsi) karena hanya konstruksi saja tanpa sistem seperti kapal pada umumnya. Biasanya, tongkang dimanfaatkan untuk mengangkut muatan besar seperti pasir, batubara, kayu, dan yang lain. Batam atau kepulauan Riau menjadi salah satu produsen tongkang terbesar di Indonesia.

c) Kapal Tunda (*Tug boat*)

*Tugboat* ialah kapal khusus yang dirancang untuk menggerakkan atau memindahkan kapal lain, baik dengan menarik atau mendorong di area seperti

laut bebas, pelabuhan, atau jalur air sempit. Kapal ini juga digunakan untuk menarik kapal rusak, kapal tongkang, dan peralatan yang lain. Kapal ini memiliki tenaga yang besar daripada ukurannya dan bergerak dengan mesin uap pada zama dahulu, sementara sekarang menggunakan mesin diesel. Biasanya kekuatan mesin induk kapal tunda antara 750 – 3000 tenaga kuda atau 500 – 2000 kW, namun untuk kapal yang dipakai di laut lepas atau yang lebih besar, kekuatannya bisa mencapai 25.000 tenaga kuda atau setara dengan 20.000 kW. Mesin yang digunakan mirip dengan mesin kereta api, namun menggunakan baling baling dan untuk keselamatan minimal harus menggunakan dua buah mesin induk. Tingkat kemampuan manuver kapal ini tinggi tergantung unit penggerakannya. Dengan baling-baling di buritan, kapal tunda berpengerak konvensional sangat efisien dalam menarik kapal melintasi rute antar pelabuhan. Selain itu, terdapat penggerak seperti Schottel propulsion system (azimuth thruster/Z-peller) dengan baling-baling yang bisa berputar penuh 360°, atau sistem propulsi Voith-Schneider yang menggunakan bilah khusus di bawah kapal untuk memungkinkan kapal berputar 360°. Keduanya menawarkan kemampuan manuver luar biasa.

d) Kapal Perang

Kapal perang di desain khusus untuk pertempuran. Biasanya, kapal ini dirancang dengan cara yang sangat berbeda dengan kapal dagang. Selain untuk senjata, kapal ini didesain lebih cepat, lincah dan kuat dari kapal dagang. Kapal perang hanya memuat amunisi, senjata, dan pasokan untuk awak. Pemilik kapal ini biasanya adalah angkatan laut karena berfungsi untuk menjaga keamanan

dan berperang sehingga konstruksi dan desainnya dibuat lebih kuat dan dilengkapi alat navigasi yang lengkap dan modern

e) Kapal Pemadam kebakaran

Pemadam kebakaran adalah perahu khusus, sering kali menyerupai kapal tunda, yang dilengkapi pompa dan *nozzle* untuk memadamkan kebakaran di pantai dan kapal. Biasanya beroperasi di sekitar pelabuhan.

f) Kapal Riset

Kapal ini dirancang untuk memfasilitasi penelitian ke tengah laut. Kapal riset terbagi menjadi beberapa jenis sesuai tujuannya. Kapal ini bisa bekerjasama dengan kapal lain, contohnya dengan kapal pemecah es untuk mengarungi lautan es. Kapal riset oseanografi adalah kapal khusus yang dilengkapi untuk mengukur karakteristik fisik, kimia, dan biologi air serta udara dan kondisi iklim. Kapal ini juga memiliki sonar gema untuk pembacaan hidrografi dasar.

g) Kapal Floating Production

Kapal ini dirancang khusus untuk pembongkaran dan penyimpanan kapal. Biasanya kapal ini dimanfaatkan oleh industri gas dan minyak lepas pantai yang didesain khusus supaya bisa memuat seluruh gas atau minyak hasil platform terdekat. Proses penyimpanan gas atau minyak dilakukan dengan cara menyalurkannya pipa khusus ke kapal tangker.

h) Kapal Pasokan Platform (PSV)

Kapal ini biasa disebut PSV yang berguna untuk memasok platform minyak lepas pantai. Panjang kapal ini sekitar 65-350 meter. Sebagian besar kapal-kapal ini berfungsi utama untuk mengangkut barang dan personel menuju dan dari platform minyak lepas pantai serta struktur lepas pantai lainnya.

i) Kapal Derek (*Crane ship*)

Ini ialah kapal raksasa yang terdiri dari beberapa derek raksasa untuk membantu pekerjaan kontrukti di lepas pantai dan mengangkat barang berat.

Kapal ini sangat tinggi dengan ukuran lebih dari 100 meter.

j) Kapal Pengebor (*Drilling Ship*)

Kapal maritime yang difasilitasi jalat pengeboran disebut *drillship*. Kapal ini kerap dipakai untuk eksplorasi sumur gas atau minyak baru di perairan dalam

atau untuk pengeboran ilmiah. Selain pengeboran, *drillship* dapat dimanfaatkan sebagai basis untuk melakukan pekerjaan pemeliharaan sumur atau penyelesaian, termasuk instalasi *casing*, *tubing*, maupun pohon bawah laut.

Kapal ini kerap dirancang sesuai spesifikasi perusahaan minyak atau investor.

Namun, lambung kapal tanker yang dimodifikasi juga bisa digunakan, dilengkapi sistem pemosisian dinamis untuk menjaga posisi selama pengeboran sumur. Namun, *drillship* hanyalah satu cara untuk pengeboran eksplorasi, adapun cara lain ialah dengan semi-submersible, tongkang *jackup*, tongkang, atau *rig platform* juga bisa melakukannya.

k) Kapal Pemecah Es (*Ice Breaker*)

Kapal pemecah es bertugas membuka jalur di perairan beku dengan memecah es. Ini membutuhkan lambung yang sangat kuat, bentuk yang efektif untuk memecah lapisan es, dan tenaga besar untuk mendorong kapal. Kapal tanpa penguatan khusus sangat rentan terhadap kerusakan akibat es

l) Kapal Rumah Sakit

Karena berfungsi sebagai pelayanan kesehatan, kapal ini dilengkapi berbagai peralatan medis serta dihuni oleh paramedis dan dokter.

m) Kapal Selam (*Submarine*)

Sebagai kapal yang bergerak di bawah air, kapal selam biasanya dimanfaatkan untuk kepentingan militer oleh banyak angkatan laut, meskipun populasinya berbeda-beda. Selain itu, kapal ini juga berperan penting dalam ilmu pengetahuan laut dan air tawar, serta untuk misi di kedalaman yang tidak memungkinkan penyelaman manusia.[8]

## 2.2 *Biofouling*



Gambar 2. 2 *Biofouling*

Komunitas dari beberapa tahapan suksesi pada suatu permukaan disebut *Biofouling*. Kolonisasi diawali dengan pembentukan lapisan biokimia pada permukaan bersih, yang kemudian diikuti oleh penempelan bakteri dan diatom sebagai "microfouling".

Sebagai fase puncak dalam pembentukan *Biofouling*, macrofouling merupakan proses di mana koloni makroalga dan invertebrata mulai terbentuk. Proses macrofouling diawali oleh microfouling, di mana permukaan sangat dipengaruhi oleh karakteristik fisika-kimianya (tekstur dan sifat hidrofobik) serta

sifat biologis bakteri (kemampuan bergerak (*swarming*), struktur *pili*, dan produksi polisakarida ekstraseluler sebagai molekul penempelan).

Menjelaskan tentang *Biofouling* sebagai kumpulan mikro dan makroorganisme yang mendempel di permukaan material atau bahan yang terendam di laut dan bisa menyebabkan kerusakan struktural. Dampak *Biofouling* bagi industri perkapalan sangat serius; masalah ini memperbesar konsumsi bahan bakar karena meningkatkan berat dan volume kapal. Akibatnya, biaya perawatan kapal melonjak dan produktivitas pelayaran menurun. Bahkan, riset lama mengungkapkan bahwa *Biofouling* pada lambung kapal dapat mengurangi kecepatan hingga 40% atau lebih.

*Biofouling* adalah akumulasi mikroorganisme, misalnya tumbuhan, alga, atau hewan (contohnya *bryozoa*, teritip, dan kerang) yang melekat pada permukaan basah kapal. Karena berpeluang terjadi hampir di seluruh permukaan yang terpapar air, *Biofouling* memicu risiko pada berbagai struktur, termasuk konstruksi bawah air dan pabrik desalinasi. Bakteri biasanya memulai proses penempelan ini, membentuk lapisan lendir (*biofilm* atau *slime*) pada benda-benda yang terendam air laut.

*Biofouling* atau *fouling* biologis merupakan akumulasi organisme akuatik seperti tumbuhan, alga, atau hewan pada permukaan yang terpapar lingkungan perairan. *Biofouling* mencakup *makrofouling* dan *mikrofouling*. Penempelan organisme akuatik pada lambung kapal merupakan permasalahan yang sangat signifikan. Akumulasi spesies akuatik ini dapat meningkatkan volume hidrodinamik kapal, yang ditunjukkan dengan peningkatan tahanan hingga sebesar 60%. Konsekuensinya, kecepatan kapal dapat berkurang hingga 10%, sehingga

diperlukan peningkatan konsumsi bahan bakar sebesar 40% untuk mengimbangnya. Peningkatan konsumsi bahan bakar akibat kekasaran pada lambung kapal ini berdampak negatif terhadap lingkungan dan diperkirakan akan meningkatkan emisi CO<sub>2</sub> dan sulfur dioksida antara 38% hingga 72% pada tahun 2020.[9]



Gambar 2. 3 Penempelan Biofouling pada lambung kapal

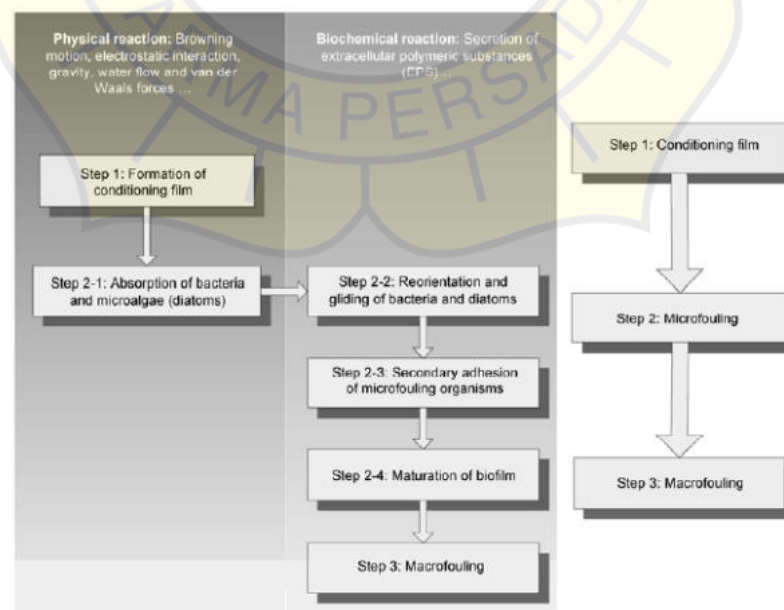
*Biofouling* merupakan akumulasi organisme laut seperti mikroorganisme (bakteri, diatom), tumbuhan laut (alga), dan makroorganisme (kerang, barnakel, dan polychaeta) pada permukaan kapal yang terendam air laut. Proses ini diawali oleh pembentukan *biofilm* mikroba yang kemudian diikuti oleh penempelan dan pertumbuhan makroorganisme, membentuk komunitas biologis kompleks yang sulit dihilangkan.

Proses terbentuknya biofilm berlangsung melalui lima tahap:

1. Transport dan Penempelan Awal: Mikroorganisme berpindah melalui arus air dan mulai menempel secara sementara pada permukaan kapal, yang sebelumnya telah dilapisi oleh *conditioning film* dari zat organik.

2. Adhesi Reversibel dan Produksi EPS: Sel mikroba mulai memproduksi zat polimer ekstraseluler (*extracellular polymeric substances*) yang berfungsi sebagai perekat awal.
3. Pertumbuhan Awal dan Pembentukan Mikrokoloni: Koloni bakteri mulai berkembang membentuk struktur awal komunitas.
4. Pematangan Biofilm: Mikrokoloni membentuk struktur tiga dimensi yang kompleks dan berlapis.
5. Detasemen: Beberapa mikroorganisme melepaskan diri dan menyebar ke permukaan lain untuk membentuk biofilm baru.

Biofilm yang terbentuk kemudian menjadi substrat bagi larva makroorganisme seperti barnakel, kerang, atau alga untuk menempel secara permanen. Dalam kurun waktu dua hingga tiga minggu, organisme tersebut akan berkembang menjadi koloni yang stabil dan menetap secara penuh di permukaan kapal.[10]



Gambar 2. 4 Proses pembentukan Biofouling

Penempelan organisme ini sangat dipengaruhi oleh berbagai faktor, seperti kekasaran permukaan, suhu, salinitas, ketersediaan nutrisi, serta lama waktu kapal diam di perairan. Permukaan yang kasar memungkinkan mikroorganisme lebih mudah melekat karena memiliki luas permukaan yang lebih besar dan gaya geser air yang lebih rendah. Selain itu, organisme seperti barnakel diketahui memiliki mekanisme khusus berupa *antennule* yang mensekresikan semen protein untuk menempel secara kuat dan tidak reversibel.

Penumpukan *Biofouling* memiui masalah yang signifikan, bahkan dalam beberapa kasus, struktur lambung dan sistem propulsi bisa rusak. Kumpulan *Biofouling* pada lambung kapal bisa meningkat seiring berjalannya waktu, baik dari hidrodinamik kapal atau efek dari gesekan yang memicu penambahan drag sampai 60%. Penambahan drag bisa mengurangi kecepatan kapal sampai 10% dan menambah konsumsi bahan bakar hingga 40%. Dimana biasanya bahan bakar biasanya ialah setengah dari biaya transportasi laut. Penambahan penggunaan bahan bakar akibat *Biofouling* dapat merugikan lingkungan dan bisa memicu peningkatan emisi karbon dioksida dan sulfur dioksida antara 38% - 72% pada tahun 2020.[11]

Banyak faktor yang mempengaruhi pertumbuhan *Biofouling* sehingga sulit diprediksi. Contohnya pada jenis hewa teritip, tingkat pertumbuhan bergantung pada tingkat makanannya. Menurut periode pertumbuhannya, periode awal atau 1,5 bulan pertama ialah masa pertumbuhan cepat *Biofouling*, dan akan menurun pada periode selanjutnya.

Hal tersebut yang menyebabkan pertumbuhan *Biofouling* pesat dan tidak terbatas. Ini memicu penumpukan *Biofouling* pada permukaan benda sehingga menyebabkan masalah yang signifikan. Beberapa infrastruktur bisa terdampak akibat *Biofouling* di laut, contohnya *ship*, *bridge*, dan *jetty*. Dalam industri perkapalan, *Biofouling* bisa memicu penambahan biaya melalui penambahan bahan bakar, tenaga kerja, waktu *docking*, dan material. [12]

