

# **BAB I**

## **PENDAHULUAN**

### **A. Latar Belakang**

Kapal niaga mempunyai peranan yang penting dalam distribusi barang di seluruh dunia dimana lebih dari 80% volume perdagangan global dibawa oleh transportasi laut. Sejak tahun 1970 perdagangan melalui laut secara global meningkat senilai rata-rata 3,1% per tahun. Industri di negara-negara maju memerlukan bahan baku yang diimpor dari negara berkembang (Rivaldigia, 2011). Pada sisi lain negara berkembang memainkan peran sebagai penggerak dalam perdagangan global sehingga negara-negara di Afrika dan Amerika Latin berkembang menjadi penyedia kebutuhan komoditas bagi China (UN, 2012). Negara-negara Asia selama 2 dekade telah mengubah peta pusat ekonomi global dan industri dari Atlantik Utara sehingga meningkatkan pentingnya Asia dalam perdagangan dunia dan mendorong perdagangan Selatan-Selatan (ADB, 2011).

Kapal niaga di dalam pengoperasiannya mempergunakan air laut yang disimpan dalam tangki *ballast* untuk menjaga stabilitas kapal tersebut. Pada saat muatan kosong maka kapal niaga akan mengambil air laut dari sekitar pelabuhan dan setelah mencapai pelabuhan berikutnya sesaat selesai memuat muatan maka kapal tersebut akan membuang air laut yang terdapat pada tangki ballastnya.

Sistem air *ballast* di kapal niaga menggunakan pompa air laut (pompa *Ballast*) untuk mengeluarkan atau memasukkan air laut ke dalam tangki *ballast*. Selain untuk meningkatkan stabilitas kapal, air laut pada tangki *ballast* kapal dipergunakan untuk memperoleh kedalaman kapal seperti yang diinginkan, meningkatkan kecepatan, mengubah trim, menurunkan momen tekuk atau gaya pembagi, mengontrol *list* selama muat dan bongkar dan meningkatkan manuver kapal niaga (van Dokkum, 2005).

Pada kapal kontainer terdapat sistem *anti-heeling* yang digunakan untuk meminimalkan *list* (di pelabuhan). Pompa dengan kapasitas yang besar (1000 m<sup>3</sup>/jam) dipasang diantara dua tangki *ballast* (sisi kiri dan kanan). Pompa tersebut dapat mentransfer air dari tangki satu ke tangki yang lain dengan kecepatan yang besar untuk mengatur *listing* kapal selama kapal melakukan bongkar muat.

Pembuangan air *ballast* kapal telah menimbulkan dampak buruk bagi ekosistem di Amerika Serikat seperti pada perairan air tawar di *Great Lakes* ditemukan paling sedikit 139 spesies asing dan ikan *ruffee* dari Eropa menjadi spesies yang berbahaya akibat air *ballast* kapal (Mills *et al.*, 1994).

Ikan *gobi* dan *blenny* telah mendominasi perairan pelabuhan Baltimore, Maryland dan Norfolk karena kedua grup ikan tersebut mencari perlindungan dan menempatkan telurnya pada lubang kecil, dan saat dihisap oleh pompa *Ballast* masuk ke dalam lambung kapal (Wonham *et.al*, 2000).

Ikan *tubenose goby* juga mendominasi dan menjadi invasif di dasar danau Erie bagian barat akibat keluaran air *ballast* kapal, disebabkan tingkat

awal kehidupannya yang melayang dengan migrasi vertikal sehingga terjadi penyebaran yang meluas. Ikan ini telah memusnahkan ikan endemis di wilayah tersebut yaitu ikan *darter* (*Etheostoma spp.*), *madtom* (*Noturus spp.*) dan *sculpin* (*Cottus spp*) (Kocovsky *et al.*, 2011).

Akibat pembuangan air *ballast* juga berdampak negatif pada bidang ekonomi pada wilayah yang dimasuki kapal niaga, seperti yang dikemukakan oleh Lovell *et al.* (2006) yang menyatakan masuknya ikan bukan asli ke wilayah Amerika Serikat telah merugikan perekonomian sebesar 1 milyar sampai dengan 5,7 milyar dolar AS per tahun. Di samping itu *krustasea* invasif merugikan perikanan senilai 22,8 juta dolar AS per tahun dan alga *bloom* dari air *ballast* kapal akan menyebabkan kerugian ekonomi sebesar 21,8 juta dolar AS per tahun. Hal ini sejalan dengan penelitian yang dikemukakan oleh Lin *et al.* (2007) yang menyatakan dari tahun 1970 sampai dengan sekarang, perkembangan ekonomi yang cepat (selama 3 dekade) secara bersamaan akan meningkatkan invasi biologi dimana faktor ekonomi ( $r^2=0,378$ ) memegang peranan yang utama dibanding dengan faktor iklim ( $r^2 = 0,347$ ).

Dampak air *ballast* dari kapal niaga di wilayah Australia terjadi pada wilayah perairan pelabuhan tropisnya dimana telah ditemukan 58 spesies introduksi pada delapan pelabuhan, didominasi spesies daerah tropis (49 spesies) dan merupakan organisme yang menempel (Hewitt, 2002). Sedangkan penelitian yang dilakukan di perairan Hawaii ditemukan alga

asing yaitu *Acanthophora spicifera*, *Avrainvillea amadelpa*, *Hypnea musciformis*, *Kappaphycus spp.* (Smith *et al.*, 1999).

Dampak pembuangan air *ballast* dari kapal niaga juga ditemukan di perairan Asia seperti di perairan Taiwan barat dimana ikan predator *Scieanops ocellatus*-dari pantai Atlantik Amerika-dapat bertahan hidup dengan baik di wilayah tersebut (Liao *et al.*, 2010). Pada perairan laut Kaspia ditemukan kelimpahan spesies mesozooplankton menjadi menurun akibat invasi *Mnemiopsis leidyi* di laut Kaspia, mengakibatkan ikan kilka yang tadinya melimpah (antara tahun 1995 dan 2003) menjadi turun tiga kali lipat (tahun 1995-2000 dan 2001-2006) (Roohi *et al.*, 2010).

Penelitian yang dilakukan oleh el Husna (2007) di pelabuhan Pertamina, Cilacap menunjukkan air *ballast* mengandung mikroorganisme *Streptococcus*, *Salmonella thypii*, *Staphylococcus*, *Entero coli*, *Entero bacter dan Klebsielle* sehingga apabila dibuang ke wilayah perairan dapat membahayakan kesehatan di wilayah sekitar perairan pelabuhan tersebut. Hal ini sejalan dengan penelitian sebelumnya yang dilakukan Cleland (1994), terdapat bakteri penurun sulfur (SRB/*Sulfat Reducing Bactery*) pada tangki *wing ballast* kapal niaga dimana bakteri tersebut menyebabkan laju korosi yang tinggi pada tangki *ballast*.

Dampak polusi logam berat di perairan pelabuhan dapat menyebabkan kandungan logam pada organisme meningkat. Konsentrasi Pb pada ikan merah (*Lutjanus erythropterus*) di pelabuhan Parepare telah melebihi

ambang batas (Usman *et al.*, 2013) yang disebabkan perairan pelabuhan telah terkontaminasi Pb dan Zn (Wahab & Mutmainah, 2005).

Polusi logam berat dari industri dan domestik dapat berdampak pada perairan pantai dan logam berat berkorelasi positif terhadap organisme di perairan tersebut (Srikanth *et al.*, 2014; Maslukah, 2013). Aktivitas di pelabuhan merupakan sumber polusi logam (Kara *et al.*, 2015).

Logam berat yang berasal dari sisa bahan bakar dari aktivitas nelayan menyebabkan kontaminasi Pb pada kerang simping, *Amusim pleuronectes* (Azhar *et al.*, 2012), demikian juga logam Chromium yang mencemari perairan telah menyebabkan darah dalam remis (*Anadra granosa*) telah melebihi ambang batas (Suprapti, 2008).

Aktivitas pertambangan, transportasi dan galangan kapal di Teluk Bintan telah mengakibatkan pencemaran logam berat Pb dan Cd di perairan tersebut. Akibatnya terjadi bioakumulasi pada lamun (*Enhalus acoroides*), dimana terjadi peningkatan kandungan Pb dan Cd masing-masing sebesar 4 dan 3,5 kali lipat dibanding kandungan logam tersebut di perairan (Pratiwi *et al.*, 2014)

Organisasi Maritim Internasional (IMO) melalui Komite Perlindungan Lingkungan (MEPC/*Marine Environment Protection Committee*) sejak tahun 2004 telah menetapkan Konvensi internasional tentang *Control and Management of Ship's Ballast Water and Sediments*, yang berupaya melindungi wilayah perairan laut dari dampak pembuangan air *ballast* kapal niaga. Pada tahap I (sebelum 2014), menurut Konvensi tersebut setiap kapal

niaga yang akan memasuki wilayah pelabuhan tujuan harus melakukan proses *ballast water exchange* atau pertukaran air *ballast* dengan air laut pada perairan dengan jarak 200 mil dari pelabuhan tujuan dan dengan kedalaman minimal 200 m. Setelah tahun 2014 (tahap II), kapal yang berbobot  $\geq 400$  GT harus mempunyai sistem *Ballast Water Treatment* yaitu sistem yang digunakan di kapal niaga yang dapat mematikan dan memfiltrasi mikroorganisme yang dihisap melalui air laut di pelabuhan asal. Sehingga dengan aturan internasional tersebut maka setiap kapal dengan lebih dari 400 GT harus mempunyai *Ballast Water Management Plan* dan *Ballast Water Record Book*.

Indonesia saat ini bersama-sama dengan negara anggota ASEAN lainnya yaitu Philipina, Singapura, Kamboja, Vietnam dan Brunei Darussalam, belum masuk dalam para pihak yang menandatangani Konvensi *Ballast Water Management* 2004. Di sisi lain Malaysia sebagai sesama anggota ASEAN (*Association of Southeast Asian Nations*) telah menandatangani Konvensi tersebut (mulai Agustus 2010), sebagai wujud kepedulian negara tersebut terhadap lingkungan maritimnya. Pada saat ini Konvensi tersebut belum diberlakukan secara internasional (status 7 April 2014), karena baru ditandatangani oleh 38 negara dengan 30,38% tonase dunia (IMO, 2014). Konvensi ini akan berlaku di seluruh dunia, 12 bulan setelah ditandatangani oleh lebih dari 30 negara yang mewakili lebih dari 35% tonase dunia dari kapal niaga (DNV, 2013).

Pemerintah Indonesia sebenarnya telah mengatur air *ballast* ini dalam Peraturan Pemerintah (PP) Nomor 21 Tahun 2010 tentang Perlindungan Lingkungan Maritim, dimana pada PP tersebut dinyatakan bahwa pencemaran lingkungan salah satunya dari air *ballast* dan kapal dilarang melakukan pembuangan limbah dan bahan lain (meliputi air *ballast*, bahan kimia yang berbahaya dan beracun, bahan yang mengandung zat perusak ozon). Limbah dan bahan lain wajib diolah di kapal dan dipindahkan ke fasilitas penampungan. Namun pada kenyataannya seperti tercantum pada Pasal 6, tidak tercantum secara jelas bagaimana cara pembuangan air *ballast* (pertukaran air *ballast* dimana, dengan metode apa), hanya dituliskan jarak pembuangan, volume buangan dan kualitas buangan saja. Sedangkan di dalam regulasi *Control and Management of Ship's Ballast Water and Sediments* mencantumkan pembuangan air *ballast* di pelabuhan dapat dilakukan apabila kapal tersebut telah melakukan pertukaran air *ballast* (baik dengan metode *empty refill*, *dillution* atau *flushing*) pada jarak 200 mil dengan kedalaman minimal 200 meter dari pelabuhan yang akan dimasukinya. Regulasi air *ballast* ini tidak menyebutkan pembatasan volume buangan air *ballast* tetapi bagaimana kualitas air *ballast* yang dibuang ke perairan yang disinggahi kapal.

## **B. Perumusan Masalah**

Menurut Carlton dalam laporannya ke Kongres Amerika Serikat (Carlton, 2001), terdapat sebelas *bio invansion species* pada perairan pantai Amerika Serikat yaitu 1) *Atlantic Salmon*, *Salmo salar* (1998, lepas dari

perairan), 2) *Japanese Mahogany Clam, Nuttalia obscurata* (1991, *ballast*), 3) *European Shore Crap, Carcinus maenas* (1990, rumput laut dengan cacing umpan), 4) *Chinese mitten crab, Eriocheir sinensis* (1992, dilepas dengan sengaja), 5) *Asian kelp, Undaria pinnatifida* (2000, menempel di lambung kapal), 6) *Mediterranean Green Seaweed, Caulerpa taxifolia* (2000, lepas dari akuarium di rumah), 7) Brown mussel, *Perna perna* (1990, vector yang belum pasti), 8) *Pacific spotted Jellyfish, Phyllorhiza punctata* (2000, vektor yang belum pasti), 9) *Asian Whelk, Rapana venosa* (1998, *ballast*), 10) *Asian shore crab, Hemigrapsus sanguineus* ( 1988, *ballast* atau menempel di lambung kapal) dan 11) *Pacific Red Seaweed, Grateloupia doryphora* (1996, menempel di lambung kapal).

Terdapat empat belas vektor invasi dan jenis organisme yang ditransportasikan, pertama melalui kapal yaitu melalui organisme planktonik atau nektonik di air *ballast*; menempel atau hidup bebas pada lambung, kemudi, *propeller* dan poros *propeller*, pada sistem air laut, *seachest*, tangki *ballast* dan palka kargo yang diisi air *ballast*; organisme yang berhubungan dengan jangkar, rantai jangkar, ruang penyimpanan jangkar; organisme yang berhubungan dengan kargo dan semacam kayu yang diapungkan kemudian dimuat), kedua dapat melalui platform pengeboran yaitu dengan menempel dan hidup bebas dan organisme planktonik dan nektonik pada air *ballast*.

Ketiga melalui *dry dock* yaitu organisme yang menempel dan hidup bebas, organisme planktonik dan nektonik pada air *ballast*. Keempat

melalui *buoy* navigasi dan dermaga (menempel dan hidup bebas), kelima dengan perantara pesawat amfibi, pesawat laut dengan cara menempel pontoon), keenam melalui kanal dengan cara gerakan spesies melalui kenaikan muka laut, *lock* atau kanal irigasi).

Ketujuh melalui perairan publik yaitu organisme yang mengalami kecelakaan atau dilepas secara sengaja dari *display*, organisme yang mengalami kecelakaan atau dilepas secara sengaja dengan spesies target (*display*). Kedelapan melalui riset yaitu dengan cara perpindahan dan pelepasan invertebrata, ikan, alga dan rumput laut yang digunakan di laboratorium, baik secara sengaja atau karena kecelakaan maupun organisme yang berhubungan dengan peralatan riset dan sampel, termasuk *scuba* dan peralatan selam yang lain.

Kesembilan melalui reruntuhan benda laut yang mengapung yaitu transportasi spesies pada reruntuhan dengan mediasi manusia, semacam jaring apung dan plastik detritus), ke sepuluh melalui peralatan rekreasi yaitu melalui perpindahan kapal rekreasi kecil, snorkel, peralatan *scuba*, *fins*, pakaian renang, jet ski dan peralatan sejenis.

Kesebelas melalui perikanan termasuk budi daya laut yaitu transplantasi atau budi daya kerang, ikan, tiram, kepiting, lobster dan organisme lainnya, atau rumput laut di laut terbuka untuk dikembangkan, pelepasan dengan sengaja kerang, ikan dan spesies alga, baik sebagai usaha introduksi pemerintah atau pelepasan sendiri secara ilegal, peningkatan stok, perpindahan makanan laut untuk perdagangan tetapi dilepas ke alam,

pemrosesan makanan laut segar atau beku, perpindahan umpan hidup, pengeluaran material pembungkus, perpindahan, relokasi atau penghanyutan peralatan perikanan, organisme yang dibawa secara sengaja atau tidak, pelepasan stok transgenetik, perpindahan alga dan organisme yang berasosiasi sebagai substrat untuk deposisi telur ikan. Kedua belas dapat melalui perantaraan industri hewan peliharaan yaitu dengan perpindahan rawa, gundukan atau rumput laut, pendirian kembali keberadaan local. Terakhir melalui pendidikan dengan cara pelepasan spesies dari sekolah, kolese dan universitas setelah dipakai.

Survei terhadap tiga buah kapal curah asing (pada tangki *ballastnya*) yang datang ke pelabuhan Banjarmasin pernah dilakukan oleh BBTKL-PPM Banjarbaru yang datang masing-masing dari Singapura, Cina dan Vietnam pada tanggal 27-28 Juni 2011. Pemeriksaan terhadap MV Capitola (sampel 1) dengan menggunakan baku mutu limbah cair bagi kegiatan industri (Kepmen LH Nomor 51/MenLH/10/1995), ditemukan baku mutu TDS dan TSS tidak memenuhi syarat (TDS 73.500 mg/l sedang TSS 1.112) pada baku mutu masing-masing 2000 mg/l dan 200 mg/l. Pada kapal kedua, nilai TDS dan TSS juga tidak memenuhi baku mutu (TDS 71.700 mg/l dan TSS 790 mg/l).

Selain parameter fisika tersebut, MV Capitola pada parameter kimia juga tidak memenuhi baku mutu yaitu kandungan Chrom valensi 6 pada 0,12 mg/l (baku mutu 0,1 mg/l), timbal (Pb) pada 0,2538 mg/l (baku mutu 0,1 mg/l) dan COD 404,2 mg/l (baku mutu 100 mg/l). Untuk MV Jimay,

terdapat parameter fisika dan kimia yang tidak terpenuhi. Pada parameter fisika nilai TDS-nya 647.000 mg/l (baku mutu 2000 mg/l) dan TSS 1.105 mg/l (baku mutu 200 mg/l), sedangkan pada parameter kimia kadar timbal (Pb)-nya 0,2390 mg/l (baku mutu 0,1 mg/l) dan sulfida ( $H_2S$ ) 10,5553 mg/l (baku mutu 0,05 mg/l). Pada kapal ketiga, MV Subic Star tidak memenuhi baku mutu, parameter fisika yaitu TDS dan TSS tidak memenuhi baku mutu, masing-masing pada nilai 88.800 mg/l (baku mutu 2000 mg/l dan 850 mg/l (baku mutu 200 mg/l).

Namun pada ketiga kapal yang dilakukan survei tersebut tidak ditemukan bakteri E. coli, Salmonella dan Vibrio cholera (baku mutu IMO). Nilai TDS yang tinggi dapat meningkatkan nilai kekeruhan yang menghambat penetrasi cahaya matahari ke kolam air sehingga menghambat proses fotosintesis di perairan, sedangkan kadar timbal yang tinggi dapat disebabkan bahan bakar terlarut yang mengandung timbal. Nilai COD yang tinggi sangat berbahaya bagi bidang pertanian dan perikanan, kromium yang tinggi berbahaya bagi pencernaan, dan sulfida ( $H_2S$ ) yang tinggi merupakan penyebab timbulnya karat pada logam (BBTKL-PPM Banjarbaru, 2012).

Hasil analisis pada tangki *ballast* (nomor 60 kiri dan kanan) pada kapal penumpang PT Pelni, KM (Kapal Motor) Lawit pada tanggal 8 Desember 2014 menunjukkan kandungan padatan terlarut total (TDS) pada nilai 23.924 mg/liter, yang melebihi baku mutu menurut Kepmen Lingkungan Hidup Nomor 51 tahun 1995 tentang Baku Mutu Limbah Cair bagi Kegiatan Industri yang mensyaratkan pada nilai 2.000 s/d 4.000 mg/liter. Terdapat

mikroorganisme pada tangki tersebut yang meliputi *Euglena acus* Ehrh, *Nitzshia vermicularis*, *Hemiaulus indicus*, *Nitzschia curvula* dan *Spirotaenia condensata*. Organisme *Nitzshia vermicularis* mendominasi pada tangki tersebut.

Uji laboratorium dari tangki *ballast* (nomor 61 kiri dan kanan) kapal Sirimau yang dilakukan pengambilan sampel pada 19 Desember 2014, menunjukkan terdapat bau minyak pada tangki, padatan tersuspensi total (TSS) yang melebihi baku mutu 1.336 mg/l (baku mutu 80 mg/l), H<sub>2</sub>S 4,799 mg/liter (baku mutu 0,03 mg/liter) dan senyawa phenol 2,8 mg/liter (baku mutu 0,002 mg/liter) sesuai Kepmen Lingkungan Hidup Nomor 51 tahun 1995. Menurut Effendi (2007), kandungan TSS yang melebihi 400 mg/liter, tidak baik bagi kepentingan perikanan.

Selanjutnya pada kapal penumpang Binaiya yang dilakukan penelitian awal di PTES pada 18 Desember 2014 menunjukkan kandungan phenol total 0,008 mg/liter (baku mutu 0,002 mg/liter) dan kandungan logam berat Zn 0,498 mg/liter (baku mutu 0,1 mg/liter). Kandungan senyawa tersebut menunjukkan dapat mengancam lingkungan perairan pelabuhan bagi wilayah yang dimasuki kapal niaga.

Peningkatan arus barang dari luar negeri ke PTES (Pelabuhan Tanjung Emas Semarang) akan berdampak pada peningkatan pencemaran dan invasi makhluk asing dari kapal tersebut. Produktivitas perikanan di pantai Semarang akan menurun dengan pengaruh buruk tersebut.

Pemerintah Indonesia sampai dengan saat ini belum mengimplementasikan secara penuh aturan Konvensi *Ballast Water Management* yang ditetapkan pada bulan Februari 2004. Sehingga tidak ada aturan yang mengatur bahwa kapal niaga dari luar negeri (yang melayari samudera) dan dalam negeri (yang melayari kawasan perairan pedalaman) melakukan standar paling mendasar D 1 yaitu melakukan pertukaran air *ballastnya* (paling sedikit 200 mil pada kedalaman 200 meter) sebelum memasuki kawasan pelabuhan di Indonesia. Apabila hal tersebut tidak memungkinkan dapat dilakukan pada perairan dengan jarak paling sedikit 50 mil dari daratan pada kedalaman 200 m (IMO, 2017).

Permasalahan yang dikemukakan pada penelitian ini adalah sebagai berikut:

1. Bagaimana korelasi korelasi phytoplankton, zooplankton dan logam berat di dalam air *ballast* kapal niaga terhadap phytoplankton, zooplankton dan logam berat di perairan PTES ?
2. Bagaimana kepatuhan awak kapal niaga di PTES dalam mengimplementasikan Konvensi *Ballast Water Management* ?
3. Bagaimana strategi yang dilakukan para pihak di pelabuhan Tanjung Emas Semarang terhadap pengelolaan air *ballast* kapal niaga ?
4. Bagaimana model pengelolaan air *ballast* kapal niaga berbasis lingkungan untuk mencegah dampak lingkungan ?

### C. Orisinalitas

Penelitian terdahulu yang terdapat dalam jurnal internasional telah terdapat penelitian yang mengkaji mengenai mikro organisme yaitu plankton, bakteri dan virus yang terdapat pada air *ballast*. Namun dalam penelitian yang peneliti bahas berdasarkan kelimpahan phytoplankton yang merupakan wilayah WCP (*West Central Pacifik*) nomor 71, di PTES sebagai daerah laut pedalaman dimana belum terdapat penelitian mengenai saprobitas pada phytoplankton di tangki *ballast* kapal niaga.

Orisinalitas yang akan dibangun dalam penelitian ini, pertama mendasarkan pada perhitungan David (2013) tentang keluaran air *ballast* dari kapal niaga di pelabuhan yaitu menghitung DWT (*Dead Weight Ton*), kapasitas tangki *ballast* dan air *ballast* yang dibuang di perairan PTES selama kurun waktu 5 tahun dengan mengambil data kegiatan angkutan laut kapal niaga baik dalam negeri maupun luar negeri dari KSOP (Kesyahbandaran dan Otoritas Pelabuhan) Tanjung Emas selama periode tersebut.

Orisinalitas kedua yang akan dibangun dalam penelitian ini, menurut peneliti adalah penelitian tentang kandungan phytoplankton dan zooplankton pada tangki *ballast* kapal niaga yang ditinjau dari aspek indeks saprobitas dan indeks total saprobitas

Orisinalitas penelitian yang ketiga yaitu dengan menggunakan alat ADCP (*Acoustic Data Current Profiler*) yang dipasang pada dasar perairan PTES di musim barat, akan diteliti arah, kecepatan arus, mawar arus strata

kedalaman pada musim tersebut sehingga diperoleh sebaran dampak terjauh dari kapal niaga yang membuang yang membuang air *ballast* dengan rumus yang dikemukakan oleh Wolinsky.

Orisinalitas keempat dalam penelitian ini yaitu dengan menggunakan model sistem dinamis dapat diprediksi kandungan dan laju pertambahan logam berat Pb, Cu, Cd dan Zn selama 60 bulan (5 tahun) ke depan apabila kapal niaga baik kapal niaga dalam negeri maupun luar negeri tidak melakukan pertukaran air *ballast*. Model ini juga memodelkan laju pertambahan, populasi phytoplankton dan zooplankton yang dikeluarkan oleh kapal niaga yang berada di perairan PTES selama 60 bulan (5 tahun ke depan).

Dari model dinamis yang telah dibangun tersebut, langkah selanjutnya yang juga merupakan orisinalitas penelitian yaitu membangun strategi yang dapat dilakukan oleh pihak di PTES terhadap pengelolaan air *ballast* kapal niaga yaitu dengan menggunakan analisis SWOT (*Strenght, Weakness, Opportunity, Threat*) akan diperoleh kondisi pengelolaan air *ballast* di PTES sehingga diperoleh kebijakan pengelolaan air *ballast* kapal niaga di PTES.

Peneliti juga melihat orisinalitas penelitian dari segi tempat, dimana PTES merupakan tempat kapal niaga berlabuh dari pelabuhan antar wilayah dalam negeri atau pelayaran interinsuler dengan waktu pelayaran yang pendek (kurang dari 7 hari pelayaran) dan kapal niaga tersebut berlayar pada kawasan dengan kedalaman di bawah 200 m (bukan *open*

*ocean* dengan kedalaman lebih dari 2000 m seperti dikemukakan oleh peneliti terdahulu). Dari segi jenis kapal niaganya, belum pernah dilakukan penelitian terhadap kapal penumpang, apakah air *ballast* pada kapal penumpang membawa dampak bagi lingkungan pelabuhan yang dimasukinya.

Penelitian tentang organisme, bakteri dan teknik pengambilan sampel dari air *ballast* dalam jurnal nasional dan internasional sebagai berikut (Lampiran Tabel 1):

1. Carlton & Geller (1993), mengkaji plankton pada contoh air *ballast* dari 159 kapal kargo-berasal dari 25 pelabuhan di Jepang- yang dibuang ke pelabuhan. Hasil penelitian menunjukkan plankton termasuk 16 binatang dan 3 filum Protista;
2. Cleland (1994), mengkaji bakteri penurun sulfur (*SRB/Sulfat Reducing Bactery*) pada pembuangan air *ballast*. Hasil penelitian menjelaskan laju korosi yang tinggi pada tangki *wing* disebabkan aksi bakteri penurun sulfat (SRB) yang mengubah siklus aerobik dan anerobik;
3. Chu *et al.* (1997), menguji keluaran air *ballast* sebagai vektor masuknya spesies asing ke perairan Hongkong. Dua belas sampel penelitian diambil dari 5 kapal kontainer yang memasuki Hongkong periode Juni 1994 sampai dengan Oktober 1995. Hasil penelitian menunjukkan terdapat sedikitnya 81 spesies dari 8 filum binatang dan 5 filum Protista;
4. Smith *et al.* (1999), menyelidiki 1) karakteristik dan jumlah biota yang tiba di teluk Chesapeake dalam air *ballast* asing, 2) perbandingan suhu

dan salinitas air *ballast* dan air pelabuhan di teluk Chesapeake bagian atas, 3) organisme yang bertahan dari air *ballast* pada karakteristik suhu dan salinitas wilayah. Hasil penelitian menunjukkan 1) terdapat 221 biota di teluk Chesapeake, 2) antara bulan Agustus 1993 sampai Agustus 1994, suhu air *ballast* yang terukur antara 12<sup>0</sup>C dan 32<sup>0</sup>C , salinitas antara 0‰ dan 42‰. Sedangkan salinitas rata-rata pada <10‰ dan rata-rata suhu bervariasi pada musim, 3) Terdapat 15 binatang dan 3 filum protista, 2 divisi tanaman dan *cyanobacteria*;

5. Milbrink (1999), menyelidiki penyebaran *oligochaeta* (cacing air tawar) yang disebabkan oleh transportasi pasif, rakit dan pergantian air *ballast*. Hasil penelitian menunjukkan 1) spesies Ponto-Caspian dari genus *Potamothrix* terbentang dari Laut Kaspia ke Laut Baltik yang mempunyai toleransi kadar salinitas dan air payau yang lebih tinggi, 2) distribusi *Potamothrix heuscheri* luas namun terhenti pada dunia yang lebih luas, 3) *Potamothrix heuscheri* di Swedia ditemukan pada wilayah erotropis dan mempunyai toleransi pada air payau;
6. Zhang & Dickman (1999), mengkaji efektifitas *MOE* (pertukaran air *ballast* tengah samudera) pada 34 kapal kontainer (20 kapal dari Oakland, California) di pelabuhan Hongkong. Penelitian menunjukkan pada awal September dan pertengahan Agustus, *Skletonema costatum* mendominasi dalam air *ballast* (14.000 sel/liter). Terdapat pula diatom berbahaya, *Chaetoceros caoncavicornis* dan *Alexandrium catenella*.

Terjadi penurunan kelimpahan sebesar 87% dibandingkan air pada pelabuhan Oakland;

7. Dickman & Zhang (1999), mengkaji efektivitas *MOE* (pertukaran air *ballast* di tengah samudera) pada empat kapal yang berasal dari Manzanillo, Mexico. Hasil penelitian menunjukkan 1) efektivitas *MOE* hanya sekitar 48% dalam menurunkan kelimpahan diatom dan dinoflagellata, 2) kapal kontainer yang lebih tua ( $\geq 15$  tahun) tidak efektif untuk mengeluarkan diatom dan dinoflagellata daripada kapal baru dikarenakan sedimen di dekat dasar tangki *ballast*;
8. Lavoie *et al.* (1999), mengkaji 1) kelimpahan plankton dalam air *ballast*, 2) daya tahan organisme dalam tangki *ballast* dalam pelayaran dengan membandingkan kelimpahan awal dan akhir, 3) perbedaan daya tahan sebagai fungsi pelayaran atau grup taksonomi. Hasil penelitian menunjukkan 1) diversitas kelimpahan organisme melalui pelayaran antar pantai didominasi oleh dinoflagellata, diatom dan kopepoda, 2) pada empat dari tujuh pelayaran, kelimpahan organisme menurun pada lebih dari 36 jam pelayaran, 3) jutaan organisme bertahan tiap pelayaran dan dilepas ke pelabuhan penerima;
9. Gollasch *et al.* (2000), penelitian menyelidiki kemampuan bertahan phytoplankton dan zooplankton (*non-indigenous* spesies) dalam 23 hari pelayaran kapal kontainer dari Singapura, Colombo dan Bremerhaven. Hasil penelitian menunjukkan 1) ditemukan 9 spesies Dinoflagellata, termasuk genera yang berbahaya seperti *Dinophysis* dan *Gonyaulax*,

serta *Oscillatoria*, 2) Tangki air *ballast* dari Colombo yang berisi *harpacticoid copepod*, *Ttisbe graciloides*, naik kelimpahannya dengan factor 100 dari 0,1 menjadi 10 individu/liter dalam beberapa hari;

10. Hamer *et al.* (2001), menyelidiki potensi sisa kista *dinoflagellate* pada tangki *ballast* di pelabuhan Inggris dan Welsh. Penelitian menunjukkan ditemukan sejumlah 69% dari sampel, 48 spesies teridentifikasi , mewakili 20 marga;
11. Gollasch *et al.* (2003), penelitian menyelidiki teknik terbaik dalam pengambilan sampel air *ballast* dari tangki. Hasil penelitian menunjukkan Ruttner Water Sample dan pompa P30 paling cocok untuk pengambilan sampel kuantitatif pada phytoplankton, dimana pompa digunakan selama pengambilan sampel. Pompa P15 dan jaring bentuk-kerucut merupakan metode terbaik dalam sampling zooplankton secara kualitatif;
12. Gray *et al.* (2005), penelitian menyelidiki keberlangsungan hidup *diapause* telur invertebrata pada sedimen air *ballast* di tangki *ballast*. Hasil penelitian menunjukkan 1) kepadatan telur *diapause* pada danau lebih rendah daripada sedimen pada tangki *ballast*, 2) telur rotifera mendominasi kedua sedimen, sedimen dari danau Erie barat mengandung densitas telur kopepoda yang tinggi, 3) paparan telur *zooplankton* pada air garam (32‰) tidak menurunkan kelimpahan telur invertebrate;

13. David *et al.* (2007), penelitian menyelidiki air *ballast* di Laut Mediterania. Hasil yang diperoleh dapat sebagai informasi untuk awal pengujian resiko pada masuknya spesies di masa depan;
14. Klein *et al.* (2009), penelitian menguji efektifitas pertukaran air *ballast* tengah samudera (*MOE/Mid Ocean Exchange*) dengan membandingkan kapal yang melakukan MOE dan tidak- melalui komposisi dan densitas diatom dalam air *ballast*. Penelitian menunjukkan terdapat kelimpahan diatom 86.429 pada tangki air *ballast*, kepadatan spesies turun atas waktu dan pertukaran air pantai dengan air tengah samudera, ditemukan diatom yang bertahan selama 23 hari pelayaran dan setelah pertukaran air *ballast*;
15. Garret *et al.* (2011), penelitian menyelidiki *cyst* pada air *ballast* dan sedimen dari 82 kapal dengan 63 sampel dari berbagai jenis kapal (60 kapal curah, 2 kapal tanker dan 1 kapal kontainer). Penelitian menunjukkan, dari 63 sampel, diperoleh 1633 *cyst* dinoflagellata dan sel seperti-*cyst*. Dinoflagellata yang berbahaya, *Alexandrium balechii*, natural, bentuk-*cyst*, dari kapal yang sama 6 bulan yang lalu, menunjukkan kapal yang melakukan pertukaran air *ballast* di Teluk Tampa mempunyai potensi transportasi spesies *HAB (Harmful Alga Bloom)* ke pelabuhan lain dengan ekologi yang sama, berpotensi terjadi ledakan racun;
16. Butron *et al.* (2011), menyelidiki alga berbahaya yang dibawa oleh air *ballast* di pelabuhan Bilbao. Hasil penelitian menunjukkan 1)

diperkirakan kapal yang membawa cairan dan curah kering mempunyai kemungkinan lebih besar mengeksport air *ballast*, 2) terdapat 30 phytoplankton berbahaya teridentifikasi di dekat fasilitas pelabuhan, yang mempunyai resiko tinggi untuk diekspor, paling sedikit *Alexandrium minutum*, *Dinophysis sp.*, *Heterosigma akashiwo*, *Karlodinium sp.*, *Ostreopsis cf. siamensis*, *Pfiesteria-seperti* dan *Prorocentrum minimum*, 3) memungkinkan terjadi pertumbuhan strain asing;

17. Arifin *et al.* (2012), menyelidiki kandungan logam Cd, Cu, Cr dan Pb dalam air laut di sekitar perairan Bungus, Teluk Kabung, kota Padang. Hasil penelitian menunjukkan kandungan logam Cr dan Pb telah melampaui baku mutu yaitu lebih dari 0,001 ppm, dimana kandungan Cr 0,0170-0,0890 ppm dan Pb berkisar 0,06-0,09 ppm. Kandungan Cr yang tinggi terdapat pada titik pengambilan sampel di dekat kapal berlabuh yang membuang air *ballastnya* ke laut.

Penelitian tentang keberadaan *Skeletonema* dan mikroalga yang berbahaya penyebab *bloomimg* di wilayah perairan Indonesia belum pernah dilakukan, air *ballast* kapal niaga dapat mengandung phytoplankton penyebab *bloomimg* yang meliputi 1) *Trichodesmium erythraeum* dan *Trichodesmium thiebautii* (kelas Cynophyceae), 2) *Chaetoceros socialis*, *Pseudonitzschia* dan *Thalassiosira mala* (kelas Bacillariophyceae), 3) *Alexandrium affine*, *Alexandrium cohorticula*, *Alexandrium tamiyavanichi*, *Ceratium fusus*, *Ceratium tripos*, *Dinophysis*

*acuminata*, *Dinophysis acuta*, *Dinophysis cuadata*, *Dinophysis miles*, *Dinophysis caudate*, *Dinophysis miles*, *Dinophysis rotundata*, *Gambrierdiscus toxicus*, *Gonyaulax diegensis*, *Gonyaulax polyedra*, *Gonyaulax polygramma*, *Gonyaulax spinifera*, *Gymnodinium pulchellum*, *Noctiluca scintillas*, *Osteoropsis ovate*, *Osteoropsis lenticularis*, *Prorocentrum lenticularis* dan *Prorocentrum emarginatum* (24 spesies pada kelas Rapidophyceae) (Rompas, 2010).

Penelitian terdahulu yang mengulas plankton dalam tangki *ballast* kapal niaga yang datang dari pelabuhan asing (Jepang) ke wilayah pelabuhan negara tujuan dengan pelayaran yang lama (> 7 hari pelayaran) dengan melewati *open ocean* (laut dengan kedalaman lebih dari 2000 m) (Carlton & Geller, 1993; David *et al.*, 2007), bakteri penurun sulfur (SRB/*Sulfat Reducing Bactery*) (Cleland, 1994), keluaran air *ballast* sebagai vektor masuknya spesies asing (Chu *et al.*, 1997), organisme dari air *ballast* yang bertahan sesuai karakteristik wilayah (Smith *et al.*, 1999), penyebaran *oligochaeta* (cacing air tawar) sebagai dampak dari rakit dan pergantian air *ballast* (Millbrink, 1999), efektifitas *MOE* (pertukaran air *ballast* tengah samudera) (Zhang & Dickman, 1999; Klein *et al.*, 2009), kemampuan bertahan organisme dalam tangki *ballast* kapal selama pelayaran (Lavoie *et al.*, 1999; Gollasch *et al.*, 2000), potensi sisa kista dinoflagellata pada tangki *ballast* (Hamer *et al.*, 2001), metode terbaik pengambilan sampel air *ballast* kapal (Gollasch *et al.*, 2003), keberlangsungan hidup telur *diapause* mikroorganismenya pada sedimen di

tangki *ballast* (Gray et al., 2005; Garret et al., 2011), alga berbahaya pada tangki *ballast* di pelabuhan Bilbao (Butron et al., 2011) dan kandungan logam berat pada wilayah perairan (Arifin et al., 2012).

Kebaruan yang dapat ditunjukkan dalam penelitian ini yaitu menunjukkan kondisi air di tangki *ballast* kapal niaga apakah tercemar sangat ringan, ringan sedang, cukup berat sampai dengan sangat berat. Dari indeks tersebut juga dapat ditunjukkan organisme penyusun saprobitas, apakah termasuk dalam polisaprobik,  $\alpha$ -mesosaprobik,  $\beta$ -mesosaprobik atau termasuk dalam oligosaprobik.

Kebaruan kedua yang dibangun dalam penelitian ini yaitu analisis air di tiap tangki *ballast* kapal niaga dengan menggunakan analisis seperti halnya pada perairan pantai atau estuari dengan menggunakan kelimpahan individu (N), indeks keanekaragaman jenis ( $H'$ ), indeks kemerataan (E), indeks dominansi (D), indeks saprobitas (X) dan indeks total saprobitas (TSI) pada phytoplankton di tiap tangki ballast kapal niaga, sedangkan zooplankton pada tangki *ballast* kapal niaga menggunakan kelimpahan individu (N), indeks keanekaragaman jenis ( $H'$ ), indeks kemerataan (E) dan indeks dominansi (D). Karakteristik air ballast di kapal niaga yang diteliti adalah kapasitas keluaran air ballast (dalam ton/tahun) yang telah dikeluarkan dari kapal niaga yang sedang sandar di PTES pada saat kapal tersebut sedang melakukan pemuatan.

Kebaruan ketiga yaitu dengan membandingkan dan menganalisis data phytoplankton dan zooplankton antara perairan PTES saat musim

berat dengan air di tangki ballast pada kapal niaga yang bersandar di pelabuhan PTES maka akan diperoleh species yang berbeda dengan perairan PTES.

Penelitian terdahulu yang dilakukan oleh Arifin dkk. (2012) tentang kandungan logam berat pada suatu wilayah perairan, sehingga orisinalitas yang dibangun, sejauh manakah air *ballast* kapal niaga yang mengandung logam berat turut berperan dalam penambahan kandungan logam berat di perairan pelabuhan yang dimasukinya.

Kebaruan keempat yang dibangun dalam penelitian ini adalah konsep baru tentang strategi pengelolaan air *ballast* kapal niaga dengan menggunakan analisis SWOT dipadukan dengan rekonstruksi kebijakan pengelolaan air *ballast* yang bersandar pada Undang Undang Nomor 1 Tahun 2004 tentang Pengelolaan Wilayah Pesisir dan Pulau-Pulau Kecil dan Undang-Undang Nomor 23 Tahun 2014 tentang Pemerintahan Daerah.

Kebaruan kelima adalah model pengelolaan air *ballast* kapal niaga di PTES dengan mempertimbangkan dari segi oseanografi yaitu letak PTES yang merupakan *coastal cell* dari Teluk Semarang, pasang surut, arus air laut (kecepatan arus dan mawar arus atas) dan faktor biotik yaitu saprobitas perairan di PTES. Model pengelolaan air *ballast* kapal niaga yang disodorkan peneliti yaitu mempergunakan analisis SWOT dari responden kemudian disodorkan dengan pengambilan kebijakan selanjutnya diperoleh model pengelolaan yang sesuai dengan kebutuhan di PTES.

Selanjutnya peneliti mengungkapkan kebaruan dalam penelitian ini ke dalam dua pokok pemikiran sebagai berikut:

1. Strategi yang dilakukan para pihak di PTES terhadap pengelolaan air *ballast* kapal niaga
2. Model pengelolaan air *ballast* kapal niaga berbasis lingkungan untuk mencegah dampak lingkungan

#### **D. Tujuan Penelitian**

##### 1. Tujuan Umum

Merumuskan model dan strategi pengelolaan air *ballast* kapal niaga berbasis lingkungan sehingga dapat mengurangi dampak terhadap perairan pelabuhan yang disinggahi kapal niaga

##### 2. Tujuan Khusus

- a. Menganalisis korelasi phytoplankton, zooplankton dan logam berat di dalam air *ballast* kapal niaga terhadap phytoplankton, zooplankton dan logam berat di perairan PTES
- b. Mendeskripsikan kepatuhan awak kapal niaga di PTES dalam mengimplementasikan Konvensi *Ballast Water Management*
- c. Menganalisis strategi yang dilakukan para pihak di PTES terhadap pengelolaan air *ballast* kapal niaga
- d. Mengembangkan model pengelolaan air *ballast* kapal niaga berbasis lingkungan untuk mencegah dampak lingkungan.

## **E. Manfaat Penelitian**

### 1. Manfaat Teoritis

Memberikan masukan berupa model dan strategi pengelolaan *air ballast* kapal niaga berbasis lingkungan sehingga dapat mengurangi dampak terhadap perairan pelabuhan yang disinggahi kapal niaga.

### 2. Manfaat Praktis

- a. Memahami korelasi phytoplankton, zooplankton dan logam berat di dalam air *ballast* kapal niaga terhadap phytoplankton, zooplankton dan logam berat di perairan PTES
- b. Memahami kepatuhan awak kapal niaga di PTES dalam mengimplementasikan Konvensi *Ballast Water Management* .
- c. Mengimplementasikan strategi yang dapat dilakukan Otoritas Pelabuhan Tanjung Emas dalam menangani masuknya *spesies asing* melalui *air ballast* dari kapal niaga.
- d. Menerapkan model pengelolaan air *ballast* kapal niaga berbasis lingkungan.
- e. Menerapkan kerjasama antar lembaga regulator pada Otoritas Pelabuhan Tanjung Emas yaitu antara KSOP dan Balai Karantina dalam pengawasan spesies asing melalui *air ballast* kapal niaga
- f. Menerapkan kerjasama antara regulator pada PTES dalam pembuatan aturan pengelolaan budidaya perikanan dan perdagangan yang tidak saling merugikan kedua belah pihak

## **BAB II**

### **KAJIAN PUSTAKA**

#### **A. Identifikasi Kebutuhan Alat Transportasi Global dan Nasional**

Kebutuhan transportasi global dipicu oleh peningkatan pendapatan domestik bruto sampai dengan periode 2030. Hal tersebut didasari pada peningkatan dua kali lipat pergerakan penumpang pesawat dalam 15 tahun, tiga kali lipat kargo udara dalam kurun 20 tahun dan empat kali lipat pada penanganan kontainer sampai 2030 (OECD, 2011).

Peningkatan penduduk di dunia yang mencapai 9 milyar pada 2050, akan meningkatkan mobilitas yang besar pada tahun tersebut sehingga diperlukan infrastruktur pendukung dalam upaya mendukung peningkatan mobilitas tersebut. Komponen strategis yang diperlukan dalam infrastruktur pendukung dapat berupa infrastruktur gerbang, pengumpul dan infrastruktur darat, dengan tulang punggung berupa barang yang diangkut oleh pesawat besar dan juga kapal kontainer yang dapat membawa barang dengan volume yang besar dengan ongkos angkut yang lebih murah (OECD, 2011).

Permasalahan pada transportasi nasional yaitu masih kurang memadainya konektivitas antar pulau dimana sarana dan prasarana pelabuhan perintis yang belum memadai (terutama pada wilayah Indonesia bagian timur), rute dan jumlah kapal perintis yang terbatas. Pada bidang SDM (Sumber Daya Manusia) dan iptek (ilmu pengetahuan dan teknologi) kelautan telah dipetakan pula permasalahan kualitas dan kuantitas SDM kelautan yang

belum optimal, kelembagaan pendidikan dan pelatihan, inovasi dan sosialisasi iptek kelautan yang tepat guna dan wawasan kebangsaan Indonesia sebagai negara kepulauan yang belum berkembang (Bappenas, 2014).

## **B. Kapal Niaga Menuju Era *Green Ship***

Kegiatan pelayaran merupakan salah satu dari penyebab pencemaran di laut selain kegiatan pengeboran, penyulingan, pelabuhan dan galangan. Pencemaran dapat terjadi pada kapal niaga disebabkan oleh karena tubrukan, kandas, terbakar, tenggelam, jatuhnya muatan, kegiatan penumpang dan awak kapal maupun pengoperasian normal kapal.

Pada operasi normal kapal niaga, pencemaran dapat terjadi dari ruangan permesinan, ruang muatan maupun ruang akomodasi. Dari ruang permesinan, pencemaran dapat terjadi disebabkan kebocoran pada pipa bahan bakar, kebocoran pada pipa minyak lumas, tumpahan bahan bakar sehingga menuju ke sistem *bilga*, kebocoran dari sistem pendingin air laut sehingga *bilga* penuh dan harus dibuang. Dari ruang muatan, pencemaran dimungkinkan terjadi dari sistem *ballast*, pencucian tangki dan dari muatan yang tumpah. Sedangkan dari ruang akomodasi, pencemaran laut dimungkinkan terjadi dari kotoran manusia dan sampah yang dihasilkan dari kegiatan penumpang maupun awak kapal.

IMO telah mewajibkan kapal niaga untuk mengurangi pencemaran di laut melalui konstruksi kapal, perlengkapan dan pengawasan (Konvensi MARPOL 1973/Protocol 1978). Dari segi konstruksi kapal niaga harus dibangun atau diatur dalam hal SBT (*Segregated Ballast Tank*), *Dedicated*

*Ballast Tank*, pembatasan ukuran tangki, *Protection for cargo (Double Hull)*. Dari segi perlengkapan, kapal niaga tertentu harus dilengkapi OWS (*Oily Water Separator*), ODM (*Oily Discharge Monitoring and Control System*), *Interface Detector*, instalasi pembuangan ke darat, *Oil Record Book* dan SOPEP (*Shipboard Oil Pollution Emergency Plan*). Sedangkan dari segi pengawasan telah dilakukan melalui upaya pembatasan kadar buangan, daerah buangan, *reception facility* dan penegakan hukum.

Aturan internasional tentang pencegahan polusi untuk kapal niaga yaitu dengan MARPOL 1973/Protocol 1978 yang dikeluarkan oleh IMO yang terdiri dari enam Annex. Annex I membahas pencegahan pencemaran oleh minyak, Annex II tentang pengawasan pencemaran oleh zat cair beracun yang diangkut dalam bentuk curah, Annex III tentang pencemaran oleh zat berbahaya yang diangkut dalam kemasan, Annex IV tentang pencegahan pencemaran oleh kotoran (*sewage*) dari kapal, Annex V tentang pencegahan pencemaran oleh sampah dan Annex VI tentang pencegahan pencemaran udara dari kapal.

Annex I tentang pencegahan polusi oleh minyak telah diberlakukan sejak 2 Oktober 1983 dan telah diratifikasi oleh Pemerintah Indonesia melalui Keputusan Presiden nomor 46 tahun 1986 sehingga diberlakukan untuk kapal niaga yang berlayar ke luar negeri mulai 27 Oktober 1986, sedang untuk kapal dalam negeri mulai 27 Oktober 1987. Dari Annex I tersebut yang diberlakukan untuk kapal niaga dengan 150 GT atau lebih, sedangkan untuk kapal tanker pada ukuran 400 GT atau lebih, kapal niaga

tersebut harus mempunyai *IOPP Certificate (International Oil Pollution Prevention Certificate)*.

Pada kapal yang membawa zat cair yang beracun, sesuai dengan Annex II, kapal niaga yang mengangkut bahan tersebut, setelah disurvei dan memenuhi persyaratan akan mendapatkan *International Pollution Prevention Certificate for The Damage of Noxious Liquid Substance in Bulk*.

Kapal niaga yang mengangkut kemasan berbahaya, sesuai dengan Annex III, harus mematuhi aturan tersebut, baik melalui pelabelan, dokumentasi dan cara pemuatan.

*Sewage* dari kapal yang meliputi pembuangan dari toilet, urinoir, WC, tempat pengobatan di kapal juga diwajibkan memenuhi ketentuan pada Annex IV. Dimana pembuangan *sewage* ke laut dapat dilakukan bila telah dihancurkan, disucihamakan dan dibuang pada jarak lebih dari 4 mil dari pantai, dengan kecepatan minimum kapal 4 knot.

Annex V tentang pembuangan sampah dari kapal, diberlakukan untuk seluruh kapal niaga, dimana pada aturan tersebut ditetapkan daerah khusus yaitu daerah larangan pembuangan sampah (Laut Tengah, Baltik, Hitam, Merah, Utara dan Teluk Persia), larangan pembuangan plastik, kapal juga diharuskan memiliki *Garbage Record Book*.

Aturan Annex VI telah diberlakukan secara internasional dimana kapal yang masuk ke dalam wilayah kontrol emisi (*SECA*) harus menggunakan bahan bakar di kapal dengan kandungan Sulfur tidak lebih dari 0,1% (atau disebut MGO/Marine Gas Oil) setelah 1 Januari 2015. Wilayah

yang masuk dalam emisi kontrol adalah Laut Baltik, daerah Laut Utara, daerah Amerika Utara (meliputi daerah pantai AS dan Kanada) dan daerah Karibia (sekitar Puerto Rico dan kepulauan Virgin) (IMO, 2015).

GSF (*Green Ship of the Future*), sebuah lembaga kemitraan dari Denmark, telah melakukan inisiatif dalam mengurangi emisi dari kapal niaga (*Greenship*, 2015). Proyek yang sedang dilakukan tersebut berupaya untuk menurunkan emisi CO<sub>2</sub> sampai 30%, emisi SO<sub>x</sub> sampai 90% dan emisi NO<sub>x</sub> sampai 90%.

Upaya pertama yang dilakukan pada permesinan kapal melalui optimasi pada *low speed marine engine* dimana pengaturan manual digantikan dengan elektronik sehingga diharapkan berpotensi terjadi penurunan konsumsi bahan bakar sampai 3%. Kedua, dengan mengganti bahan bakar dengan gas alam (LNG/*Liquid Natural Gas*) dengan harapan pada kapal ferry dapat menurunkan emisi CO<sub>2</sub> sampai 25%, NO<sub>x</sub> mencapai 35% dan menghilangkan emisi SO<sub>x</sub>. Pemasangan *turbocharger* yang radikal dapat menurunkan pemakaian bahan bakar dimana dengan optimasi beban-rendah dapat menurunkan emisi 25% setiap milnya dan menurunkan emisi CO<sub>2</sub>.

Sisa panas mesin dapat digunakan kembali untuk penghasil listrik atau pemanas kargo, sehingga diharapkan dapat menurunkan pemakaian bahan bakar mencapai 20%, dengan demikian juga menurunkan emisi CO<sub>2</sub>.

Emisi yang dihasilkan dari gas buang juga dapat diturunkan dengan penggunaan sistem *Scrubber* yang dapat menurunkan tingkat partikulat

sampai 80% dan emisi SO<sub>x</sub> sampai 98%. Selain konsep mensirkulasikan kembali gas buang (EGR/*Exhaust Gas Recirculation*) pada *slow speed diesel engine* yang diterapkan pada kapal kontainer, dapat menurunkan emisi NO<sub>x</sub> sampai 80%.

Optimasi *trim* pada konstruksi kapal dapat menurunkan hambatan pada air sehingga menurunkan konsumsi bahan bakar. Pada sistem pendinginan juga dapat dilakukan optimasi melalui pemasangan pompa dengan frekuensi yang dapat dikontrol sehingga diharapkan dapat menghemat energi mencapai 90%. Sedangkan pada cat kapal, organisasi mengusulkan penggunaan cat yang bebas biosida dengan pelapis *hydrogel* sehingga polutan dapat keluar dan emisi CO<sub>2</sub> dapat diturunkan.

### C. **Ballast Kapal, Kapasitas Tangki Ballast dan Dampak Sebarannya**

Tangki *fore-peak* dan *after peak*, tangki *deep*, *double bottom tank* dan *tangki wing* biasanya digunakan untuk tangki *ballast*. Kapal curah biasanya menggunakan satu palka untuk *ballast* selama pelayaran *ballast*. Keuntungan menggunakan air laut sebagai ballast daripada bahan bakar adalah pengelasan dapat dilakukan pada *tanktop*.

Desainer kapal menentukan kapasitas *ballast* untuk memenuhi persyaratan minimum *draft* yang dilakukan oleh lembaga klasifikasi/IMO. Lama pelayaran dan fungsi kapal dihitung saat menentukan ruangan pada *ballast* dan kapasitas pompa *ballast*.

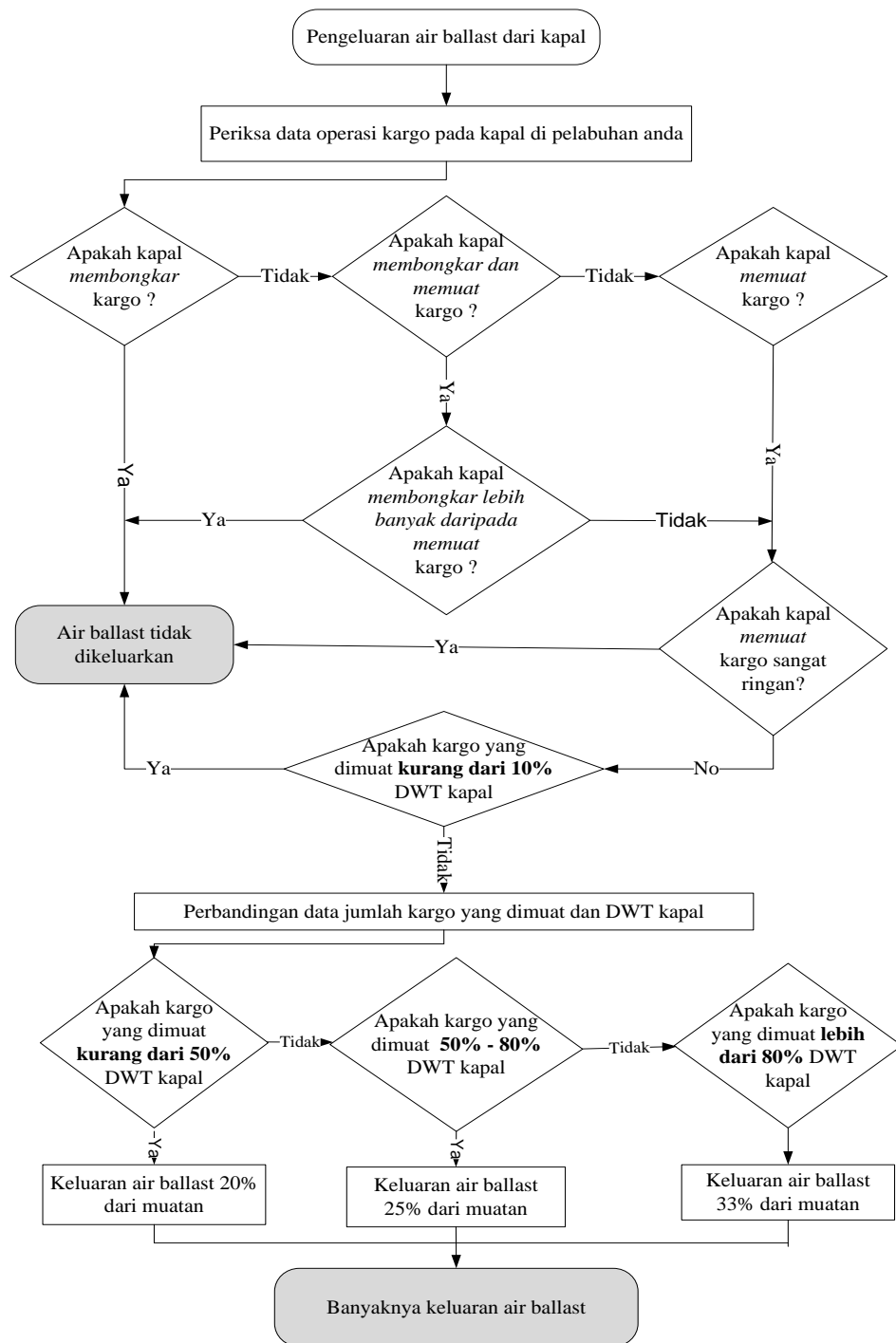
Pada kapal kecil, pompa *ballast* juga berfungsi sebagai pompa *bilga*. Sistem *ballast* terintegrasi dengan sistem *bilga* sehingga pompa *ballast* dapat beroperasi sebagai pompa *bilga*.

Katup pada sistem *ballast* harus berjenis *two-way valve* sehingga harus dapat diisi dan dikosongkan. Tangki *double bottom* pada kapal multifungsi, tangki *wingnya* dapat diisi langsung tanpa menggunakan pompa.

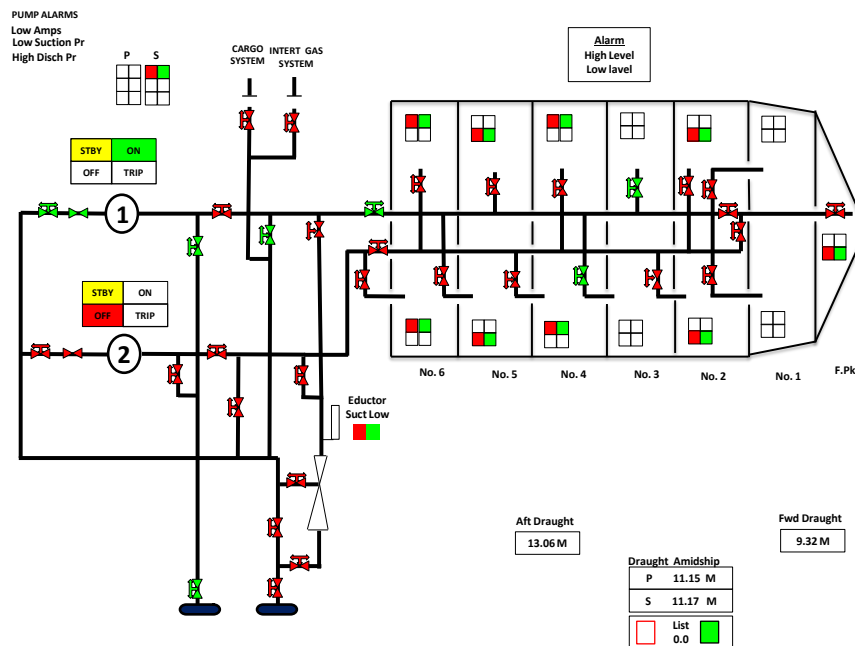
Kapasitas air *ballast* dapat dihitung untuk tiap kapal yang datang ke suatu pelabuhan berdasarkan hasil yang diperoleh IMO untuk kapal *general kargo* 36,5%, curah padat 35%, curah cair 35%, kontainer 30%, kargo campuran 33% dan Ro-Ro 33% dari DWT (IMO, Butron *et al.*, 2011).

Pengeluaran air *ballast* dari kapal niaga dapat diketahui dari apakah kapal tersebut melakukan bongkar atau muat kargo. Apabila kapal tersebut melakukan pembongkaran seluruh kargo di suatu pelabuhan maka untuk mengatur *draftnya*, baik depan ataupun belakang, maka kapal tersebut harus melakukan *ballasting* air laut di pelabuhan tersebut untuk memberikan kompensasi agar kapalnya *even keel* (tidak terdapat perbedaan yang besar antara *draft* depan dan belakang). Sedangkan apabila kapal melakukan pemuatan ke seluruh palka atau ruang muat yang ada, maka kapal tersebut harus melakukan *deballasting* air laut (dari pelabuhan asal ke pelabuhan muat) untuk mengkompensasi muatan yang masuk ke kapal tersebut.

Dari Gambar 2.1. dijelaskan lebih mendetail tentang kapasitas air *ballast* yang dikeluarkan dari sebuah kapal yang melakukan bongkar maupun muat.



Gambar 2.1. Perhitungan kapasitas keluaran air ballast (David *et al.*, 2012)

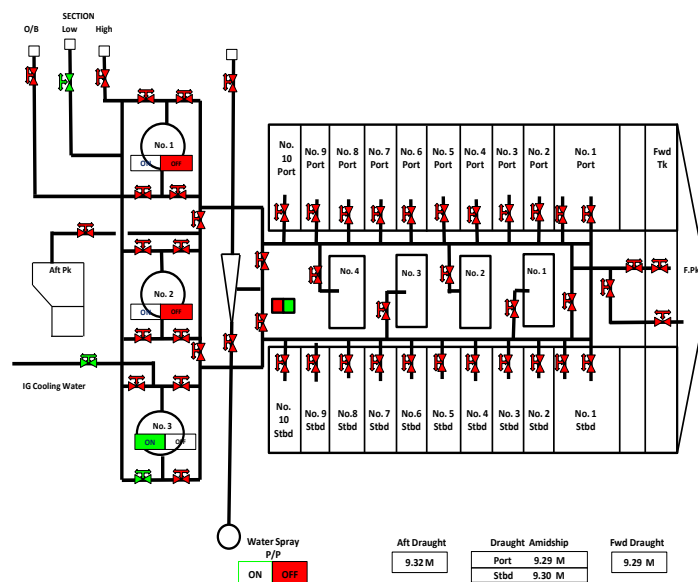


Gambar 2.2. Tipikal sistem *ballast* pada kapal tanker Suezmax (Simulator penanganan muatan cair, PIP Semarang, 2015)

Dari Gambar 2.2. di atas, terlihat sebuah kapal *tanker Suezmax* (berukuran 120.000 s/d 200.000 GT) yang mempunyai 12 tangki *ballast*, dimana untuk nomor tangki dimulai dari depan menuju belakang sehingga tangki *ballast* nomor 1 sering disebut tangki *Fore Peak*, kemudian nomor selanjutnya yaitu nomor 2 sampai dengan nomor 6. Untuk tangki nomor 2 sampai nomor 6 sering disebut tangki *Wing* dimana pada setiap nomornya terdiri dari tangki kiri (*portside*) dan tangki kanan (*starboardside*). Sistem yang bekerja pada simulator ditunjukkan oleh katub yang berwarna hijau dan pompa yang *on* (bekerja), sehingga terlihat pengisian *ballast* (*ballasting*) yang sedang bekerja, air laut masuk melewati *sea chest* (sistem isapan masuk) kemudian masuk ke Pompa *Ballast* nomor 1, aliran keluaran pompa selanjutnya masuk ke tangki *ballast* nomor 3 *portside* dan *starboardside*

dimana pada saat pengisian level cairan pada tangki *ballast* kanan dan kiri yaitu 3 m dan 2,99 m. Kondisi pengisian *ballast* menyebabkan kapal *trim by astern* yang berarti *draft* belakang lebih besar daripada *draft* depan (13,06 m dan 9,32 m) sehingga kondisi kapal sering disebut *trim by stern*.

*Ballasting* umumnya dilakukan pada kedua tangki *Wing* secara simultan pada tangki *portside* dan *starboardside*-nya untuk menjaga agar *listing* (kemiringan) kapal tetap terjaga sehingga petugas yang melakukan *ballasting* selain menjaga *draft* kapal sesuai dengan keinginan juga memperhatikan *Clinometer* (memperlihatkan derajat kemiringan kapal).



Gambar 2.3. Tipikal sistem *ballast* pada kapal LNG (Simulator penanganan muatan cair, PIP Semarang, 2015)

Pada kapal tanker LNG (*Liquid Natural Gas*) yang memuat metana ( $\text{CH}_3$ ), terdapat 13 tangki *ballast* yang dari tangki *fore peak*, *forward*, tangki *wing* (nomor 1 sampai dengan 10) dan tangki *after peak*. Pompa *ballast* nomor 3 yang sedang beroperasi tidak menuju ke tangki

*ballast*, namun air laut yang dipompakan digunakan sebagai pendingin *inert gas (inert gas cooling water)*. Kondisi kapal tersebut *even keel* (tidak terjadi perbedaan *draft* depan dan belakang, *draft* depan 9,29 m dan belakang 9,32 m) sehingga stabilitasnya baik.

Prediksi sebaran keluaran air *ballast* dapat dilakukan menurut Wolinsky & Pratson (2007) sebagai berikut:

$$D = C \times Q \times Z$$

Keterangan:

D = jarak terjauh dari sebaran air *ballast* kapal niaga (m)

C = kecepatan arus maksimum pada bulan/musim tertentu (m/detik)

Q = faktor pengali berdasarkan pasang surut (tunggal = 12 x 3600, ganda = 6 x 3600, campuran = 8 x 3600)

Z = koefisien material hanyut (0,025; 0,5; 0,75; 1)

#### **D. Munculnya Spesies Asing Pada Berbagai Negara**

Makhluik invasif perairan adalah hewan yang berpindah ke lingkungan baru melalui kelengahan manusia dan bereproduksi secara agersif sehingga spesies asli pada wilayah tersebut punah (May, 2007). Invasif spesies meliputi binatang, tanaman, dan mikroba yang memasuki ekosistem di luar wilayahnya. Terminologi lainnya yang digunakan selain spesies invasif yaitu spesies asing, penyerbu, tidak asli dan pengganggu. Predator asli menjaga populasi secara terkontrol dimana predator dan mangsa berkembang dan secara natural pada eksoistem. Mangsa berupaya menghindar dengan mengembangkan karakteristik untuk menghindar, melawan, menghalangi

sehingga mangsa dapat lebih cepat, mengembangkan kamuflase yang lebih baik. Demikian pula dengan predator mengembangkan jalan untuk menangkap mangsa, baik dengan cakar, gigi yang tajam, penglihatan yang lebih baik yang terus berkembang.

Kerang cangkang lembut *Mya arenaria* merupakan spesies pertama yang masuk secara sengaja pada abad ke 16 secara sengaja melalui umpan, secara tidak sengaja melalui ballast padat pada kapal, dengan tiram. Beberapa observasi pertama tentang spesies asing yang ditransportasikan melalui kapal terjadi pada abad ke 17 dan 18, dimana contoh hidup *Balanus tintinnabulum* berasal dari kapal yang datang dari Afrika barat dan karam di pantai Belanda pada 1762. Catatan pertama dari Pasific timur pada 1851 saat *Megabalanus coccopoma* datang melalui kapal yang tiba di LeHavre, Perancis. Dengan pembukaan terusan Suez selama kurun waktu 20, terdapat dua moluska yaitu kerang bulat teluk *Pinctada radiata* dan *Cerithium scabridum* dapat ditemukan di Alexandria dan Port Said.

Berdasarkan proyek riset Drake (2009) telah ditemukan spesies invasif yaitu tiga spesies jamur, 18 spesies tanaman, 16 spesies vertebrata, 16 spesies pada perairan darat dan 32 spesies perairan pantai. Spesies tersebut telah menginvasi keaslian habitat di Eropa dan mempunyai potensi kerugian lingkungan, ekonomi dan kesehatan. Spesies paling invasif pada lingkungan laut di Eropa antara lain:

1. *Alexandrium catenella* (Olenina & Olenin dalam Drake, 2009 )

Merupakan plankton *dinoflagellata* dengan karakteristik dua rantai pendek, empat atau delapan sel, berenang bersama dalam bentuk ular. Sel tunggal hampir bulat, panjang 20-48  $\mu\text{m}$ , lebar 18-32  $\mu\text{m}$ , menyebar oleh pergerakan arus air, reproduksi akseksual. Siklus hidupnya melalui beberapa tahap yaitu sel vegetatif motil, *gamet haplod*, *diploid zigot*, kista tahap istirahat dan kista temporal.

Habitat asli spesies tersebut terdapat pada kolom air pelagis, bagian atas permukaan air pantai dan estuary. Spesies perairan dingin jarang ditemukan pada suhu lebih dari 12<sup>0</sup>C tetapi bertahan dan bahkan menimbulkan *blooming* pada perairan Jepang dan Mediterania pada suhu lebih dari 20<sup>0</sup>C, dapat hidup pada salinitas 30-35‰ dan suhu 20-25<sup>0</sup>C. Pada kondisi eksperimen optimal dapat tumbuh pada pH 8,5, salinitas 30-35‰, suhu 20-25<sup>0</sup>C. Habitas aslinya di California. Daerah introduksi mulai dari pantai Pasifik, Australia, Afrika Selatan, Eropa. Terdapat ekspansi yang cepat dan peningkatan kelimpahan di laut Mediterania.

*Alexandrium catenella* terintroduksi melalui pengeluaran air *ballast*, sel dalam bentuk istirahat ditemukan dalam sedimen pada contoh air *ballast*. Spesies tersebut menyebabkan red tide yang dikenal sebagai spesies yang menghasilkan PSP (*Paralytic Shellfish Poisoning*). Spesies tersebut bertanggung jawab atas beberapa penyakit dan kematian setelah mengkonsumsi kerang-kerangan yang terinfeksi.



Gambar 2.4. *Alexandrium catenella*  
(Drake, 2009 & marine species.org, 2014)

2. *Chattonella cf. verruculosa* (Gollasch dalam Drake, 2009)

Merupakan alga phytoplankton yang kecil yang ditemukan pada perairan payau dan laut. Penyebaran melalui arus laut, reproduksi dominan dengan aseksual, ukuran panjang sel 12-30  $\mu\text{m}$  dengan bentuk variabel, ditemukan saat *blooming* di laut Utara yang dapat mencapai kelimpahan 10 juta sel/liter. Pada akhir *blooming* sering memproduksi kista yang terbentuk melalui proses seksual.

Habitat asli pada kolom air pelagis, permukaan dengan kedalaman 15 m perairan pantai juga laut lepas. Pada skala laboratorium, spesies tersebut toleran pada suhu 5-30<sup>0</sup>C dan salinitas dari 10-35‰. Pertumbuhan tercapai pada suhu 15<sup>0</sup>C dan 25‰ dengan habitat aslinya di Jepang.

Spesies terintroduksi dengan air *ballast* dan berpotensi toksik raphidopit membunuh ikan dimana toksin yang mengandung asam lemak berdampak pada jaringan insang yang memproduksi lendir sehingga ikan mati. Dampak ekonomi pada budidaya perikanan.



Gambar 2.5. *Chattonella cf. verruculosa*  
(Drake, 2009 & europe-aliens.org, 2014)

3. *Coscinodiscus wailessii* (Gollasch dalam Drake, 2009)

Merupakan diatom sentrik yang sangat besar, berdiameter sekitar 175-500  $\mu\text{m}$ , produsen primer pada perairan payau dan laut, penyebaran melalui arus air. Sel membentuk divisi dalam 48 jam dan melanjutkan pembelahan sel dengan biner, di lautan penggandaan biomassa terjadi dalam 70 jam sehingga pada kondisi *blooming* biomasnya dapat mencapai 1,4 mg sel/liter. Siklus musiman di laut Utara termasuk kelimpahan tertinggi pada bulan April dan September sampai Oktober. Kista pada tahap istirahat dikenal dapat bertahan pada kondisi gelap pada periode yang lama (paling sedikit 15 bulan) dan ditemukan pada sedimen. Kista dapat hidup lagi pada cahaya, suhu dan kondisi nutrisi yang sesuai.

Habitat aslinya pada kolom air pelagis, lapisan permukaan air pada perairan pantai dan laut lepas. Toleran pada suhu 0-32<sup>0</sup>C, salinitas 10-35‰ dan *nutrient*. Diatom tersebut aslinya berada di Pasifik Utara. Pertama kali terdeteksi di Plymouth pada 1977 dan mencapai pantai Atlantik Perancis dan laut Irlandia pada 1978 dan Norwegia pada 1979. Sekarang ditemukan pada pantai Atlantik Perancis sampai Norwegia.

Spesies tersebut kemungkinan masuk melalui air *ballast* melalui sel kista yang ditemukan pada contoh sedimen atau melalui pergerakan kerang-kerangan. *Blooming* dapat terjadi dengan kelimpahan yang tinggi di selatan laut Utara dan daerah Skagerrak. Selama *blooming* spesies dapat membentuk 90% dari biomassa alga total. *Blooming* dapat mengancam organisme *benthic* yang menyebabkan lendir berlebihan sehingga akan tenggelam.



Gambar 2.6. *Coscinodiscus wailessii*  
(Drake, 2009 & nordicmicroalgae.org, 2014)

4. *Odontella sinensis* (Gollasch dalam Drake, 2009)

Spesies phytoplankton yang dikenal sebagai pembentuk plankton *blooming*, penyebaran melalui arus air. Diatom hidup soliter atau berpasangan, bereproduksi sepanjang tahun dan menunjukkan tendensi *blooming* pada akhir November/Desember. Pada perairan Eropa, spesies mencapai kelimpahan tertinggi dari musim gugur ke musim semi. Siklus hidup diatom ini termasuk aseksual dan kadang-kadang seksual. Reproduksi aseksual terjadi melalui pembelahan sel dan reproduksi seksual melalui fusi dari inti gamet. Pemiakan yang terjadi melalui pembelahan 1-2 sel per hari.

Habitat asli spesies tersebut ditemukan di kolom air pelagis, permukaan air lapisan atas pada perairan pantai dan laut lepas. Umumnya terdapat pada air yang bersuhu 2-12<sup>0</sup>C, salinitas dari 27-35‰, meskipun dapat menoleransi pada suhu 1-27<sup>0</sup>C dan salinitas 2-35‰. Habitat aslinya dapat ditemukan di laut Merah, samudera Hindia sampai laut Cina Selatan dan terintroduksi ke laut Utara.

Sel hidup sering ditemukan pada sampel air *ballast*. Dampak bagi ekosistem dapat menekan populasi spesies lain.



Gambar 2.7. *Odontella sinensis*  
(Drake, 2009 & nordicmicroalgae.org, 2014)

5. *Undaria pinnatifida* (Gollasch dalam Drake, 2009)

Alga laut coklat yang tumbuh pada substrat kkeras, mencapai panjang 3 m (pada tingkat sporophyta), penyebaran gametofit melalui arus air. Mempunyai *heteromophik*, siklus tahunan *diplohaplontik* dengan *sprophyta* besar dan mikroskopik *gametophyte* betina dan jantan. Pada laut Mediterania *sporophyt* biasanya berukuran < 1 m, populasi yang terintroduksi lebih dari 1 generasi per tahun. Reproduksi vegetatif dengan

fragmentasi tidak diketahui, gamet dapat melakukan periode dorman. Pada kondisi cahaya rendah dapat bertahan sebagai dinding tipis.

Alga tersebut mempunyai habitat asli pada karang sublitoral dan substrat yang keras, bertumbuh pada dasar dengan kedalaman 1-15 m. Pertumbuhan sebagai *sporophyta* terdokumnetasi di Jepang pada duhu 4-25<sup>0</sup>C dimana alga tersebut muncul di musim dingin dan menghilang di musim panas, pertumbuhan optimum *sporophyt* muda adalah pada 20<sup>0</sup>C. *Gametophyt* mikroskopik dapat bertahan pada suhu -1-30<sup>0</sup>C, *gametophyte* dapat bertahan pada kegelapan > 6 bulan. Salinitas > 27‰ diperlukan untuk pertumbuhan *sporophyt* dan *gametohyt* sedangkan pelekatan *zoospore* pada 19%. Habitat aslinya mulai dari daratan Pasifik barat laut dari Jepang ke Korea, China dan Rusia. Jangkauan introduksi mulai dari pantai Atlantik Eropa dari Portugal sampai Belanda dan Inggris, dimana catatan penyebaran sporadik dari laut Mediterania.

Introduksi secara tidak sengaja dengan impor tiram dari Jepang, yang kedua disebarkan oleh kapal. Pada beberapa wilayah menjadi rumput laut yang dominan dan menyebabkan penurunan beberapa spesies.



Gambar 2.8. *Undaria pinnatifida*  
(Drake, 2009 & *centreforsciencecommunication.com*, 2014)

6. *Neogobius melanostomus* (Panov dalam Drake, 2009)

Ikan kecil, bertubuh lunak, sirip perut menyatu yang membentuk piringan hisap pada permukaan ventral. Tubuh abu-abu kecoklatan dengan bintik coklat gelap, jantan dewasa menjadi hitam dalam pemijahan dan sarang dijaga, dengan bintik kuning pada tubuhnya dan sirip tengah berumbai kuning atau putih. Bintik hitam yang besar biasanya terdapat pada ujung sirip perut, dimulai pada duri kelima. Pemakan bentik. Makanannya terdiri dari krustasea dan moluska, termasuk kerang zebra *Dreissena polymorpha*, *polychaeta*, ikan kecil, tekur goby dan larva *chironomid*. Ikan betina bertelur setiap 20 hari dari April sampai September. Sekitar 500 sampai 3000 telur diletakkan pada substrat keras dan dijaga oleh pejantan sampai menetas. Ikan betina dewasa berusia 2 tahun, jantan 3 tahun. Ikan goby bulat muda dan dewasa lebih menyukai habitat berbatu sehingga memberikan tempat persembunyian, ditemukan di daerah berkerikil dan berpasir yang dapat digali. Bergerak lambat di sungai, laguna dan pantai payau sampai kedalaman 20 m, tetapi bermigrasi ke lebih dalam (50-60m) saat musim dingin. Merupakan spesies *euryhalin* dan *eurythermik*, yang mempunyai toleransi pada salinitas 20-37‰ dan suhu air antara -1 sampai 30°C. Habitat aslinya terdapat pada dasar laut Kaspia, Hitam dan Azov. Terintroduksi ke dasar laut Baltik dan Utara dan Great Lake di Amerika Utara, meningkat di daerah laut Baltik.

Terintroduksi oleh air ballast kapal. Wilayah dengan yang ikan yang melimpah menjadikan spesies ikan menurun. Ikan dewasa agresif untuk mempertahankan tempat bertelur, sehingga ikan asli tersisih. Sering memakan kerang sebagai filter air.



Gambar 2.9. *Neogobius melanostomus*  
(Drake, 2009 & *invadingspecies.com*, 2014)

7. *Dikerogammarus villosus* (Devin & Beisel dalam Drake, 2009)

Merupakan spesies pembunuh udang adalah predator *omnivorous* yang dapat memakan makroinvertebrata, termasuk spesies *gammarid* yang lain. Penyebaran melalui aktivitas perkapalan. Spesies betina yang matang berukuran panjang 6 mm, saat 4-8 minggu, dapat bereproduksi pada suhu air 13<sup>0</sup>C, kesuburan rerata 27 telur. Panjang telur sekitar 1,8 mm. Beberapa spesies memakan udang ini, tetapi tidak terdapat spesies invertebrata yang memangsanya.

Habitat aslinya pada karang litoral dan substrat keras, sedimen litoral, karang sublitoral dan substrat keras lainnya, sedimen sub litoral, bukit dan pasir pantai, tebing batu, tepian dan daratan termasuk supralitoral, permukaan air, permukaan air mengalir, zona litoral pada permukaan badan air. Spesies tersebut dapat hidup pada suhu 0-30<sup>0</sup>C dan

salinitas sampai 12‰, dan terdapat hanya pada daerah dengan arus yang rendah, dengan habitat aslinya pada dasar Ponto-Kaspia. Terintroduksi ke hampir seluruh sungai besar di Eropa Barat dan dasar laut baltik.

Vektor introduksi melalui air *ballast* dan menempel pada lambung kapal. Kolonisasi pada perairan di Eropa barat melalui koridor selatan melalui sungai Danube dan Rhine. Spesies tersebut mematikan spesies gammarid melalui kompetisi dan pemangsaan, juga memakan telur ikan dan menyerang ikan kecil.



Gambar 2.10. *Dikerogammarus villosus*  
(Drake, 2009 & hydra-institute.com, 2014)

Menurut May (2007), terdapat beberapa spesies invasif di perairan Amerika Serikat antara lain:

1. Belut laut (*Sea lamprey*)

Merupakan vertebrata perairan dengan habitat asli di samudera Atlantik yang masuk melalui anak sungai Great Lake tahun 1800an. Selama tahun 1960an, pengamat melihat pengurangan ikan forel danau sampai 90% sementara jumlah belut laut mencapai 70 kali lipat selama

periode yang sama dengan dugaan ikan forel dijadikan inang belut tersebut.

Belut laut hidup di perairan air tawar atau laut dan menuju sungai selama musim semi untuk bertelur. Belut dewasa mencari tempat berbatu untuk bertelur..

Setelah telurnya menetas, larva hidup beberapa tahun pada sedimen lunak di danau atau nak sungai dan memakan alga, organisme yang mati di air sungai. Larva bermetamorfosis menjadi belut muda dengan mata dan gigi, yang paling penting piringan isap sehingga menjadi pemangsa.

Belut laut dewasa memakan dengan cara menempel pada ikan lain dengan mulut isapnya, lidah keluar saat menempel ke inang yang dihisapnya. Giginya juga menghasilkan luka tetap terbuka dengan antikoagulan yang dihasilkan oleh kelenjar sehingga mengekstrak darah dan cairan tubuh ikan, menyebabkan ukuran belut mendekati yang dimangsa. Siklus hidup belut laut dari telur sampai dewasa 5 sampai 8 tahun.

Belut laut merusak sebagian besar ekosistem Great Lake karena luka dan kematian ikan forel. Selama hidupnya, satu belut laut dapat membunuh 20 kg ikan. Sebagai akibat penurunan populasi ikan forel, belut menjadi parasit ikan putih, chub dan hering. Penurunan ikan forel akan mempengaruhi rantai makanan perairan yang lain. Hanya satu dari tujuh ikan forel yang dapat bertahan.

Penurunan ikan forel menyebabkan masalah ikan invasif: pemangsaan ikan *alewife*. Ikan *alewife* hidup di laut Atlantik dan menyebar sampai danau Huron dan Michigan. Ikan forel mengontrol jumlah ikan *alewife*, tetapi dengan penurunan jumlah ikan forel, populasi ikan *alewife* meledak. Ikan *alewife* mulai memakan ikan asli sehingga jumlah ikan asli berkurang signifikan.



Gambar 2.11. Belut laut  
(Drake, 2009 & britishseafishing.co.uk, 2014)

## 2. Kepiting sarung tangan China (*Chinese mitten crab*)

Merupakan kepiting yang habitat aslinya terdapat di Cina dan Korea, namanya berasal dari bulu padat pada ujung capit yang putih, berkembang di teluk San Fransisco dan daerah aliran sungai delta dan mengancam komunitas estuary dan operasi penangkapan ikan.

Kepiting tersebut tidak hanya memakan alga, bahan organik yang mati, cacing dan kerang, namun juga tanaman dan binatang sehingga digolongkan sebagai omnivora, bahkan juga memakan telur ikan khususnya salmon dan *sturgeon*. Ekologis percaya bahwa kepiting ini mempengaruhi jaring makanan di perairan air tawar dan *estuary* pada berbagai tingkat.

Meskipun hanya berukuran panjang 7,5 cm, dalam jumlah yang besar dan bersembunyi pada sedimen akan menyebabkan erosi pada tanggul dan pinggir sungai dan mempunyai toleransi yang tinggi pada berbagai kondisi sehingga dapat melimpah pada sistem estuari dan sungai. Dikenal berhabitat pada iklim sedang sehingga dapat hidup pada sistem perairan Amerika Serikat, dan toleran pada polusi air yang ekstrim.

Kepiting muda sampai dewasa lebih menyukai perairan berarus lambat, hangat, dangkal dengan kedalaman sampai 2 m dengan vegetasi di dalamnya. Sehingga air yang berarus kencang, dingin merupakan habitat yang tidak disukai kepiting ini. Populasi kepiting ini di Cina relatif kecil dan ditemukan hampir pada sebagian besar perairan pantai dan sungai.

Kepiting dewasa hidup pada air tawar tetapi bermigrasi ke perairan payau untuk bertelur yang disebut *catadromous*. Salinitas tertinggi diperlukan untuk bertelur dengan cara meletakkan telur yang melekat di bagian rambut kepiting, yang disebut *pleopod* sehingga bila dengan salinitas yang lebih rendah telur akan jatuh dari *pleopod*.

Spesies betina membawa jutaan telur sampai menetas sehingga telur dan larvanya menghabiskan awal hidupnya pada perairan payau, mencapai umur 1 sampai 5 tahun dimana saja untuk mencapai dewasa. Kemudian menuju kembali ke perairan payau untuk berkembang biak

dan dapat berjalan sejauh 1,3 km. Namun spesies betina dan jantan mati setelah bereproduksi.

Kepiting tersebut juga merupakan inang dari cacing paru-paru Asia timur yang membahayakan kesehatan manusia sehingga bila manusia dapat terinfeksi memakan dalam kondisi mentah atau setengah matang. Cacing paru-paru merupakan parasit dengan siklus hidup yang kompleks yang memerlukan dua perantara inang, manusia dan binatang berdarah hangat untuk mencapai tahap dewasa. Larva cacing menginfeksi siput kemudian krustasea seperti kepiting *mitten*. Pada hewan mamalia perkembang biakan cacing tersebut menghancurkan sistem pernafasan pada inangnya.



Gambar 2.12. *Chinese mitten crab*  
(May, 2007 & fmsea.org, 2014)

### 3. *Nothorn snakehead*

Merupakan ikan yang berhabitat asli pada sungai Cina bagian barat dan barat daya dasar sungai Yangtze, mendapat nama yang aneh karena mulutnya penuh dengan gigi dan berkembang pada kolam, sawah dan waduk di Cina.

Meskipun merupakan habitat asli Cina, ikan tersebut sebagai ikan invasif sungai di Cina. Pihak otoritas Cina telah mengenal ikan invasif

tersebut sejak 1920an sehingga sampai saat ini waduk di Cina penuh dengan ikan tersebut.

Pada 1997, otoritas di California telah melakukan penangkapan ikan tersebut dengan listrik kejut, meskipun demikian telah berkembang pada hampir semua negara bagian di Amerika Serikat.

Ikan muda tersebut memakan krustasea kecil dan larva ikan sedangkan yang dewasa memakan ikan, katak, krustasea dan serangga perairan. Ikan tersebut dapat memakan ikan dengan panjang sepertiga dari tubuhnya.

Spesies ini dapat bernafas dengan udara dan mengeluarkan suara dengkur di pinggir sungai. Kemampuan yang luar biasa adalah bernafas di udara dan meliuk lambat di daratan.



Gambar 2.13. *Nothorn snakehead*  
(May, 2007 & [invasionspecies.com](http://invasionspecies.com), 2014)

#### 4. *Round goby*

Ikan invasif yang populasinya meledak di Great Lake yang juga ditemukan di Eurasia (Eropa dan Asia), termasuk laut Hitam dan

Kaspia. Ikan tersebut ditemukan pertama kali di sungai Saint Clair, perbatasan Michigan-Ontaria melalui air *ballast*.

Merupakan ikan agresif yang berkompetisi dengan ikan *sculpin* (*Cottus spp.*) dan *logperch* (*Percina spp.*). Goby dewasa juga memakan benthik, atau organisme yang terdapat pada dasar perairan, bahkan memakan *goby* yang lebih kecil, meskipun *goby* tersebut hanya dapat mendeteksi mangsanya saat diam.



Gambar 2.14. *Round goby*  
(May, 2007 & nyis.info, 2014)

##### 5. Kerang zebra (*Zebra mussel*)

Merupakan kerang asing dengan panjang 2,5 cm yang telah menghancurkan kerang asli di Great Lake. Hidup dengan membentuk koloni pada substrat keras pada perairan air tawar dan payau, berwarna coklat kekuningan, lebar hingga 50 mm, dengan motif gelap dan terang. Kerang ini merupakan hewan penyaring plankton dan partikel organik. Larva *veliger* pelagis dan *post-veliger* ditransportasikan oleh arus, yang kedua dengan menghanyutkan pada pasca-larva dan kerang muda dengan *bysall* atau benang lendir.

Habitat aslinya pada permukaan air, permukaan air yang mengalir, zona litoral pada badan permukaan perairan pedalaman, estuari, pantai laguna payau. Toleran pada suhu  $-2^{\circ}\text{C}$  sampai  $40^{\circ}\text{C}$ , tetapi berkembang

dengan baik pada suhu 18-20<sup>0</sup>C, dengan salinitas air sampai 7‰ dan menyukai badan perairan mesotrophik, sampai kedalaman 12 m pada air payau dan 60 m pada danau. Kerang ini juga toleran terhadap kondisi oksigen yang rendah selama beberapa hari dan perairan dingin selama tiga minggu. Habitat aslinya terdapat pada dasar laut Baltik, Kaspia dan Aral. Terintroduksi di sekitar Rusia dan sebagian besar Eropa dan tahun 1998 telah mencapai Amerika utara.

Kerang zebra terintroduksi melalui *air ballast* dan menempel pada lambung kapal. Berkompetisi dengan kerang asli untuk memperebutkan wilayah dan makanan. Merupakan pengumpul polusi. Penumpukan kerang dapat mengakibatkan perubahan habitat yang parah. Berdampak ekonomi, termasuk perikanan (mengganggu jaring, mengubah komunitas), budidaya (menempel pada jaring apung), menyumbat pipa masuk, transportasi (menempel pada lambung dan konstruksi navigasi)



Gambar 2.15. Kerang zebra  
(Drake, 2009 & sanctuary.org, 2014)

#### Spesies Asing di Australia

Menurut Pimentel (2002), penyebaran organisme ke wilayah Australia disebabkan oleh beberapa hal meliputi pelayaran internasional melalui mekanisme keluaran air *ballast*, penempelan ke lambung kapal, perdagangan

akuarium dan budidaya perikanan, introduksi dengan sengaja, transportasi produk perikanan, transportasi peralatan penangkapan ikan atau jangkar.

Pada tahun 1995 NIMSPSP (*National Introduction Marine Species Survey Program in Special Ports*/program survei spesies introduksi pada pelabuhan nasional) memulai melakukan penyediaan informasi status spesies terintroduksi pada perdagangan dan pelabuhan pantai. Sampai sekarang telah ditemukan 170 spesies asing. Terdapat empat spesies invertebrata meliputi kerang strip-hitam *Mytilopsis ssp.*, bintang laut Pasifik utara *Asterias amunensis*, cacing fan sabellid *Sabella spallanzanii*, dinoflagellata beracun *Gymnodinium catenatum*.

Pada perairan air tawar terdapat organisme perairan asing meliputi:

1. Ikan karper (*Cyprinus carpio*)

Terdapat dalam jumlah besar dan mencapai 90% dari total biomassa pada perairan cekungan Murray-Darwin, wilayah pertanian di Australia yang paling produktif, yang meningkatkan biaya pada suplai irigasi, pertanian, penangkaran ikan dan rekreasi.

Ikan tersebut berkontribusi terhadap peningkatan nutrisi, alga, konsentrasi sedimen terlarut, menurunkan kualitas sediaan air, meningkatkan keausan pompa dan meningkatkan biaya pengolahan air dan menurunkan populasi ikan asli. Ikan ini juga berkontribusi terhadap penurunan jumlah spesies termasuk *dwarf galaxias Galaxiella pussila*, *trout cod Maccullochella macquariensis*, yarra pygmy perch *Edelia obscura* dan pygmy perch varian *Nannoperca variegata*.

2. Ikan *Geophagus brasiliensis*

Australia barat daya merupakan daerah yang mempunyai dampak peningkatan 63% terhadap ikan air tawar asing. Ikan *Geophagus brasiliensis* berasal dari daerah tropis Brasilia yang didatangkan ke Australia awalnya sebagai ikan hias. Berkembang dalam jumlah besar, mempunyai toleransi salinitas, makanan lebih umum, periode berkembang biak cepat, berukuran lebih besar daripada ikan asli dan terdapat di barat daya Australia (Beatty & Morgan, 2013).

Ikan tersebut agak agresif terhadap ikan yang lain, berasal dari sungai di dekat pantai Brasilia dan Uruguay, dimana ikan tersebut dilaporkan dapat menjelajah pada perairan payau meskipun habitat aslinya dari perairan tawar. Ikan tersebut mempunyai daya adaptasi cukup baik (<http://www.cichlidforums.com/knowledgebase>).

3. Ikan forel coklat (*Salmo trutta*) dan ikan forel pelangi (*Oncorhynchus mykiss*)

Ikan forel coklat dan pelangi merupakan ikan yang agresif dan berdampak negatif bagi spesies asli melalui kompetisi makanan dan habitat, pemangsaan dan perubahan habitat sehingga menyebabkan penurunan jumlah spesies asli seperti *macquarie perch Macquariensis australasica*, ikan hitam sungai *Gadopsis marmoratus*, ikan forel cod *Maccullochella macquariensis* dan beberapa *galaxiids Galaxias spp.*

#### 4. Ikan mas (*Cyprinus carpio*)

Merupakan salah satu dari tujuh spesies ikan introduksi yang aslinya berasal dari daerah tropis di Asia (Beatty & Morgan, 2013). Ikan ini merupakan hama karena kelimpahan yang besar, cenderung menghancurkan vegetasi dan meningkatkan kekeruhan air dengan mencabut perakaran dan tanaman pada substrat sehingga menyebabkan kepunahan bagi spesies lainnya yang membutuhkan vegetasi dan air bersih. Perilaku makan ikan ini akan menyebabkan kepunahan bagi spesies ikan asli dan berkurangnya makanan bagi unggas air (U.S. Geological Survey, 2016).

#### E. *Air Ballast Kapal Niaga dan Dampaknya Terhadap Lingkungan*

Perpindahan penduduk antar wilayah di dunia telah mendorong perpindahan organisme di bumi sehingga mengancam ekosistem, kesehatan manusia dan ekonomi. Masuknya organisme yang baru ke wilayah negara lain dapat menyebarkan vektor penyakit, misalnya impor roda mobil ke Amerika Serikat, membawa larva *tiger mosquito*. Invasi biologi berdampak besar seperti masuknya cacing apel emas (*Pomacea canaliculata*) ke Taiwan yang terbawa dari Amerika Selatan, mengancam pertanian di Taiwan, Filipina pada tahun 1986. Organisme asing dapat mengubah ekosistem, misalnya invasi pohon pengikat-nitrogen *Myrica faya* ke Taman Nasional Gunung Hawaii. Invasi juga dapat menurunkan keanekaragaman hayati (Vitousek *et al.*, 1996).

Dampak perpindahan organisme melalui perantaraan air *ballast* kapal niaga terjadi pada beberapa negara seperti diterangkan berikut ini.

#### 1. Dampak di Amerika Utara

Pada pantai timur *Rhode Island* terjadi ekspansi rumput laut invasif, *Grateloupia doryphora*, ditemukan 1) terjadi penyebaran (dari tahun 1994 sampai dengan 1995) dari mulut teluk di bagian utara dan timur menuju *east passage*, 2) terjadi perbedaan signifikan pada panjang rata-rata daun maksimum, lebar dan persentase potongan daun pada kesembilan stasiun dan 3) terjadi hubungan yang kuat antara letak lintang dan panjang rata-rata maksimum daun, rata-rata lebar maksimum dan persentase potongan daun (Villalard-Bohnsack *et al.*, 2001).

Identifikasi yang dilakukan terhadap ubur-ubur, *Turritopsis dohrnii* di perairan pantai Atlantik dan Pasifik di Panama, Florida. Genetik individu ubur-ubur tersebut sangat mirip (perbedaan 0,31%) dengan genetik dari wilayah yang jauh yaitu Italia dan Mallorca, Spanyol, Okinawa, teluk Panama karena kemampuan ubur-ubur tersebut untuk memulihkan siklus hidupnya sehingga menjadi penumpang yang dapat bertahan di tangki air *ballast* (Miglietta & Lessois, 2008).

Aktivitas berperahu di Great Lake menjadi penyebab penyebaran virus VHSV pada 55 spesies ikan di perairan tersebut (Witte *et al.*, 2010). Terdapat implikasi dari penyebaran *round goby* di danau Michigan, yang terjadi secara terbatas melalui kapal komersial sehingga perlu dilakukan

pengolahan air *ballast* pada kapal yang memasuki perairan Great Lake (La Rue *et al.*, 2011).

Udang Asia *Palaemon macrodactylus* ditemukan pertama kali di pantai timur AS dan estuari New York tahun 2001 dengan ukuran dari 2,05 sampai 5,05 cm (pada 98 individu). Selain itu ditemukan indukan yang hamil (tahun 2001-2002 dan tahun 2008) sehingga menunjukkan populasi udang tersebut makin berkembang (Warkentine & Rachlin, 2010).

## 2. Dampak di Australia

Laju pertumbuhan ganggang *Undaria pinnatifida* -berasal dari perairan barat laut Pasifik- di pelabuhan Phillip Bay, lebih rendah daripada di Tasmania dan pelepasan sporanya 20 kali lebih besar daripada di Tasmania (Primo *et al.*, 2010).

## 3. Dampak di Eropa

Penelitian yang dilakukan pada perairan Eropa menemukan keberadaan udang Asia *Palaemon macrodactylus*, pada estuatur Orwell, Suffolk, Inggris (Ashelby *et al.*, 2004).

Kajian yang dilakukan di marina pantai selatan Inggris (Arenas *et.al*, 2006) menunjukkan alien spesies yang tercatat sebagai asli atau *cryptogenic* spesies, lebih dari 80 taksa dari alga dan invertebrate, pada 13 stasiun, termasuk 20 spesies yang dikenali sebagai spesies tidak asli.

Pada perairan laut Barents bagian timur ditemukan kepiting salju, *Chionoecetes opilio* yang berkembang secara signifikan di tengah laut

Barents terutama pada kedalaman lebih dari 180 m sampai 350 m, terdapat kepiting muda yang membuktikan keberhasilan invasi (Alvsvag *et al.*, 2009).

Pencatatan yang dilakukan di laut Mediterania menunjukkan frekuensi filum phyla asing mulai dari dari moluska, arthropoda, chordata dan rhodophyta berasal mulai dari samudera Pasifik, Hindia dan laut Merah. Spesies asing yang tercatat terdapat di daerah litoral, bentik sub litoral atau spesies *demersal* (Galil, 2008)

Pada perairan Polandia terdapat spesies asing sebesar 34% yang sebagian besar berasal dari Amerika Utara, Asia timur, Siberia atau Eropa lainnya. Setelah perang dunia kedua, *brown bullhead Ameiurus nebulosus* dan gibel *Carassius gibelio* berkembang sangat cepat. Dekade ini di perairan Polandia terdapat spesies Neogobius (round goby *N. melanostomus*, racer goby *N. gymnotrachelus* dan monkey goby *N. fluviatilis*), amur sleeper *Perccottus glenii* dan topmouth gudgeon *Pseudorasbora parva* (Grabowska *et al.*, 2010).

Penelitian yang dilakukan di perbatasan selatan pantai timur Atlantik, Portugal terhadap kerang invasif *Mya Arenaria*, menunjukkan kepadatan populasi 40 individu/m<sup>2</sup>. Kerang tersebut ditemukan hidup bersama dengan gastropoda *Hydrobia ulvae*, bivalva *Scrobicularia plana* dan *polychaeta* (Conde *et al.*, 2010).

Pada tahun 2009 di sepanjang pantai Catalan terjadi ledakan kelimpahan *ctenophora* invasif *Mnemiopsis leidyi* (Fuentes *et al.*, 2010).

Spesies asing laut yang tercatat selama 1945-2009 di sepanjang pantai Italia tercatat 165 spesies yang berasal dari wilayah tropis. Spesies asing tersebut paling banyak ditemukan di bagian utara laut Adriatik, yaitu di laguna Venesia. Spesies asing sejumlah 46% tidak dapat berkembang sedangkan 24 spesies (15%) meningkat sehingga menjadi spesies invasif (Occhipinti-Ambrogi *et al.*, 2011).

Penelitian yang dilakukan di pelabuhan Ghent, Belgia menemukan 7 spesies krustasea asing dan terjadi peningkatan jumlah taksa asing sejak tahun 1993. Hal tersebut ditengarai karena lalu lintas kapal niaga yang intensif dan keberagaman hayati yang rendah di pelabuhan tersebut (Boets *et al.*, 2011).

#### 4. Dampak di Amerika Selatan

Penelitian yang dilakukan untuk menyelidiki spesies tidak asli yang disebarkan melalui lambung kapal menemukan anemon laut, *Diadumene lineate* (Verril 1871) pada estuari Bahia Blanca, Argentina. Anemon laut tersebut -berasal dari pantai Jepang, Indonesia dan Selandia Baru- ditemukan menempel pada akar dan batang rumput pasang surut, *Spartina alterniflora* (Molina *et al.*, 2009).

Penelitian yang dilakukan di teluk Ilha Grande menemukan 25 spesies cryptogenic (spesies yang belum diketahui asing atau asli) dan 10 spesies introduksi. Spesies tersebut mempunyai kemiripan dengan spesies di wilayah pantai Atlantik (teluk Tampa, AS dan Meksiko), Amerika Samoa dan Pearl Harbour.

## 5. Dampak di Afrika

Di daerah Afrika Selatan telah terjadi peningkatan empat kali lipat pada introduksi spesies laut dan dua kali lipat pada spesies cryptogenic melalui *ship fouling* sebesar 48% dan 38% melalui air *ballast*. Spesies yang terdapat pada pantai barat dan selatan, utamanya berasal dari bumi bagian utara (65%) sedangkan 18% berasal dari bumi bagian selatan (Mead *et al.*, 2011).

### F. Konvensi *Ballast Water Management* (BWM) Tahun 2004

Konvensi BWM merupakan konvensi internasional yang diadopsi menjadi peraturan internasional pada tanggal 16 Februari 2004. Konvensi ini terdiri dari 22 artikel dan lampiran, dimana pada lampiran terdapat bagian A sampai E. Setiap bagian terdapat aturan, misalnya pada lampiran bagian A, terdapat regulasi A-1 sampai A-4.

Artikel 1 menjelaskan tentang definisi “*administrasi, ballast water, ballast water management, certificate, committee, convention, gross tonnage, harmful aquatic organism and pathogens, organization, secretary general, sediments dan ships*”.

Kewajiban umum terdapat pada artikel 2 seperti para Pihak (pihak/negara yang menandatangani konvensi harus mendorong pengembangan berkelanjutan manajemen air *ballast* dan standarnya untuk mencegah, meminimalisasi dan mengeliminasi perpindahan organisme akuatik yang berbahaya dan pathogen melalui kontrol dan manajemen air *ballast* kapal dan

sedimen. Annex (lampiran) juga ditegaskan merupakan bagian integral dari konvensi.

Artikel ketiga memuat penerapan dan kekecualian. Penerapan konvensi ini yaitu untuk kapal dengan bendera yang berlayar pada Pihak atau kapal yang tidak berbendera Pihak tersebut namun beroperasi pada otoritas Pihak. Kekecualian diberlakukan 1) bagi kapal yang tidak membawa air *ballast*, 2) kapal dari Pihak yang beroperasi pada wilayah hukum Pihak, 3) kapal dari Pihak yang beroperasi di wilayah hukum Pihak lain namun mendapat kekecualian, 4) kapal yang hanya beroperasi di wilayah perairan hukum satu Pihak dan pada laut lepas, 5) setiap kapal perang, kapal yang dioperasikan oleh negara dan digunakan untuk kepentingan non-komersial.

Setiap Pihak mengharuskan kapalnya menerapkan aturan pada konvensi yang beroperasi pada otoritasnya dan Pihak mempunyai hak untuk mengembangkan kebijakan nasional, strategi atau program pada perairan dan pelabuhan pada wilayah hukumnya (Artikel 4).

Tiap Pihak harus memastikan terdapat fasilitas penerimaan sedimen dengan mempertimbangkan panduan yang dikembangkan oleh Organisasi, salah satunya dapat beroperasi tanpa mengganggu operasi kapal (Artikel 5). Dan para pihak tersebut harus memastikan kapal benderanya beroperasi dalam otoritas dan bersertifikat sehingga harus disurvei sesuai regulasi pada lampiran (Artikel 7).

Pelanggaran yang terjadi pada wilayah hukum Administrasi dapat dikenai sanksi sesuai persyaratan konvensi dan harus diinvestigasi, dilaporkan

ke Pihak untuk melengkapi bukti pelanggaran (Artikel 8). Kapal yang telah menerapkan aturan konvensi, di tiap pelabuhan atau terminal lepas pantai Pihak lain, harus tunduk pada inspeksi oleh petugas otoritas Pihak tersebut untuk kegunaan penentuan kapal telah memenuhi aturan konvensi (Artikel 9). Usaha perlu dilakukan untuk mencegah agar kapal yang ditahan atau ditunda pada Artikel 7.2, 8, 9 atau 10 sehingga harus diberikan kompensasi untuk setiap kehilangan atau kerusakan (Artikel 12).

Negara dapat menjadi Pihak pada konvensi bila menandatangani untuk meratifikasi, menerima atau memenuhi yang diikuti dengan ratifikasi, penerimaan atau pemenuhan atau memasukkan ke dalam regulasinya (Artikel 17).

Konvensi akan berlaku secara internasional sejak 12 bulan setelah tanggal penandatanganan, dimana tidak kurang dari 30 negara yang menandatangani, yang merupakan kombinasi armada kapal niaga dengan tidak kurang 35% *gross tonnage* dari armada kapal niaga dunia (Artikel 18).

Pada Lampiran, regulasi A-1, bagian A memuat definisi mengenai “*anniversary date, ballast water capacity, company, constructed, major conversion, from the nearest land dan active substance*”.

Kekecualian diberikan pada kapal yang mengambil atau mengeluarkan air *ballast* dan sedimen untuk keselamatan kapal yang dalam situasi darurat, dalam situasi kecelakaan, untuk menghindari atau meminimalisasi kejadian polusi dari kapal, di laut lepas dengan air ballast yang sama, pada lokasi yang sama (regulasi A-3). Para pihak pada wilayah

hukumnya dapat memberikan dispensasi kepada kapal yang berlayar diantara pelabuhan khusus, berlaku selama periode tidak lebih dari 5 tahun, kapal yang tidak mencampur air *ballast* diantara dua pelabuhan (regulasi A-4).

Setiap kapal harus mengimplementasikan Rancangan Manajemen Air *Ballast* yang memuat prosedur keselamatan untuk kapal dan kru yang berhubungan dengan manajemen air *ballast*, gambaran detail tindakan implementasi persyaratan manajemen air *ballast*, prosedur detail pembuangan sedimen di laut atau darat, prosedur koordinasi manajemen air *ballast* di kapal yang mencakup pembuangan ke laut, petugas yang ditunjuk di kapal untuk memastikan rancangan telah terpenuhi, persyaratan pelaporan di kapal, penulisan dalam bahasa kerja di kapal (lampiran bagian B, regulasi B-1). Setiap kapal juga harus terdapat buku catatan air *ballast* yang harus disimpan minimum 2 tahun, tersedia untuk pemeriksaan, tercatat tanpa penundaan pada setiap kegiatan air *ballast* (regulasi B-2).

Kapal yang dibuat sebelum 2009 (diidentifikasi di Indonesia) dengan kapasitas air *ballast* antara 1500 dan 5000 m<sup>3</sup>, harus melaksanakan standar regulasi D-1 atau D-2 sampai 2013, dan mulai 2014 kapal tersebut harus menetapkan standar D-2 yaitu melakukan pengolahan air *ballast* di kapal sendiri ataupun memindahkan air *ballastnya* ke fasilitas penerima di pelabuhan (Tabel 2.1.)

Tabel 2.1. Jadwal Standar D-1 dan D-2 untuk kapal konvensi

Tahun Kapal dibuat	Kapasitas Air Ballast (m <sup>3</sup> )	Fase standar D-1 dan D-2 dari Konvensi Manajemen Air Ballast								
		2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	
< 2009	1500 – 5000	D-1 atau D-2			D-2			D-2		
< 2009	< 1500	D-1 atau D-2								
	> 1500	D-2								
2009	< 5000	D-1 atau D-2			D-2					
2010	< 5000	D-2								
2009	> 5000	D-1 atau D-2							D-2	
<2012		D-2								
2012	> 5000	D-2						D-2		

(Water Science & Technology Board, 2011)

Kapal yang melaksanakan pertukaran *air ballast* sesuai standar D-1 harus melakukannya pada jarak 200 nautikal mil dengan kedalaman minimal 200 m, apabila tidak memungkinkan dapat dilakukan pada jarak 50 nautikal mil pada kedalaman minimal 200 m (regulasi B-4).

Bagian C memuat persyaratan khusus pada daerah tertentu, seperti ketentuan regulasi C-2, dimana para Pihak dapat memberitahukan lokasi yang yang berbahaya dalam pengambilan *air ballast* misalnya daerah yang terjadi ledakan populasi organisme, dekat pengeluaran kotoran, dimana pembilasan pasang surut menyebabkan kekeruhan.

Kapal yang melaksanakan pertukaran air *ballast* harus melaksanakan dengan tingkat efisiensi 95% pertukaran volumetrik, sedangkan kapal yang melaksanakan pertukaran dengan metode *pumping-through*, harus melakukannya tiga kali volume tiap tangki air *ballast*. *Pumping-through* yang kurang dari tiga volume tangki *ballast* dapat diterima apabila dapat menunjukkan paling sedikit 95% volume pertukaran (regulasi D-1).

Kapal yang melaksanakan manajemen air *ballast* yang sesuai dengan regulasi hanya boleh mengeluarkan kurang dari 10 organisme hidup setiap m<sup>3</sup> dengan ukuran lebih dari atau sama dengan 50 µm, 10 organisme hidup per ml dengan ukuran lebih dari atau sama dengan 10 µm. Kapal juga hanya boleh mengeluarkan organisme dari air *ballastnya* dengan indikator mikroba yang sesuai dengan standar kesehatan manusia meliputi 1) *Vibrio cholerae* (O1 dan O139) kurang dari 1 koloni setiap 100 ml atau kurang dari 1 koloni setiap gram berat contoh zooplankton, 2) *Escherichia coli* kurang dari 250 koloni setiap 100 ml, 3) bakteri usus *Enterococci* kurang dari 100 koloni setiap 100 ml (regulasi D-2).

Kapal yang berukuran lebih dari atau sama dengan 400 GRT yang menerapkan aturan ini harus disurvei yang meliputi survei awal, pembaruan, *intermediate*, tahunan dan survei tambahan (regulasi E-1).

Panduan dalam konvensi ini merupakan upaya Organisasi untuk menerapkan aturan konvensi seperti berikut.

1. Panduan Fasilitas Penerimaan Sedimen (G1) MEPC.152 (55)

Panduan G1 ini memberikan panduan tentang ketentuan fasilitas penerima sedimen menurut Artikel 5 pada konvensi yang mengamanatkan bahwa pengoperasian fasilitas penerima harus beroperasi tanpa menyebabkan penangguhan kapal dan menyediakan fasilitas pembuangan yang aman seperti sedimen yang tidak membahayakan lingkungan, kesehatan manusia, sumber atau hak milik.

Persyaratan pembuatan fasilitas ini, banyak faktor yang harus dipertimbangkan meliputi aturan regional, nasional dan lokal; pemilihan lokasi; pengumpulan, penanganan dan transportasi sedimen; pengambilan sampel, pengetesan, dan analisis sedimen; penyimpanan sedimen dan kondisi penyimpanan; perkiraan kapasitas yang diperlukan (volume/berat) termasuk kandungan kotoran sedimen pada fasilitas yang akan ditangani; keuntungan ekonomi dan biaya; perkiraan lokasi yang tersedia terhadap pembersihan tangki *ballast* lokal dan fasilitas perbaikan; pengaruh lingkungan pada konstruksi dan pengoperasian fasilitas; pelatihan staf; peralatan yang diperlukan untuk memuat sedimen dari kapal seperti kran; kesehatan manusia; keselamatan; perawatan; pembatasan operasi dan akses perairan .

Tindakan pembuangan, penanganan dan pengolahan pada sedimen harus menghindari efek samping yang menghasilkan resiko atau merusak lingkungan para pihak, kesehatan manusia, kekayaan dan sumber alam negara lain. Personel yang menangani sedimen harus

mengetahui resiko pada kesehatan yang berhubungan dengan sedimen dari tangki *ballast* kapal.

Kemampuan dan batasan kapasitas proses penerimaan (fasilitas dan peralatan) harus tersedia di kapal yang akan menggunakan fasilitas tersebut. Detail yang tersedia di kapal termasuk tetapi tidak terbatas pada kapasitas maksimum (volume atau berat) sedimen, volume maksimum atau berat yang dapat ditangani setiap waktu; peralatan pengemasan dan pelabelan; waktu operasi; pelabuhan, dermaga, area dimana akses tersedia, detail transfer dari kapal ke darat; jika kru kapal atau darat diperlukan untuk transfer; detail kontak pada fasilitas; bagaimana permintaan untuk penggunaan fasilitas termasuk pemberitahuan perioda dan informasi yang diperlukan dari kapal; biaya dan informasi yang relevan.

Pelatihan harus sering diadakan termasuk tetapi tidak terbatas pada kegunaan dan prinsip konvensi; resiko terhadap lingkungan dan kesehatan manusia; resiko yang berhubungan dengan penanganan sedimen termasuk resiko keselamatan umum dan kesehatan manusia; keselamatan; pengetahuan yang cukup mengenai peralatan; pemahaman yang cukup tentang kapal yang menggunakan fasilitas dan setiap pembatasan operasional; komunikasi kapal/pelabuhan dan pemahaman pengontrolan pembuangan lokal. Pelatihan harus diorganisasikan oleh manajer atau operator fasilitas penerima.

## 2. Panduan Pengambilan Contoh Air *Ballast* (G2) MEPC.173 (58)

Persyaratan pengambilan sampel diberikan untuk memenuhi pengontrolan terhadap regulasi D-1 dan D-2 konvensi yang terdiri dari dua aturan dengan parameter yang berbeda.

Terdapat definisi mengenai “*minimum dimensions, sampling points* dan *sampling facilities*”.

Sampel dapat diambil melalui pipa *sounding* atau pipa udara dan *manhole* dengan menggunakan pompa, botol sampel atau bejana air yang lain. Sampling air *ballast* sesaat kapal tiba dapat memberikan informasi pada pemenuhan regulasi B-4 dari konvensi dengan menganalisa parameter fisik dan/atau kimia.

Sampel harus diambil dari sisi keluaran, dekat titik keluaran, selama pengeluaran air *ballast* dimana memungkinkan.

Menurut artikel 9 dari konvensi, para Pihak dapat mengambil sampel untuk kegunaan.

## 3. Panduan Kesetaraan Kesesuaian Manajemen Air *Ballast* (G3) MEPC.123 (53)

Panduan ini berlaku untuk kapal wisata yang digunakan untuk rekreasi atau kompetisi atau kapal yang digunakan untuk pencarian dan penyelamatan, dengan panjang keseluruhan kurang dari 50 meter dan kapasitas air *ballast* 8 m<sup>3</sup>.

Panduan tidak berlaku pada pengambilan atau pengeluaran air *ballast* dan sedimen yang diperlukan untuk memastikan keselamatan

kapal pada situasi darurat atau penyelamatan di laut, digunakan untuk menghindari atau meminimalisir kejadian polusi dari kapal, pada laut lepas dengan air *ballast* dan sedimen yang sama.

Upaya pencegahan untuk meminimalisir pengambilan atau transfer organisme perairan berbahaya dan patogen, dilakukan dengan cara menghindari daerah dan situasi seperti 1) daerah yang diidentifikasi oleh *Port State* berhubungan dengan peringatan oleh pihak pelabuhan yang berhubungan dengan pengambilan dan susunan rancangan kontigensi pada situasi darurat, 2) dalam kegelapan dimana organisme dapat naik ke kolom air, 3) pada perairan sangat dangkal, 4) dimana baling-baling dapat mengaduk sedimen, 5) daerah yang terjadi ledakan besar *phytoplankton*, 6) dekat keluaran pembuangan kotoran, 7) sungai pasang surut yang lebih keruh, 8) pembilasan pasang surut yang buruk, 9) daerah yang dekat dengan akuakultur.

Untuk meminimalisir dan menghilangkan transfer organisme perairan berbahaya dan patogen, air *ballast* kapal harus dilakukan pertukaran sesuai regulasi B-4 atau diatur sesuai persyaratan Administrasi.

Bila memungkinkan, pembersihan rutin pada tangki *ballast* untuk mengeluarkan sedimen harus dilakukan dan dikontrol.

4. Manajemen Air *Ballast* dan Pengembangan Rancangan Manajemen Air *Ballast* (G4) MEPC. 127 (53)

Panduan terdiri dari dua bagian yaitu bagian A dan bagian B. Bagian A berisi panduan prinsip umum manajemen air *ballast*, bagian B berisi panduan struktur dan isi rancangan manajemen air *ballast* yang diperlukan Konvensi.

Untuk menghindari organisme perairan yang berbahaya, patogen dan organisme dalam sedimen diperlukan upaya meminimalkan dengan menghindari daerah seperti diidentifikasi oleh *Port State Control* (PSC) berhubungan dengan petunjuk, pengambilan air *ballast* dalam kegelapan dimana organisme dapat berkembang, pada perairan yang sangat dangkal, dimana baling-baling dapat mengaduk sedimen, saat dilakukan pengerukan di suatu daerah.

Pertukaran air *ballast* dilaksanakan menurut petunjuk Regulasi B-4, pelayaran harus direncanakan untuk pertukaran air *ballast*. PSC dapat menetapkan daerah di mana pertukaran air *ballast* dapat dilaksanakan.

Untuk membantu penerapan pencegahan praktek pada bagian 1.1 bagian A, *Port State* memerlukan Regulasi C-2 untuk berusaha memberitahu pelaut di mana daerah pada pengambilan air *ballast*. Pemberitahuan mencakup daerah pengambilan air *ballast* yang diminimalisir seperti daerah dengan penyebaran organisme berbahaya dan patogen, daerah dengan ledakan *phytoplankton* (seperti pasang

merah), dekat keluaran kotoran, daerah dimana terdapat sungai pasang surut yang diketahui lebih keruh, daerah dimana terjadi pembilasan pasang surut yang rendah, dekat operasi pengerukan, dekat atau daerah sensitif atau estuari.

5. Panduan Fasilitas Penerima Air *Ballast* (G5) MEPC.153 (55)

Panduan berisi tentang fasilitas penerima air *ballast* yang dapat menerima air *ballast* dari kapal yang tidak beresiko bagi lingkungan, kesehatan, kekayaan spesies dan sumber alam. Fasilitas penerima ini harus dilengkapi dengan pemipaan, *manifold*, *reducer*, peralatan dan sumber lainnya. Faktor yang perlu dipertimbangkan pada fasilitas ini meliputi aturan nasional, regional dan lokal; pemilihan lokasi; jenis dan ukuran kapal; konfigurasi kapal; peralatan *mooring*; penanganan air *ballast*; sampling, pengetesan dan analisa air *ballast*.

6. Panduan Operasional Pertukaran Air *Ballast* (G6) MEPC.124 (53)

Panduan berisi aturan pertukaran air *ballast* bagi kapal termasuk pemilik dan operator, pendesain, lembaga klasifikasi.

Pemilik kapal dan operator harus memastikan, sebelum melakukan pertukaran air *ballast*, bahwa semua aspek keselamatan telah dipertimbangkan dan tersedia personel yang terlatih di atas kapal. Rancangan manajemen air *ballast* memasukkan tugas kunci personel yang mengontrol pertukaran air *ballast* di laut.

Persyaratan air *ballast* memuat aturan pertukaran air *ballast* di daerah samudera dalam atau laut terbuka untuk memperkecil

kemungkinan penyebaran organisme perairan berbahaya dan pathogen.

Aturan D1 memuat tentang peraturan 1) kapal yang melaksanakan pertukaran air *ballast* sesuai dengan regulasi harus melakukan kegiatan dengan tingkat efisiensi paling sedikit 95% pertukaran volumetrik air *ballast*, 2) bila kapal melakukan metode *pumping through*, dilakukan 3 kali volume tiap tangki *ballast*. *Pumping through* yang dilakukan kurang dari 3 kali volume dapat diterima apabila kapal dapat mendemonstrasikan bahwa paling sedikit 95% volumetrik telah dilakukan pertukaran.

Terdapat tiga metode pertukaran air *ballast* yaitu 1) metode *sequential*, proses dengan pengosongan air *ballast* dan diisi kembali untuk memperoleh paling sedikit 95% volumetrik pertukaran, 2) metode *flow-through*, proses penggantian *air ballast* yang dipompakan sehingga air keluar melalui *overflow* atau susunan yang lain, 3) metode *dilution*, proses penggantian *air ballast* yang diisi melalui bagian atas tangki *ballast* dengan pengeluaran yang simultan dari dasar tangki

Saat melakukan metode pertukaran air *ballast* untuk pertama kali, harus dilakukan evaluasi menyangkut penyimpangan keselamatan pada stabilitas dan kekuatan, pemompaan *ballast* dan sistem pemipaan, tersedianya dan kapasitas ventilasi tangki dan susunan *overflow*. Pertimbangan tertentu harus dilakukan meliputi

stabilitas, *stress* membujur, pertukaran air *ballast* yang menghasilkan *sloshing* pada sebagian tangki yang diisi, gelombang induksi getaran lambung, pembatasan dari metode yang tersedia pada pertukaran air *ballast*, *draft* depan dan belakang dan *trim*, tambahan beban kerja Nakhoda dan kru.

Prosedur, petunjuk dan informasi dari rancangan manajemen air *ballast* meliputi penghindaran kelebihan dan kekurangan tekanan tangki *ballast*, dampak permukaan bebas pada beban stabilitas dan *sloshing* tangki yang dapat melemah, batas kekuatan gaya geser dan momen tekuk, gaya torsional, *draft* depan dan belakang dan *trim*, gelombang-induksi getaran lambung, kekedapan dan tutupan kedap (*man hole*) yang harus dibuka selama pertukaran air *ballast*, pemompaan maksimum/laju aliran, transfer internal *ballast*, kondisi cuaca yang mengijinkan, rute cuaca yang dipengaruhi oleh siklon, pencatatan dokumen, prosedur pencegahan yang mempengaruhi pertukaran air *ballast*, waktu yang diperlukan untuk menyelesaikan pertukaran air *ballast*, monitoring berlanjut pada pengoperasian air *ballast*, daftar kondisi pertukaran air *ballast* yang seharusnya tidak dilakukan, kondisi beku yang harus dihindari saat pertukaran air *ballast*, keselamatan personel meliputi pencegahan yang diperlukan saat bekerja malam hari, cuaca buruk dan kondisi beku.

Selama pertukaran air *ballast*, terdapat kondisi sulit yang ditemui meliputi standar jarak pandang anjungan, kedalaman baling-baling dan *draft* depan minimum.

Pada perencanaan pengoperasian pertukaran air *ballast*, Nakhoda harus menilai jangka waktu dan waktu pengoperasian, dampak kemampuan navigasi dan manuver kapal, waktu menyelesaikan operasi. Keputusan untuk mengantisipasi pengoperasian harus diambil bila kapal berada di perairan terbuka, lalu lintas pelayaran rendah, penjagaan bernavigasi ditingkatkan, manuver kapal, cuaca umum.

Perwira kapal dan kru yang melaksanakan pertukaran air *ballast* seharusnya diberikan pelatihan dan pengenalan yang meliputi pemompaan *ballast* kapal dan susunan pemipaan, metode memastikan pipa *sounding* aman dan katup *non return* dalam kondisi baik, perbedaan waktu yang diperlukan pada operasi pertukaran air *ballast*, metode yang digunakan pada pertukaran air *ballast*, perlunya monitoring berkelanjutan pada operasi pertukaran air *ballast*.

7. Panduan Asesmen Resiko Menurut Aturan 4-A Konvensi Manajemen Air *Ballast* (G7) MEPC.162 (56)

Kegunaan panduan ini untuk membantu para Pihak dalam memastikan ketentuan aturan A-4 pada konvensi. Panduan terdiri dari penilaian tiga metode resiko yang memungkinkan para Pihak untuk

mengidentifikasi skenario resiko tinggi yang tidak dapat diterima dan resiko rendah yang dapat diterima.

Aturan A-4 konvensi menyatakan Pihak pada wilayah hukum perairan dapat memberikan pengecualian jika kapal yang berlayar diantara lokasi aatau pelabuhan tertentu, waktu periode efektif selama 5 tahun, kapal yang tidak mencampur air *ballast* atau sedimen, berdasarkan panduan yang dikembangkan oleh Organisasi.

Pada panduan terdapat definisi yang meliputi *anadromous*, *wilayah biogeografik*, *catadromous*, *cryptogenic*, *donor port*, *euryhaline*, *eurythermal*, *air tawar*, *air laut*, *spesies tidak-asli*, *recipient port*, *target species*.

Prinsip penilaian resiko meliputi keefektifan, transparansi, konsistensi, komprehensif, manajemen resiko, pencegahan, dasar pengetahuan dan pengembangan berkelanjutan.

Terdapat tiga metode penilaian resiko yaitu penilaian resiko kesesuaian lingkungan, biogeografik spesies dan spesifik spesies.

Penilaian resiko kesesuaian lingkungan melakukan perbandingan kondisi lingkungan antara lokasi, penilaian resiko biogeografikal spesies membandingkan tumpang tindih antara spesies asli dan tidak asli untuk mengevaluasi kemiripan lingkungan dan mengidentifikasi penginvasi resiko tinggi dan penilaian resiko spesies spesifik mengevaluasi distribusi dan karakteristik taget spesies yang teridentifikasi.

Penilaian resiko kesesuaian lingkungan adalah melakukan perbandingan kondisi lingkungan termasuk suhu dan salinitas antara pelabuhan pemberi dan penerima. Spesies yang telah terdistribusi secara luas pada wilayah yang disebut wilayah biogeografik. Data yang diperlukan untuk penilaian resiko menggunakan kesesuaian lingkungan meliputi asal air *ballast* yang dikeluarkan pada pelabuhan penerima, wilayah biogeografik dari pelabuhan pemberi dan penerima, kondisi rata-rata dan jangkauan lingkungan, khususnya suhu dan salinitas. Pertimbangan yang diberikan pada pengumpulan data kondisi lingkungan meliputi 1) variasi musim pada permukaan dan dasar pada salinitas dan suhu wilayah pelabuhan penerima dan badan air yang lebih besar, 2) pasang surut atau arus yang kuat pada pelabuhan penerima, variasi sementara pada salinitas, 3) daerah dengan variasi musim dan kedalaman, 4) pengaruh *anthrogenik* aliran air tawar yang dapat mengubah salinitas sementara atau permanen, 5) variasi suhu musiman pada perairan pantai pada wilayah biogeografik.

Data yang diperlukan pada penilaian resiko biogeografikal spesies meliputi 1) pencatatan invasi pada wilayah biogeografikal dan pelabuhan pemberi dan penerima, 2) catatan spesies asli dan tidak asli yang dapat berpindah melalui air *ballast* pada wilayah biogeografikal pemberi, 3) catatan spesies asli pada wilayah pemberi yang berpotensi mempengaruhi kesehatan manusia atau menghasilkan dampak ekologi

dan ekonomi setelah introduksi, 4) penilaian resiko biogeografikal spesies dapat digunakan untuk mengidentifikasi spesies target potensial pada wilayah pemberi.

Penilaian resiko spesifik-spesies menggunakan informasi sejarah kehidupan dan toleransi fisiologi untuk menetapkan batas fisiologi spesies dan estimasi potensi ketahanan siklus hidup pada lingkungan penerima. Faktor yang dipertimbangkan saat mengidentifikasi spesies target meliputi 1) bukti sebelum introduksi, 2) dampak pengaruh lingkungan, ekonomi, kesehatan manusia, kekayaan atau sumber, 3) kekuatan dan jenis interaksi ekologi, 4) distribusi dalam wilayah.

8. Panduan Pengesahan Sistem Manajemen *Air Ballast* (G8) MEPC. 125 (53), Revisi MEPC.174(58)

Panduan bertujuan bagi Administrasi atau badan yang ditetapkan untuk menilai sistem manajemen air *ballast* sesuai standar aturan D-2 dari Konvensi dimana peralatan yang memenuhi persyaratan harus mendapat persetujuan Administrasi. Panduan juga berisi rekomendasi desain, instalasi, kinerja, penerimaan bagi pengujian lingkungan dan pemenuhan sistem manajemen air *ballast*.

Tujuan panduan meliputi menentukan persyaratan tes dan kinerja bagi persetujuan sistem manajemen air *ballast*; membantu Administrasi menentukan desain, konstruksi dan parameter operasional yang sesuai; memberikan interpretasi dan penerapan

persyaratan regulasi D-3; membantu Administrasi, pembuat peralatan dan pemilik pada penentuan peralatan yang sesuai persyaratan Konvensi; meyakinkan bahwa sistem yang telah disetujui Administrasi dapat memenuhi standar regulasi D-2 di darat dan kapal.

Pembuat peralatan harus memberikan informasi tentang desain, konstruksi, operasi dan fungsi sistem manajemen air *ballast* sesuai dengan Annex bagian 1. Sistem air *ballast* harus diuji untuk pemenuhan tipe sesuai prosedur pada Annex bagian 2 dan 3. Apabila prosedur pemenuhan tipe telah terpenuhi maka Administrasi dapat mengeluarkan sertifikat pemenuhan tipe sedangkan bila sistem dipasang di kapal maka diperlukan survei instalasi.

Regulasi D-2 menetapkan bahwa kapal hanya boleh mengeluarkan kurang dari 10 organisme hidup setiap m<sup>3</sup> dengan ukuran lebih dari atau sama dengan 50 µm, 10 organisme hidup per ml dengan ukuran lebih dari atau sama dengan 10 µm. Kapal juga hanya boleh mengeluarkan organisme dari air *ballast*nya dengan indikator mikroba yang sesuai dengan standar kesehatan manusia meliputi 1) *Vibrio cholerae* (O1 dan O139) kurang dari 1 koloni setiap 100 ml atau kurang dari 1 koloni setiap gram berat contoh zooplankton, 2) *Escherichia coli* kurang dari 250 koloni setiap 100 ml, 3) bakteri usus *Enterococci* kurang dari 100 koloni setiap 100 ml.

Terdapat definisi “*active substance, (BWTS) Ballast Water Management System, Ballast Water Management Plan, Ballast Water*

*Treatment Equipment, Control Equipment, The Convention, Monitoring Equipment, Sampling Facilities, Shipboard Testing, TRC (Treatment Rated Capacity), Land-based Testing dan Viable Organism”.*

Spesifikasi teknis terdiri dari sistem manajemen *air ballast*, peralatan pengolahan air *ballast*, peralatan monitoring dan kontrol. Pada sistem manajemen air *ballast*, terdapat ketentuan meliputi BWMS (*Ballast Water Management System*) tidak terdapat senyawa yang membahayakan lingkungan; terdapat alarm yang terlihat dan terdengar apabila terjadi kegagalan pada pengoperasian; mudah diakses untuk perawatan; selain itu untuk mencegah interferensi maka BWMS (*Ballast Water Management System*) diberi *seal* yang dapat dipecah, alarm dapat aktif bila dilakukan pembersihan, kalibrasi atau perbaikan, bila terjadi kedaruratan tersedia sistem *by-pass*. Peralatan pengolahan air *ballast* harus kuat dan bekerja baik di lingkungan kapal, operasi dan kontrol yang sederhana dan efektif, memenuhi aturan keselamatan di tempat yang mudah terbakar. Untuk peralatan monitor dan kontrol, BWMS harus menyertakan monitor otomatis dan pengaturan dosis pengolahan atau intensif, monitoring sendiri yang kontinu, pencatatan fungsi semestinya, memfasilitasi pemenuhan sesuai regulasi B-2, peralatan yang sederhana di kapal.

Dokumen yang diperlukan dalam proses pemenuhan rancangan meliputi deskripsi BWMS (*Ballast Water Management System*),

pedoman peralatan, pengoperasian umum, prosedur pengoperasian normal dan pengeluaran air yang tidak diolah, metode pengkondisian air yang diolah sebelum dikeluarkan, deskripsi aliran BWMS (material filter, konsentrat sentrifugal, sisa bahan kimia), sisi teknis dalam pedoman termasuk informasi yang cukup, spesifikasi teknis, rekomendasi tes.

Prosedur pemenuhan dan sertifikasi BWMS yang telah memenuhi persyaratan dapat dipasang di kapal apabila telah disetujui oleh Administrasi; sertifikat pemenuhan jenis dari BWMS dapat dikeluarkan bila telah disetujui, misalnya kapasitas, aliran, salinitas atau suhu; sertifikat pemenuhan jenis harus menginformasikan identitas jenis dan model BWMS, identitas gambar, referensi kinerja penuh, identitas yang dikeluarkan oleh Administrasi.

Prosedur survei instalasi dan *komisioning* meliputi verifikasi salinan dokumen sertifikat pemenuhan jenis, pernyataan Administrasi atau otoritas laboratorium, pedoman peralatan, pedoman operasi dan teknis BWMS, spesifikasi instalasi, prosedur komisioning instalasi, prosedur kalibrasi awal. Verifikasi lainnya meliputi kepastian instalasi BWMS sesuai spesifikasi teknis, kesesuaian sertifikat pemenuhan tipe BWMS yang dikeluarkan oleh Administrasi, instalasi untuk melengkapi BWMS, operasional *inlet* dan *outlet* yang terletak pada posisinya, pekerjaan instalasi yang sempurna, peralatan kontrol dan monitoring yang beroperasi secara benar.

Panduan terdapat Annex, dimana pada Annex terdiri dari empat bagian yaitu bagian pertama (spesifikasi evaluasi *pre-test* dari sistem dokumentasi), bagian kedua (spesifikasi tes dan kinerja untuk pemenuhan sistem manajemen air ballast), bagian ketiga (spesifikasi pengujian lingkungan pada pemenuhan sistem manajemen air *ballast*) dan bagian keempat (metode analisis sampel untuk penentuan komponen biologi pada air *ballast*).

Bagian pertama (spesifikasi evaluasi *pre-test* dari sistem dokumentasi) memuat tentang umum, evaluasi kesiapan, evaluasi proposal tes, dokumentasi. Umum memuat tentang dokumentasi yang harus tersedia oleh pembuat untuk dua kegunaan yaitu mengevaluasi kesiapan BWMS untuk tes pemenuhan dan evaluasi persyaratan tes yang diusulkan kepada pembuat. Evaluasi kesiapan memuat pengujian desain dan konstruksi BWMS untuk menentukan masalah dasar yang mungkin ditemui terhadap kemampuan BWMS untuk mengatur air *ballast* yang diusulkan oleh pembuat agar beroperasi dengan aman. Evaluasi proposal tes memuat pengujian semua prosedur dan persyaratan pembuat untuk penempatan, kalibrasi dan pengoperasian (termasuk persyaratan perawatan). Dokumentasi memuat pedoman teknis (spesifikasi produk, uraian proses, instruksi operasi, detail, spesifikasi instalasi teknis, batasan sistem, perawatan rutin dan prosedur penyelesaian masalah), gambar BWMS, hubungan

terhadap rancangan manajemen air *ballast*, dan dampak lingkungan dan kesehatan masyarakat.

Bagian kedua (spesifikasi tes dan kinerja untuk pemenuhan sistem manajemen air *ballast*) memuat prosedur jaminan dan kontrol kualitas, pengujian berbasis darat dan laporan hasil pengujian. Prosedur jaminan dan kontrol kualitas memuat tentang badan penguji yang harus mengimplementasikan kontrol kualitas yang sesuai dengan standar internasional; pemenuhan proses pengujian terdapat *QMP* (*Quality Management Plan*) dan *QAPP* (*Quality Assurance Project Plan*), penyampaian QMP tentang struktur manajemen kontrol kualitas dan kebijakan dari lembaga penguji, dokumen teknis spesifik dari QAPP. Pengujian di kapal memuat siklus pengujian (pengambilan, penyimpanan, pengolahan dan pengeluaran), kriteria keberhasilan pengujian di kapal (rancangan pengujian, dokumentasi, jumlah air *ballast* yang diuji, tes yang diakui, metode sampling, sumber air untuk pengetesan). Pengujian berbasis darat memuat aturan pengujian, siklus tes (pengambilan, penyimpanan, pengolahan dan pengeluaran), analisis, tujuan pengujian, kriteria *inlet* dan *outlet*, *sampling* dan *monitoring*. Laporan hasil pengujian memuat prosedur setelah pengujian yang diberikan kepada Administrasi, keberhasilan pengujian biologi.

Bagian ketiga (spesifikasi pengujian lingkungan pada pemenuhan sistem manajemen air *ballast*) memuat spesifikasi

pengujian, detail spesifikasi pengujian, pengujian getar, suhu, kelembaban, proteksi terhadap cuaca, fluktuasi *power supply*, *inklinasi*, keandalan peralatan listrik dan elektronik.

Bagian keempat (metode analisis sampel untuk penentuan komponen biologi pada air *ballast*) memuat analisis dan proses sampel, sampel analisis untuk penentuan keberhasilan standar pengeluaran.

9. Panduan Pengesahan Sistem Manajemen Air *Ballast* pada Penggunaan Materi Aktif (G9) MEPC.126 (53), Revisi MEPC. 169 (57)

Pada panduan ini terdapat definisi mengenai “substansi aktif, keluaran air *ballast* dan persiapan”.

Prinsip memuat tentang senyawa aktif dan persiapan yang ditambahkan pada air *ballast*, pelarangan penggunaan virus atau jamur sebagai senyawa aktif, keharusan Administrasi dalam mengecek kualitas dan kelengkapan dasar pemenuhan atau pemenuhan akhir.

Persyaratan umum memuat tentang identifikasi, data senyawa aktif dan persiapan, laporan pengujian. Identifikasi bahan kimia memuat usulan senyawa aktif atau persiapan termasuk uraian dan identifikasi bahan kimia yang digunakan di kapal. Data senyawa aktif dan persiapan memuat data dampak tumbuhan perairan, invertebrata, ikan dan biota lainnya; toksisitas mamalia; kerusakan lingkungan dan

dampak akibat kondisi *aerobik* dan *anaerobik*; sifat fisik dan kimia senyawa aktif dan persiapan dan air *ballast* yang diolah. Laporan pengujian memuat usulan pemenuhan yang harus dilengkapi dalam laporan pengujian.

Karakteristik resiko memuat penyaringan pada persistensi, bioakumulasi dan toksisitas; pengujian toksisitas terhadap air *ballast* yang diolah; karakteristik resiko dan analisis.

Kriteria evaluasi memuat keselamatan kapal dan personil, perlindungan lingkungan. Perlindungan lingkungan memuat penentuan, persiapan atau bahan kimia yang tidak PBT (*Persistent Bioaccumulative Toxic*), ESD (*Emission Scenario Documents*).

Aturan penggunaan senyawa aktif dan persiapan memuat penanganan senyawa aktif dan persiapan, dokumentasi bahaya dan pelabelan, prosedur dan penggunaan. Untuk menghindari bahaya dari senyawa aktif maka proposal menyertakan MSDS (*Marine Safety Data Sheet*), jumlah senyawa aktif dan persiapan yang ditambahkan pada air *ballast* dan konsentrasi maksimum, uraian prosedur dan informasi untuk penerapan yang aman pada senyawa aktif dan persiapan di kapal.

Pengesahan memuat pengesahan dasar, pengesahan final, pemberitahuan pengesahan, modifikasi dan penarikan pengesahan. Pengesahan dasar memuat prosedur evaluasi senyawa aktif atau persiapan dan potensi pengeluaran oleh pembuat, persiapan aplikasi

senyawa aktif, penerimaan aplikasi kesempurnaan, usulan pengesahan, pengumuman kerangka waktu evaluasi senyawa aktif dan persiapan, perjanjian antar organisasi, pembentukan grup teknis, kajian komprehensif proposal, pengujian pemenuhan tipe dan aplikasi perjanjian tertulis.

10. Panduan Pengesahan dan Pengawasan Prototipe Program Pengolahan Air *Ballast* (G10) MEPC. 140 (54)

Panduan bertujuan membantu Administrasi dalam pengesahan atau penolakan usulan program, menguraikan tanggung jawab Administrasi pada pengawasan pelaksanaan program dan mendorong interpretasi yang seragam dan penerapan regulasi D-4.

Persyaratan aplikasi program memuat peserta, uraian teknologi pengolahan air *ballast*, deskripsi kapal, uraian instalasi dan survei, kinerja pengujian dan uraian evaluasi, dan jadwal dan pelaporan.

Survei instalasi dan pernyataan pemenuhan memuat survei instalasi, pernyataan pemenuhan.

11. Panduan Standar Desain dan Konstruksi Pertukaran Air *Ballast* (G11) MEPC.149 (55)

Panduan dimaksudkan untuk memberikan rekomendasi pada desain dan konstruksi kapal agar memenuhi regulasi D-1 (standar pertukaran air *ballast*), panduan bagi pembangun kapal, pendesain kapal, pemilik dan operator kapal agar aman, diterima oleh lingkungan.

Terdapat definisi tentang “*ballast water tank, sequential method, flow-through method dan dilution method.*”

Desain dan konstruksi kapal untuk pertukaran air *ballast* harus mempertimbangkan efisiensi maksimum pertukaran air *ballast*, peningkatan jangkauan kondisi alat yang aman, pertukaran air *ballast* yang singkat, meminilkan akumulasi sedimen. Desain untuk kapal baru harus mempertimbangkan beberapa aspek yaitu komponen desain kapal, desain dan konstruksi sistem pompa dan pemipaan yang mudah dioperasikan dan perawatan yang maksimal, desain yang memenuhi semua aspek manajemen air *ballast*, instalasi monitoring dan atau peralatan pencatat untuk proses operasi dan pengolahan air *ballast*, manajemen data jarak jauh, desain sistem pertukaran air *ballast* yang memenuhi standar regulasi D-2, pengambilan sampel air *ballast* oleh *Port State Control* atau otoritas setempat.

Pertukaran air *ballast* di laut bagi kapal baru perlu mempertimbangkan aspek desain struktur kapal untuk pertukaran air *ballast*, meminimalisir beban kerja kru kapal, meminimalisir resiko tekanan lebih/kurang pada tangki, meminimalisir aliran air *ballast* di dek, penjagaan standar jarak pandang di anjungan (SOLAS V/22), celupan baling-baling dan minimum *draft* depan, konsekuensi pertukaran air *ballast* pada stabilitas, kekuatan lambung, gaya geser, tekanan torsi, resonansi, *sloshing*, *slamming* dan celupan baling-baling.

Metode *sequential* pada pertukaran air *ballast* perlu memperhatikan aspek kapasitas *ballast* total, *lay out* tangki *ballast*, konfigurasi tangki individual dan *girder* lambung. Pada metode *flow through* perlu dipertimbangkan tentang resiko tekanan lebih pada tangki *ballast* dan pipa sedangkan pada *dilution* perlunya ketentuan susunan pipa yang mencukupi untuk pemompaan air *ballast* pada tangki *ballast* sebelumnya.

Pertimbangan desain untuk peningkatan manajemen, kontrol dan strategi operasional adalah desain *sea chest* untuk mengurangi terkumpulnya sedimen dan ketentuan *high sea chest*.

## 12. Panduan Desain dan Konstruksi pada Fasilitas Kontrol Sedimen di Kapal (G12) MEPC. 150 (55)

Panduan ditujukan bagi desainer kapal, pembangun kapal, pemilik dan operator pada pengembangan struktur kapal dan peralatan agar sasaran sesuai dengan Konvensi.

Air yang diisap ke dalam tangki *ballast* dapat mengandung batuan *alluvial* yang mengendap di dasar tangki dan struktur internal yang lain. Organisme akuatik dapat tinggal pada air *ballast* dan sedimen dimana organisme ini bertahan untuk periode waktu yang lama setelah air dikeluarkan dan dibawa dari habitat aslinya dan dikeluarkan ke pelabuhan lainnya atau daerah dimana dapat merugikan dan merusak lingkungan, kesehatan dan sumber alam.

Regulasi B-5.1 meminta kapal untuk mengeluarkan sedimen dari tangki *ballast*.

Desain untuk mengurangi akumulasi sedimen dengan memperhitungkan penghindaran permukaan horizontal, ceratan di bawah penguat, susunan untuk mengalir paksa air, lubang cerat yang sebesar mungkin pada balok horizontal atau jaring, balok penopang, sistem pipa dimana saat *deballasting* dibuat agar terjadi gangguan pada air sekuat mungkin, pola aliran pada tangki *ballast*.

Keuntungan konsep desain untuk mengurangi akumulasi sedimen adalah pengeluaran sedimen saat *deballasting* dengan waktu tinggal sedimen yang minimum, dan desain harus menyediakan akses yang aman untuk pengeluaran sedimen dan sampling.

13. Panduan Ketentuan Tambahan Manajemen Air *Ballast* Termasuk Situasi Darurat (G 13) MEPC.161 (56)

Sebelum para Pihak, baik secara individual atau bergabung dengan Pihak lain, yang bermaksud memperkenalkan tindakan tambahan menurut regulasi C-1 dari Konvensi, harus mempertimbangkan identifikasi potensi bahaya masuknya organisme akuatik berbahaya, deskripsi penyebab yang teridentifikasi, identifikasi dampak potensial dan konsekuensi. Para Pihak harus menguji karakter kemungkinan atau konsekuensi introduksi mendatang pada organisme akuatik berbahaya, dampak lingkungan bagi organisme atau patogen yang masuk.

Tindakan tambahan menurut Artikel 7.2 dan regulasi C-1.3 dari Konvensi harus mengidentifikasi daerah dimana tindakan tambahan diberikan, operasional atau persyaratan teknis, susunan untuk pemenuhan tambahan tindakan, tanggal efektif dan durasi tindakan.

Para Pihak yang bermaksud memperkenalkan tambahan tindakan harus menginformasikan kepada negara yang berdekatan atau negara lainnya untuk memberikan informasi yang berisi koordinasi rinci dimana dan tanggal tindakan tambahan, perlunya dan alasan, deskripsi tindakan tambahan, susunan yang memenuhi tindakan tambahan.

Pada saat terjadi situasi darurat atau epidemik, para Pihak dapat mengadopsi tindakan tambahan untuk menyampaikan situasi darurat atau epidemik.

14. Panduan Penetapan Area untuk Pertukaran Air *Ballast* (G14)  
MEPC.151 (55)

Panduan bertujuan memberikan arahan bagi *Port State* untuk identifikasi, pengujian dan penetapan daerah alaut dimana kapal dapat melakukan pertukaran air ballast sesuai regulasi B-4.2 dari Konvensi.

Terdapat tiga tahap dalam penetapan daerah pertukaran air *ballast* yaitu identifikasi, pengujian dan penetapan. *Port State* harus berkonsultasi dengan negara lain dalam penetapan daerah pertukaran air *ballast*.

Pertimbangan identifikasi daerah pertukaran air *ballast* meliputi aspek legal (persyaratan aturan nasional atau internasional, luas laut yang melampaui aturan *Port State*), sumber daya penting dan daerah proteksi (menghindari daerah yang dilindungi) dan kendala navigasi (daerah rute berada, peningkatan lintas kemacetan pelayaran, kedekatan pada lintas kapal lainnya, tercukupinya alat bantu navigasi, keamanan, sistem rute).

Pertimbangan pengujian meliputi “keefektifan, transparansi, konsistensi, komprehensif, manajemen resiko, pencegahan, dasar pengetahuan, pengembangan lanjutan.”

Identifikasi pertukaran air *ballast* yang harus diuji meliputi oseanografi (arus, *upwelling*, daerah dimana terdapat pencampuran pasut, kedalaman maksimum), fisik-kimia (nutrient yang tinggi), biologi (terjadi penyebaran organisme akuatik berbahaya), lingkungan (daerah yang dipengaruhi polusi dari aktivitas manusia, daerah akuatik sensitif), sumber alam penting (daerah perikanan, pembudidayaan), operasi *air ballast* (jumlah sumber, frekuensi).

Lokasi dan ukuran daerah pada resiko minimal pada lingkungan akuatik, kesehatan manusia, sumber daya alam merupakan daerah yang dapat dipilih dan evaluasi dasar harus dilakukan untuk monitoring mendatang.

Pihak yang mengusulkan daerah penetapan pertukaran air *ballast* sesuai regulasi B-4.2 harus menyampaikan usulannya meliputi

koordinat rinci geografi, batas kedalaman dan atau jarak dari pantai terdekat, informasi lainnya seperti alat bantu navigasi, detail karakteristik seperti penggunaan daerah oleh lintas lainnya, arus dan aliran pasut, angin dan kondisi gelombang, musim.

Penetapan daerah pertukaran air *ballast* dan dampaknya bagi lingkungan akuatik, kesehatan, sumber alam dari *Port State* harus dimonitor dan dikaji pada basis tetap.

### **G. Pencemaran Logam Berat**

Logam berat (*heavy metal*) adalah logam dengan massa jenis lima atau lebih, dengan nomor atom 22 sampai dengan 92 (Rhidowati, 2013). Karakteristik dari logam berat adalah memiliki spesifikasi gravitasi yang sangat besar (lebih dari 4), mempunyai nomor atom 22-34 dan 40-50 serta unsur lantanida dan aktinida, mempunyai respon biokimia khas (spesifik) pada organisme hidup (Palar, 2008).

Sumber cemaran logam berat dapat melalui sumber alami dan buatan. Sumber alami berasal dari pantai (bersumber dari sungai, abarasi pantai oleh aktifitas gelombang), logam yang dibebaskan oleh aktivitas gunung berapi dan proses kimiawi, lingkungan daratan dan dekat pantai. Sedangkan sumber buatan berasal dari proses industri atau kegiatan pertambangan.

Beberapa jenis yang termasuk logam berat adalah Aluminium (Al), Antimony (Sb), Cadmium (Cd), Chromium (Cr), Cobalt (Co), Cuprum (Cu), Ferrum (Fe), Manganese (Mn), Merkuri (Hg), Molybdenum (Mo), Selenium (Se), Silver (Ag), Tin (Sn), Plumbum (Pb), Vanadium (V) dan Zinc (Zn).

Sedangkan logam berat seperti Merkuri (Hg), Cadmium (Cd), Plumbum (Pb), Chromium (Cr), Cuprum (Cu), Cobalt (Co) sangat berbahaya bila kadar yang terlarut dalam tubuh manusia cukup tinggi atau melebihi ambang batas baku.

#### 1. Merkuri (Hg)

Logam merkuri memiliki sifat berwujud cair pada suhu kamar ( $25^{\circ}\text{C}$ ) dengan titik beku paling rendah sekitar  $-39^{\circ}\text{C}$ , masih berwujud cair pada suhu  $396^{\circ}\text{C}$ , merupakan logam yang paling mudah menguap jika dibandingkan dengan logam lain, tahanan listrik yang dimiliki sangat rendah, dapat melarutkan bermacam-macam logam untuk membentuk paduan yang disebut amalgam, sangat beracun bagi semua makhluk hidup baik dalam bentuk unsur tunggal atau dalam bentuk persenyawaan.

Pada industri khlor-alkali, merkuri digunakan untuk menangkap logam Natrium (Na) melalui proses elektrolisa dari larutan garam Natrium khlorida (NaCl). Lampu listrik, thermometer juga mengandung merkuri. Sedangkan pada bidang pertanian, senyawa merkuri banyak digunakan sebagai fungisida yang menjadi penyebab penting keracunan merkuri pada organism hidup. Industri pulp dan kertas juga menggunakan merkuri dalam bentuk senyawa FMA (*Fenil Merkuri Asetat*) yang bertujuan untuk mencegah pembentukan kapur pada pulp dan kertas basah selama proses penyimpanan.

#### 2. Kadmium (Cd)

Logam Kadmium (Cd) mempunyai sifat logam lunak, *ductile*, berwarna putih seperti perak (Palar, 2008). Logam ini akan kehilangan

kilapnya bila berada di dalam udara yang basah atau lembab serta akan mengalami kerusakan bila dikenai uap ammonia ( $\text{NH}_3$ ) dan sulfur hidroksida ( $\text{SO}_2$ ). Logam Cd di dalam persenyawaannya mempunyai bilangan valensi 2+, sangat sedikit yang mempunyai bilangan valensi 1+. Bila dimasukkan ke dalam larutan yang mengandung ion  $\text{OH}^-$ , ion  $\text{Cd}^{2+}$  akan mengalami proses pengendapan. Endapan yang terbentuk dari ion  $\text{Cd}^{2+}$  dalam larutan berion  $\text{OH}^-$  biasanya dalam bentuk senyawa terhidratasi yang berwarna putih. Bila logam Cd digabungkan dengan senyawa karbonat ( $\text{CO}_3^{2-}$ ), dengan senyawa fosfat ( $\text{PO}_4^{3-}$ ) dengan senyawa arsenat ( $\text{AsO}_3$ ), dan atau dengan senyawa oksalat-ferro {(Fe(III) } dan {ferri (II)} sianat, maka akan terbentuk senyawa yang berwarna kuning. Semua senyawa tersebut akan dapat larut dalam senyawa  $\text{NH}_4\text{OH}$  dan akan membentuk kation kompleks Cd dengan  $\text{NH}_3$ .

Logam Cd merupakan produk sampingan dari peristiwa peluburan dan refining bijih Zn (seng), dimana pada konsentrat bijih Zn, diperoleh 0,2 sampai 0,3 % logam Cd. Pemanfaatan Cd dan senyawanya yaitu senyawa CdS dan CdSeS, banyak digunakan sebagai zat warna; senyawa Cd-sulfat ( $\text{CdSO}_4$ ) digunakan dalam industri baterai yang berfungsi untuk pembuatan sel Weston karena mempunyai potensial stabil yaitu sebesar 1,0186 Volt; senyawa Cadmium bromide ( $\text{CdBr}_2$ ) dan cadmium iodide ( $\text{CdI}_2$ ) secara terbatas digunakan dalam dunia fotografi, senyawa dietil cadmium {( $\text{C}_2\text{H}_5$ )<sub>2</sub> Cd} digunakan dalam proses pembuatan tetraetil-Pb;

senyawa Cd-stearat banyak digunakan dalam perindustrian manufaktur polyvinyl khlorida (*PVC*) sebagai bahan yang berfungsi untuk stabilizer.

Industri yang melibatkan Cd dalam proses operasional industrinya menjadi sumber pencemaran Cd. Logam Cd membawa sifat racun bagi semua organisme hidup. Biota udang-udangan (*crustacea*) akan mengalami kematian dalam 24-504 jam bila dalam konsentrasi Cd dan persenyawaannya pada konsentrasi 0,005-0,15 ppm, serangga (*insecta*) dalam rentang 24-672 jam pada 0,003-18 ppm, keluarga *Oligochaeta* dalam rentang 24-96 jam pada 0,0028-4,6 ppm sedangkan biota air tawar seperti ikan mas (*Cyprinus carpio*) akan mengalami kematian dalam waktu 96 jam bila terkontaminasi dengan rentang konsentrasi 1,092-1,104 ppm.

Keracunan yang disebabkan oleh Cd pada manusia dapat bersifat akut dan kronis dimana keracunan yang akut tersebut sering menimpa para pekerja industri yang berkaitan dengan logam ini. Gejala keracunan akut yang disebabkan oleh logam Cd adalah timbul rasa sakit dan panas pada bagian dada dimana gejalanya tidak langsung muncul saat terpapar tetapi setelah 4-10 jam sejak si penderita terpapar uap logam Cd. Lebih jauh bila uap Cd yang mempunyai konsentrasi 2.500-2.900 mg/m<sup>3</sup> dapat menimbulkan kematian.

Dampak Cd terhadap organ tubuh seperti ginjal yaitu terjadi proteinuria (protein dalam urine) bila mengalami paparan Cd dalam jangka 20-30 tahun, dampak bagi paru-paru yaitu terjadi pembengkakan

paru-paru (*pulmonary emphysema*) akibat terhirupnya debu Cd selama 20 tahun oleh pekerja industri. Peristiwa ini terjadi karena  $Cd^{2+}$  menghambat kerja senyawa alfa-antipirin. Penyakit anemia merupakan dampak bagi para pekerja selama 5-30 tahun pada industri yang melibatkan CdO dimana sumsum tulang diduga sebagai sumber utama yang menyebabkan timbulnya penyakit anemia. Dampak terburuk paparan Cd yaitu kerapuhan tulang yang disebabkan karena tulang kekurangan kalsium (Ca) dalam makanan yang tercemar oleh Cd sehingga fungsi kalsium dalam pembentukan dan perawatan tulang digantikan oleh logam Cd. Dampak lain paparan Cd yaitu mempengaruhi organ reproduksi dan sifat karsinogen (menimbulkan kanker).

### 3. Tembaga (Cu)

Tembaga mempunyai nama kimia *cuprum* dan dilambangkan dengan Cu. Unsur logam ini berbenruk Kristal dengan warna kemerahan dan pada periodic unsur kimia, tembaga menempati posisi NA (nomor atom) 29 dan BA (berat atom) 63,546. Unsur tembaga banyak ditemukan di alam berupa persenyawaan atau sebagai senyawa padat dalam bentuk mineral. Pada air laut,tembaga ditemukan dalam bentuk persenyawaan ion seperti  $CuCO_3^+$ ,  $CuOH^+$  sedangkan pada lapisan tanah, tembaga ditemukan dalam bentuk  $Cu_2S$  (*chalcocote*),  $CuS$ (*cavellite*),  $CuFeS_2$  (*chalcopyrite*),  $Cu_5FeS_4$  (*bornite*),  $Cu_3(AsSb)S_4$  (*enargite*). Selain dari bentuk mineral, logam tembaga banyak ditemukan dalam bentuk teroksidasiseperti biji *cuprite* ( $Cu_2O$ ) , *tenorite* ( $CuO$ ), *malachite* [ $CuCO_3$ ,

$\text{Cu}(\text{OH})_2$ ], *azurite* [ $2\text{CuCO}_3, \text{Cu}(\text{OH})_2$ ], *chrysocolla* [ $\text{CuSiO}_3 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ ], dan *bronchantite* [ $\text{Cu}_4(\text{OH})_6\text{SO}_4$ ].

Logam Cu dan beberapa bentuk persenyawaannya seperti  $\text{CuO}$ ,  $\text{CuCO}_3$ ,  $\text{Cu}(\text{OH})_2$  dan  $\text{Cu}(\text{CN})_2$ , tidak dapat larut ke dalam air dingin atau panas, tetapi dapat dilarutkan dalam asam. Logam Cu digolongkan sebagai penghantar listrik yang baik. Logam ini dapat membentuk *alloy* dengan bermacam-macam logam.

Logam Cu merupakan logam esensial artinya meskipun Cu merupakan logam berat beracun namun sangat dibutuhkan tubuh meskipun dalam jumlah sedikit dimana kebutuhan manusia terhadap tembaga cukup tinggi yaitu  $30 \mu\text{g}/\text{kg}$  berat tubuh. Pada manusia, Cu dikelompokkan ke dalam *metalloenzim* dalam sistem metabolismenya. Logam Cu dibutuhkan untuk sistem enzim oksidatif seperti enzim askorbat oksidase, sistikrom C oksidase, polyfenol oksidase, amino oksidase. Selain manusia, kerang juga membutuhkan jumlah yang tinggi untuk kehidupannya dan kerang juga mempunyai toleransi yang tinggi terhadap akumulasi Cu dalam tubuhnya.

Bentuk tembaga yang paling beracun adalah debu Cu yang dapat mengakibatkan kematian pada dosis  $3,5 \text{ mg}/\text{kg}$ . Pada manusia, efek keracunan utama yang ditimbulkan akibat terpapar oleh debu dan uap logam Cu adalah terjadinya gangguan pada jalur pernafasan sebelah atas yaitu terjadinya kerusakan atropik pada selaput lendir yang berhubungan dengan hidung.

Cu sesuai sifatnya sebagai logam berat beracun dapat mengakibatkan keracunan akut dan kronis. Gejala keracunan akut pada manusia yaitu adanya rasa logam pada pernafasan, adanya rasa terbakar pada *epigastrium* dan muntah yang terjadi secara berulang-ulang sedangkan akibat keracunan kronis yaitu timbulnya penyakit Wilson dan Kinsky. Gejala dari penyakit Wilson yaitu terjadi *hepatic cirrhosis*, kerusakan pada otak dan demyelinasi serta terjadinya penurunan kerja ginjal dan pengendapan Cu dalam kornea mata.

#### 4. Timbal (Pb)

Logam timbal termasuk dalam golongan IV-A pada tabel periodic unsure kimia, mempunyai NA (nomor atom) 82 dengan BA (berat atom) 207,2. Timbal terkonsentrasi dalam deposit seperti biji logam. Persenyawaan bijih logam timbal ditemukan dalam bentuk *galena* (PbS), *anglesit* (PbSO<sub>4</sub>) dan dalam bentuk minim (Pb<sub>3</sub>O<sub>4</sub>). Bijih logam ini bergabung dengan logam lain seperti perak, seng, arsen, logam stibi dan dengan logam bismuth.

Logam timbal mempunyai sifat khusus yaitu lunak, tahan terhadap korosi, titik lebur rendah (327<sup>0</sup>C), kerapataan yang lebih besar dibandingkan dengan logam biasa, penghantar listrik yang tidak baik .

Timbal banyak digunakan pada berbagai industri. Pada industri baterai, timbal digunakan sebagai grid yang merupakan persenyawaan dengan logam bismut (Pb-Bi) dengan perbandingan 93:7 dan merupakan bahan aktif dalam pengaliran arus elektron. Persenyawaan Pb dengan Cr,

Mo dan Cl digunakan secara luas sebagai pigmen *chrom*. Senyawa silikat timbale (Pb-silikat) yang dibentuk dari intermediet Pb-asetat ( $\text{CH}_3\text{-COO-Pb-OOCH}_3$ ) digunakan sebagai salah satu bahan pengkilap keramik dan sekaligus sebagai bahan tahan api. Sedangkan pada industri kimia, Pb ditambahkan sebagai zat aditif yaitu tetrametil-Pb [ $(\text{CH}_3)_4\text{-Pb}$ ] dan tetraetil-Pb [ $(\text{C}_2\text{H}_5)_4\text{-Pb}$ ].

Emisi Pb ke dalam lapisan atmosfer bumi dapat berbentuk gas dan partikulat dimana pada bentuk gas berasal dari buangan gas kendaraan bermotor. Senyawa gas buang yang berupa tetrametil-Pb dan tetraetil-Pb dapat diserap oleh kulit.

Pb dan persenyawaannya dapat berada di dalam badan air sebagai dampak aktivitas manusia. Air buangan dari industri yang mengandung Pb dapat merusak tata lingkungan perairan yang dimasukinya, ditemukan dalam bentuk ion divalent dan ion tetravalen ( $\text{Pb}^{2+}$  dan  $\text{Pb}^{4+}$ ). Badan perairan yang terdapat senyawa ion Pb melebihi konsentrasi yang semestinya dapat mengakibatkan kematian bagi biota perairan dimana pada konsentrasi 188 mg/liter dapat membunuh ikan.

Dampak keracunan Pb pada organ tubuh, akan terakumulasi di tulang, dimana ion  $\text{Pb}^{2+}$  menggantikan ion  $\text{Ca}^{2+}$  pada tulang. Keracunan Pb yang kronis ringan ditemukan dalam bentuk insomnia dan gangguan tidur.

Dampak keracunan Pb dalam sistem peredaran darah menimbulkan peningkatan kadar ALA dalam darah dan urine, peningkatan kadar

protoporphirin dalam sel darah merah, memperpendek umur sel darah merah, penurunan jumlah sel darah merah, penurunan kadar retikulosit (sel darah merah yang masih muda), peningkatan kandungan logam Fe dalam plasma darah.

Pada pekerja tambang dan pengolahan logam, dampak Pb dapat menimbulkan kerusakan pada otak, sedangkan pada sistem urinaria yaitu pada *keglomerulus* (bagian ginjal), senyawa Pb tersebut menyebabkan kerusakan pada saluran ginjal yang selanjutnya menyebabkan terjadinya kelebihan asam amino dalam urine. Selain itu Pb juga berpengaruh terhadap sistem reproduksi, endokrin dan jantung.

#### 5. Seng (Zn)

Seng termasuk unsur yang terdapat dalam jumlah berlimpah di alam (Effendi, 2007). Kadar seng pada kerak bumi sekitar 70 mg/kg. Kadar seng pada perairan alami < 0,05 mg/liter, perairan asam mencapai 50 mg/liter dan perairan laut 0,01 mg/liter.

Seng digunakan dalam industri besi baja, cat, karet, tekstil, kerta dan bubur kertas. Seng merupakan bahan essensial bagi makhluk hidup yakni berfungsi membantu kerja enzim. Seng juga diperlukan dalam proses fotosintesis sebagai agen bagi transfer hidrogen dan berperan dalam pembentukan protein. Seng tidak bersifat toksik bagi manusia tetapi pada kadar yang tinggi dapat menimbulkan rasa pada air.

Kadar seng pada air minum sebaiknya tidak lebih dari 5 mg/liter. Toksisitas seng bagi organisme akuatik (alga, avertebrata dan

ikan) sangat bervariasi, < 1 mg/liter. Nilai LC<sub>50</sub> 48 jam senng bagi *Daphnia hyaline* adalah 0,04 mg/liter.

#### 6. Arsen (As)

Pada perairan alami, arsen membentuk senyawa arsenat ( $\text{AsO}_4^{3-}$ ) atau arsenit ( $\text{AsO}_3^{3-}$ ) (Effendi, 2003). Senyawa anorganik arsen dapat berubah secara biologis menjadi senyawa organo arsen yang bersifat toksik. Sumber arsen di perairan adalah logam arsenide dan sulfide, misalnya *niccolite* (NiAs) dan *arsenopyrite* (FeAsS). Selain itu, pelapukan batuan juga melepaskan arsen dalam bentuk oksida ( $\text{As}_2\text{O}_3$ ) dan senyawa sulfur (AsS dan  $\text{As}_2\text{S}_3$ ).

Arsen digunakan dalam industri metalurgi, gelas, pigmen, tekstil, kertas, keramik, cat, penyulingan minyak, semi-konduktor. Senyawa arsenit ( $\text{Na}_3\text{AsO}_3$ ) juga digunakan sebagai pestisida untuk membasmi tumbuhan pengganggu, jamur dan tikus.

Kadar arsen pada perairan air tawar sekiranya 0,01 mg/liter, sebaiknya kadar arsen sebaiknya tidak lebih dari 0,05 mg/liter dan pada air minum sebaiknya tidak melebihi 0,05 mg/liter, sedangkan pada perairan laut kadar arsen biasanya berkisar 0,002-0,006 mg/liter.

Arsen dapat mengalami bioakumulasi dan mengakibatkan keracunan. Konsentrasi arsen yang mematikan bagi mikroalga berkisar 2-10 mg/liter, sedangkan bila lebih dari 10 mg/liter bersifat toksik bagi ikan.

## 7. Nikel (Ni)

Nikel merupakan logam berwarna putih perak dengan berat jenis 8,5 dan berat atom 58,71 g/mol (Ridhowati, 2013). Nikel merupakan logam yang digunakan untuk memproduksi *stainless steel* karena resisten terhadap korosi dan oksidasi pada suhu tinggi. Dalam keadaan murni, nikel bersifat lembek tetapi jika dipadukan dengan besi, krom dan logam lainnya dapat membentuk baja tahan karat yang keras. Nikel sebagai bahan paduan banyak digunakan di berbagai industri logam, berbagai macam baja serta *electroplating*.

Sumber cemaran nikel di perairan berasal dari limbah industri pelapisan nikel (*electroplating*), industri kertas, industri pupuk dan baja, limbah rumah tangga dan pupuk pertanian dimana limbah industri tersebut mengandung senyawa nikel berbahaya seperti  $\text{NiSO}_4$  dan  $\text{NiCl}_2$ . Berbagai jenis pupuk pertanian baik organik maupun anorganik juga mengandung logam berat termasuk nikel. Kadar logam berat pada pupuk P, N, kandang dan kompos berturut-turut 7-225 ppm, 227 ppm, 1,1-27 ppm dan 1,3-2,24 ppm.

Nikel dapat mencemari air tanah maupun air permukaan baik perairan laut maupun darat seperti sungai, danau dan waduk. Pada kondisi aerob dan pH kurang dari 9, nikel membentuk senyawa kompleks dengan hidroksida, karbonat dan sulfat, selanjutnya mengalami presipitasi. Sedangkan dalam kondisi anaerob, nikel bersifat tidak larut. Pada muara

sungai, nikel menunjukkan konsentrasi yang semakin meningkat seiring dengan peningkatan kekeruhan.

Nikel juga dapat mencemari udara sebagai hasil pembakaran batu bara, pembakaran BBM (Bahan Bakar Minyak), industri pemurnian logam Ni serta limbah dari incinerator.

Pada umumnya, orang yang terpapar Ni di tempat kerja dalam proses yang menggunakan bahan nikel atau melalui kontak dengan perhiasan yang mengandung nikel, *stainless-steel* serta peralatan masak yang mengandung nikel atau berbahan asam tembakau. Paparan nikel dapat melalui pernafasan, oral dan kontak kulit. Reaksi nikel dan karbonmonoksida (CO) menghasilkan nikel karbonil  $[\text{Ni}(\text{CO})_4]$  yang teruarai menjadi Ni dan CO pada pemanasan  $200^{\circ}\text{C}$ .

Gejala awal dari paparan nikel karbonil berupa sakit kepala, mual, muntah, epigastrik, sakit dada disertai batuk-batuk, hiperpne, sianosis, sakit lambung dan usus seret keadaan lemah. Gejala tersebut bisa disertai berbagai gejala demam, leukosistosis dan pneumonia yang parah, kegagalan pernafasan, kadang-kadang edema serebral kemudian dapat mengakibatkan kematian.

Paparan akut Ni dosis tinggi melalui inhalasi dapat mengakibatkan kerusakan berat pada paru-paru dan ginjal serta gangguan gastrointestinal berupa mual, muntah dan diare. Sedangkan paparan Ni melalui kulit secara kronis dapat menimbulkan gejala antara lain dermatitis nikel

berupa eksema (kulit kemerahan, gatal) pada jari-jari, tangan, pergelangan tangan serta lengan.

Tingginya kadar nikel dalam jaringan tubuh manusia dapat mengakibatkan munculnya berbagai efek samping yaitu akumulasi nikel pada kelenjar pituitary yang mengakibatkan depresi sehingga mengurangi sekresi hormone prolaktin di bawah normal. Konsumsi makanan mengandung nikel 600 µg/hari sudah menunjukkan toksisitas pada manusia.

#### 8. Cobalt (Co)

Kobalt memiliki sifat mudah larut. Kadar kobalt pada kerak bumi sekitar 25 mg/kg dan dapat berbentuk bivalen atau trivalent. Ion kobalt ( $\text{Co}^{2+}$ ) lebih stabil sedangkan ion kobaltik ( $\text{Co}^{3+}$ ) bersifat tidak stabil dan merupakan oksidator kuat (Effendi, 2007).

Kobalt termasuk unsur renik yang dibutuhkan dalam pertumbuhan dan reproduksi tumbuhan dan hewan. Kobalt dibutuhkan oleh enzim sebagai koenzim yang berfungsi untuk mengikat molekul substrat .

Perairan laut memiliki kadar kobalt yang sangat rendah, berkisar 0,0005 mg/liter. Sedangkan toksisitas kobalt ( $\text{LC}_{50}$  96 jam) terhadap biota air misalnya *Daphnia magna* berkisar 2,1-3,2 mg/liter.

#### 9. Chrom total (Cr)

Khromium merupakan salah unsur logam berat, dengan NA (nomor atom) 24 dan BA (berat atom) 51,996. Logam ini ditemukan dalam bentuk persenyawaan padat atau mineral dengan logam lain.

Berdasarkan sifat kimianya, logam Cr dalam persenyawaannya mempunyai bilangan oksidasi 2+, 3+ dan 6+. Logam ini tidak dapat teroksidasi oleh udara yang lembab, tetapi dalam udara yang mengandung CO<sub>2</sub> dalam konsentrasi yang tinggi, logam Cr dapat mengalami peristiwa oksidasi dan membentuk Cr<sub>2</sub>O<sub>3</sub>. Senyawa yang terbentuk dari ion logam Cr<sup>2+</sup> akan bersifat basa, senyawa yang terbentuk dari ion logam Cr<sup>3+</sup> akan bersifat amfoter dan senyawa yang terbentuk dari ion logam Cr<sup>6+</sup> akan bersifat asam. Ion khromat (CrO<sub>4</sub><sup>2-</sup>) bila berada dalam suasana asam akan menimbulkan sifat sebagai penyebab terjadinya peristiwa reduksi (oksidator) yang sangat kuat.

Logam Cr banyak digunakan sebagai pelapis (*plating*) pada berbagai peralatan, juga banyak dibentuk untuk menjadi alloy. Beberapa alloy yaitu chromium dengan besi (Cr-Fe) dan chromium dengan nikel, besi (Cr-Ni-Fe) untuk pembuatan baja anti karat; chromium dengan nikel (Cr-Ni) merupakan alloy yang tahan terhadap suhu yang sangat tinggi; chromium dengan molibdinum (Cr-Mo) banyak digunakan sebagai alat pemotong. Sedangkan senyawa khromat dan dikhromat digunakan pada bidang litografi, tekstil, penyamakan, pencelupan, fotografi, zat warna, sebagai bahan peledak dan geretan korek api.

Logam Cr dapat masuk ke semua strata lingkungan serta umumnya diduga paling banyak berasal dari kegiatan industri. Sumber utama dari masuknya Cr ke lapisan udara dari pembakaran batu bara dan minyak bumi sedangkan pencemaran Cr ke dalam badan perairan melalui dua

cara, yaitu alamiah dan non alamiah. Secara alamiah, Cr masuk melalui pengaruh faktor fisika seperti erosi sedangkan secara non alamiah melalui aktivitas yang dilakukan oleh manusia.

Logam Cr termasuk logam berat yang mempunyai daya racun tinggi. Data yang ada akibat keracunan kronis umumnya merupakan hasil percobaan yang pernah dilakukan terhadap hewan. Sedangkan Cr pada tubuh manusia, diperkirakan merupakan salah satu bahan yang menyebabkan timbulnya kanker paru-paru sehingga digolongkan sebagai bahan karsinogen. Penelitian yang pernah dilakukan terhadap orang kulit putih dan hitam yang bekerja pada industri yang menggunakan dan mengolah khromat, ditemukan adanya kandungan Cr dalam urine sebesar 43 µg/liter pada pekerja kulit putih dan 71 µg/liter pada pekerja kulit hitam.

#### **H. *Phytoplankton, Diatom, Dinoflagellata* dan Mikroalga Penyebab HAB (*Harmful Algal Blooms*)**

##### **1. *Phytoplankton***

Produktifitas primer adalah jumlah material organik yang dihasilkan oleh organisme *autotrof* melalui proses fotosintesis. Produktifitas primer terdiri dari produktifitas primer pertama dan kedua. Menurut Wetzel, Cushing & Allan, produktifitas primer kedua (dalam Asriyana & Yuliana, 2012) adalah makrofita, berbagai kelompok tipe tumbuhan yang termasuk dalam makrofita adalah *emergent flora, floating-*

*leaved macrofita, submerged macrofita, free floating macrofita* dan *heterophylly (vegetative polymorphism)*.

Produktifitas primer pertama menurut Sze, 1986 (Asriyana & Yuliana, 2012), phytoplankton terdiri dari *Cyanobacteria, Chlorophyta, Xanthophyceae, Chrysophyceae, Diatom, Cryptophyceae, Euglenophyceae* dan *Phaeophyta*. Pada kelompok ini, banyak spesies tidak memiliki membran sel dan hanya diikat oleh membran sitoplasma, beberapa, memiliki permukaan sel yang ditutupi oleh lapisan silikat atau calcium yang tipis. Reproduksi aseksual yang umum dilakukan adalah dengan pembelahan sel secara longitudinal, khususnya pada spesies uniseluler yang motil. Meskipun jarang diamati, reproduksi seksual sering terjadi secara isogami. Alga *Chrysophyceae* merupakan komponen yang penting dari phytoplankton.

Menurut Nontji (2008), secara fungsional plankton dapat digolongkan menjadi empat golongan utama yaitu phytoplankton, zooplankton, bakteri oplankton dan virioplankton.

Phytoplankton disebut juga plankton nabati yaitu tumbuhan yang melayang atau mengapung dalam laut. Ukurannya berkisar 2-200  $\mu\text{m}$  dan berupa individu bersel tunggal, tetapi ada juga yang membentuk rantai. Phytoplankton mengandung klorofil dan mempunyai kemampuan berfotosintesis yakni menyerap energy surya untuk mengubah bahan *inorganic* menjadi bahan *organic*. Kelompok phytoplankton yang sangat

umum dijumpai di perairan tropis adalah diatom (*Bacillariophyceae*) dan *Dinoflagellata* (*Dynophyceae*).

Zooplankton disebut juga plankton hewani, adalah hewan yang hidupnya mengapung atau melayang dalam laut. Zooplankton bersifat heterotropik yaitu tidak dapat memproduksi sendiri bahan organik dari bahan inorganik dan berfungsi sebagai konsumen bahan organik. Ukuran zooplankton berkisar 0,2-2 mm. Kelompok yang paling umum ditemui antara lain *copepod*, *eufausid*, *midid*, *amfipod*, *kaetognat*.

Bakterioplankton adalah bakteri yang hidup sebagai plankton dan berperan penting dalam daur hara dalam ekosistem laut. Ukurannya sangat halus (umumnya  $< 1 \mu\text{m}$ ), tidak mempunyai inti sel dan umumnya tidak mempunyai klorofil yang dapat berfotosintesis. Fungsi utamanya dalam ekosistem laut adalah sebagai pengurai. Virioplankton adalah virus yang hidup sebagai plankton, ukurannya sangat kecil (kurang dari  $0,2 \mu\text{m}$ ) dan menjadikan biota lainnya (bakterioplankton dan phytoplankton) sebagai inang.

Dilihat dari ukurannya plankton dikelompokkan menjadi tujuh kelompok yaitu megaplankton, makroplankton, mesoplankton, mikroplankton, nanoplankton, pikoplankton dan femtoplankton (Sieburth *et al.*, 1978; Nontji, 2008).

Megaplankton (berukuran 20-200 cm) adalah plankton yang berukuran terbesar, contohnya ubur-ubur. Makroplankton berukuran 2-20 cm, contohnya *eufausid*, *sergestid*, *pteropod* dan larva ikan. Mesoplankton

berukuran 0,2-20 mm, contoh kelompok ini seperti copepod, amfipod, ostrakod, kaetognat. Mikroplankton berukuran 20-200  $\mu\text{m}$ , adalah yang paling umum ditemukan, termasuk dalam golongan ini diatom dan dinoflagellata. Nanoplankton berukuran 2-20  $\mu\text{m}$ , merupakan plankton yang terlalu kecil untuk dapat ditangkap dengan jaring plankton, contohnya *kokolitoforid* dan berbagai mikroflagelat. Pikoplankton berukuran 0,2-2  $\mu\text{m}$ , contohnya bakteri, termasuk sianobakteri yang tidak membentuk filament seperti *Synechococcus*. Femtoplankton berukuran lebih kecil dari 0,2  $\mu\text{m}$ , termasuk dalam golongan ini adalah virus laut yang disebut sebagai virioplankton.

Berdasarkan daur hidupnya plankton dapat digolongkan menjadi holoplankton, meroplankton dan tikoplankton. Holoplankton merupakan plankton yang seluruh daur hidupnya dijalani sebagai plankton, mulai dari telur, larva hingga dewasa, contohnya *copepod*, *amfipod*, *salpa*, *kaetognat*. Meroplankton merupakan biota yang pada tahap awal saja menjalani daur hidup sebagai plankton, sedangkan pada tahap dewasa berubah menjadi nekton yaitu hewan yang dapat aktif berenang sebagai bentos yang hidup menetap di dasar laut. Tikoplankton merupakan biota yang terangkat lepas dari dasar dan mengembara sebagai plankton, misalnya amfipod, kumasea dan isopod yang terlepas dari dasar laut.

Penggolongan berdasarkan sebaran horizontal, sebaran plankton dibagi dua yaitu plankton neritik dan plankton oseanik. Plankton neritik yaitu plankton yang terdapat di perairan pantai dengan salinitas yang relatif

rendah yaitu sekitar 5-10 PSU (*Practical Salinity Unit*), misalnya *Labidocera*, sedangkan di teluk Jakarta sering dijumpai *Noctiluca scintillans*. Planton oseanik adalah plankton yang terdapat pada perairan lepas pantai dengan salinitas yang tinggi.

Sedangkan penggolongan plankton berdasarkan sebaran vertikal, dibagi menjadi tiga yaitu epiplankton, mesoplankton dan hipoplankton. Epiplankton adalah plankton yang hidup di lapisan permukaan sampai kedalaman sekitar 100 m, menurut sebarannya dibagi dua yaitu neuston (hidup pada lapisan tipis yang berbatasan dengan udara) misalnya *Trichodesmium*, dan *hiponeuston* (hidup pada kedalaman sekitar 0-10 cm). Mesoplankton merupakan plankton yang hidup pada lapisan tengah dengan kedalaman sekitar 100-400 m, umumnya didominasi oleh zooplankton, misalnya copepod *Eucheuta marina*, *eufausid* seperti *Thysanopoda*, *Euphausia*, *Thysanoessa*, *Mematoscelis*. Hipoplankton adalah plankton yang hidup pada kedalaman lebih dari 400 m, misalnya batiplankton yang hidup pada kedalaman lebih dari 600 m dan abisoplankton yang hidup pada lapisan paling dalam, 3000-4000 m.

## 2. Diatom

Diatom merupakan tumbuhan mikroskopis yang tergolong dalam divisi *Chromophyta* dengan kelas *Bacillariophyceae*, dimana dinding sel dilapisi silikat ( $\text{SiO}_2$ ) dengan bahan organik, sebagai produsen primer dan mampu melakukan proses fotosintesis, karena diatom mengandung

kloroplas yang tersusun dari *lamella* dengan 3 *thylakoids*, *girdle lamella* dan 4 membran yang mengelilingi kloroplas (Widianingsih dkk., 2009).

Berdasarkan sumber asalnya, diatom dapat dikelompokkan dalam diatom asli perairan (*Autochthonous*) dan diatom yang berasal dari luar perairan (*Allochthonous*), sedangkan diatom terbagi atas dua ordo yaitu *centrales* (*centric diatom*) dan *pennales* (*pennate diatom*). Diatom sentrik selnya berbentuk simetri radial atau konsentrik dengan satu titik pusat. Selnya bisa berbentuk bulat, lonjong, silindris dengan penampang bulat, segitiga atau segiempat. Sedangkan diatom penat mempunyai simetri bilateral, umumnya memanjang atau *sigmoid* seperti huruf s. Sepanjang median sel diatom penat ada jalur tengah yang disebut *rafe*.

Diatom sentrik terbagi atas tiga sub ordo yaitu *Coscinodiscineae*, *Rhizosoleniineae* dan *Biddulphiineae*. Sub ordo *Coscinodiscineae* terdiri dari tujuh *family* yaitu *Thalassiosiraceae* (genusnya meliputi *Bacteriosira*, *Cyclotella*, *Thalassiosira*, *Planktoninella* dan *Skeletonema*), *Melosiraceae* (genusnya *Stephanopyxis* dan *Melosira*), *Leptocylindraceae* (*Leptocylindrus* dan *Corethron*), *Coscinodiscaceae* (*Coscinodiscus*, *Ethmodiscus* dan *Palmeria*), *Stellarimaceae* (*Stellarima* dan *Gossleriella*), *Hemidiscaceae* (*Actinocyclus* dan *Hemidiscus*) dan *Rhizosoleniineae* (*Asterolampra* dan *Astreompahlus*).

Sub ordo *Rhizosoleniineae*, katupnya berbentuk unipolar dan terdapat hanya satu famili yaitu *Rhizosoleniaceae* (genusnya *Rhizosolenia*). Sub ordo *Biddulphiineae* memiliki katup dengan 2 kutub (bipolar) dan tidak

terdapat tonjolan pada pinggir lingkaran katup dengan tiga famili yaitu *Hemiaulaceae* (genusnya *Cerataulina*, *Climacodium* dan *Eucampia*), *Cymatosiraceae* (*Arcocellus* dan *Cymatosira*) dan *Chaetocerotaceae* (*Bacteriastrum* dan *Chaetoceros*).

Diatom penat terdiri dari dua sub ordo yaitu *Fragilariineae* dan *Bacillariineae*. Sub ordo *Fragilariineae* terdiri dari empat famili yaitu *Fragilariaceae* (genusnya *Asterionellopsis* dan *Fragilaria*), *Rhaphoneidaceae* (*Rhaphoneis*), *Toxariaceae* (*Toxarium*) dan *Thalassionemataceae* (*Thalassionema* dan *Thalassiothrix*). Sedangkan sub ordo *Bacillariineae* terdiri dari empat famili yaitu *Achnanthaceae* (genusnya *Achnanthes*), *Phaeodactylaceae* (*Phaedactylum*), *Naviculaceae* (*Naviculaceae*) dan *Bacillariaceae* (*Bacillaria* dan *Pseudonitzschia*).

Berdasarkan pola hidupnya, diatom dikelompokkan dalam 8 kelompok yaitu 1) *epiphytic* (diatom yang menempel pada tumbuhan lain) misalnya *Rhoicosphenia*, 2) *episammic* (diatom yang hidup dan tumbuh menempel pada substrak berpasir), 3) *epipellic* (diatom yang hidup dan tumbuh serta bergerak di permukaan dan lapisan atas permukaan substrata atau sedimen), 4) *endopelic* (diatom yang tumbuh dalam rongga tanah liat atau sedimen), 5) *epilithic* (diatom yang hidup dan tumbuh serta menempel pada permukaan batuan), 6) *endolithic* (diatom yang tumbuh dan hidup di dalam rongga batuan pada dasar perairan), 7) *epizoic* (diatom yang hidup dan tumbuh menempel di dalam hewan invertebrate pada umumnya di

dasar perairan) dan 8) *fouling* (diatom yang hidup dan tumbuh dengan menempel pada benda yang keras yang diletakkan pada dasar perairan).

Reproduksi diatom terbagi dua yaitu aseksual dan seksual, aseksual dengan pembelahan sel sederhana yaitu pembelahan protoplasma (bagian hidup dari diatom), satu sel anak baru mempertahankan tangkup yang besar (*epiteka*) sedangkan sel anak lainnya mempertahankan tangkup yang kecil (*hipoteka*) (Romimohtarto & Juwana, 2007).

### 3. Dinoflagellata

Dinoflagellata merupakan grup phytoplankton yang sangat umum ditemui di laut setelah diatom, masuk dalam kelas Dinophyceae, dengan kandungan pigmen dalam selnya sehingga warnanya coklat kekuningan, ciri lainnya yaitu adanya organ untuk bergerak yang disebut bulu cambuk. Berdasarkan kebiasaan hidupnya dinoflagellata dibagi menjadi dua kelompok yaitu *Desmokontae* dan *Dinokontae* (Nontji, 2008).

Dinoflagellata adalah alga uniselular dan umumnya bersifat motil. Sebagian besar mengembangkan dinding sel yang jelas terlihat (*Peridinales*, misalnya *Ceratium*, *Glenodinium*, *Peridium*) tetapi beberapa tidak memiliki dinding sel (misalnya *Gymnodinium* dari *Gymnodinales*). Reproduksi yang dominan adalah secara aseksual dengan cara pembentukan aplanospore, tetapi terjadi reproduksi seksual.

Distribusi *dinoflagellata* sebagian besar terbatas pada wilayah tertentu berkaitan dengan ketersediaan kalsium, pH, organik terlarut dan

suhu, tetapi beberapa memperlihatkan tingkat toleransi yang tinggi dan terdapat dalam jumlah besar seperti *Ceratium* dan *Peridium*.

Banyak *dinoflagellata* yang dapat membentuk kista, sebagian dapat membalut dirinya dengan lapisan bergelatin sebagai tahap istirahat. Kista ini sering mengendap di dasar laut, sampai tiba saatnya bila terdapat dukungan lingkungan maka dapat menjadi plankton, misalnya *Peridium trochoideum* dapat menjadi kista sampai sembilan bulan.

Salah satu dinoflagellata yang menyebabkan *blooming* di perairan yaitu *Pyrodium bahamense var. compressum*, yang sering dijumpai dalam bentuk kista dan dapat meledak sebagai plankton sehingga menimbulkan permasalahan bagi lingkungan.

Terdapat berbagai marga *dinoflagellata* yang sering dijumpai di perairan yaitu *Prorocentrum*, *Peridinium*, *Gymnodium*, *Noctiluca*, *Gonyaulax*, *Ceratium*, *Ceratocorys*, *Ornithocercus* dan *Amphisolenia*. *Noctiluca scintillans* merupakan *dinoflagellata* yang relatif besar (200-2000  $\mu\text{m}$ ), berbentuk seperti buah apel, pernah menimbulkan *blooming* di perairan Pasifik utara seperti Jepang, sedangkan di Indonesia biota ini menyebabkan perairan berwarna hijau pekat.

#### 4. Alga Penyebab *Blooming*

Di laut terdapat berbagai jenis phytoplankton yang dapat menyebabkan keracunan bagi organisme perairan, racun dari phytoplankton tersebut muncul sesudah kejadian yang disebut dengan *red tide*. Peristiwa tersebut muncul akibat adanya "*blooming algae*", dan alga

yang menyebabkannya disebut “*Harmful Algal Bloom (HAB)*”. Alga tersebut setelah diidentifikasi terdapat enam kelompok racun, yaitu PSP (*Paralytic Shellfish Poisoning*), DSP (*Diarrhetic Shellfish Poisoning*), CFP (*Ciguatera Fish Poisoning*), NSP (*Neurotoxic Shellfish Poisoning*), ASP (*Amenestic Shellfish Poisoning*) dan AZP (*Azapiracid Shellfish Poisoning*) (Asriyana & Yuliana, 2012).

Hasil penelitian Rengganis dkk. (2011) menyatakan pada pengamatan di muara Cisadane dan pulau Untung Jawa pada bulan Juni dan September 2011 ditemukan 4 genus penyebab HAB terdapat 4 genus yaitu *Ceratium*, *Pseudonitzschia*, *Dinophysis* dan *Chaetoceros*. Dari keempat genus tersebut, *Chaetoceros* mempunyai kepadatan tertinggi pada kisaran 253.503 sel/m<sup>3</sup>-1.343.524 sel/m<sup>3</sup>.

Beberapa spesies yang membahayakan biota laut, akibat terjadinya penurunan oksigen terlarut atau disebut spesies “*anoxius*”. *Trichadesmium erythraerum*, dari genus *Cyanobakterium* pernah mendominasi perairan di Teluk Kao tahun 1994. Dari genus *Dinoflagellata*, *Noctiluca scintillans* dapat mengubah warna perairan menjadi kehijauan. Pada perairan Indonesia juga terdapat phytoplankton dari genus *Dinoflagellata* beracun yaitu *Pyrodinium bahamense var compressum*, *Prorocentrum lima*, *Alexandrium* sp dan *Ostreopsis* sp (Wiadnyana, 1996).

Menurut Praseno dan Sugestiningih (2000) (Rompas, 2010), di Indonesia terdapat cukup banyak jenis phytoplankton yang dapat

menyebabkan HAB. Dari kelas *Cynophyceae* terdapat *Trichodesmium erythraeum* dan *Trichodesmium thiebautii*, pada kelas Bacillariophyceae terdapat tiga spesies yaitu *Chaetoceros socialis*, *Pseudonitzschia* dan *Thalassiosira mala*. Terdapat 24 spesies pada kelas Rapidophyceae meliputi *Alexxandrim affine*, *Alexxandrium cohorticula*, *Alexxandrium tamiyavanichi*, *Ceratium fusus*, *Ceratium tripos*, *Dinophysis acuminata*, *Dinophysis acuta*, *Dinophysis cuadata*, *Dinophysis miles*, *Dinophysis caudate*, *Dinophysis miles*, *Dinophysis rotundata*, *Gambrierdiscus toxicus*, *Gonyaulax diegensis*, *Gonyaulax polyedra*, *Gonyaulax polygramma*, *Gonyaulax spinifera*, *Gymnodinium pulchellum*, *Noctiluca scintillas*, *Osteoropsis ovate*, *Osteoropsis lenticularis*, *Prorocentrum lenticularis* dan *Prorocentrum emarginatum*.

## I. Saprobitas

Saprobitas perairan adalah keadaan kualitas air yang diakibatkan adanya penambahan bahan organik dalam perairan dengan indikator jumlah dan susunan spesies dari organisme (Basmi, 1997).

Berdasarkan organisme penyusunnya, tingkat saprobitas dapat dibagi menjadi empat kelompok seperti pada Tabel 2.2. (Liebmann, 1962 & Basmi, 2000).

Tabel 2.2. Organisme Penyusun Kelompok Saprobitas

Kelompok Saprobitas	Organisme Penyusun	
Kelompok Polisaprobik (A)	1. <i>Zoogla ramigera</i>	17. <i>Enchelys caudate</i>
	2. <i>Sarcina paludosa</i>	18. <i>Glaucoma scintilans</i>
	3. <i>Beggiota alba</i>	19. <i>Trimyema compressa</i>
	4. <i>Streptococcus margaritius</i>	20. <i>Metopus sp.</i>
	5. <i>Sphaerotilus oxaliferum</i>	21. <i>Saprodenium dentatum</i>

	6. <i>Chlorobacterium agregatum</i>	22. <i>Vorticella microstoma</i>
	7. <i>Ascilatoria putrida</i>	23. <i>Rotary neptunia</i>
	8. <i>Spirullina jenneri</i>	24. <i>Larva of eriscalis</i>
	9. <i>Chromatum okenii</i>	25. <i>Colpidium colpoda</i>
	10. <i>Trigomonas compressa</i>	26. <i>Lamprocystis rose p.</i>
	11. <i>Bodoputrisnus sp.</i>	27. <i>Bidullphia sp.</i>
	12. <i>Tubifex rivulorum</i>	28. <i>Clamydomonas sp.</i>
	13. <i>Hexotrica caudate</i>	29. <i>Pelomixa palustris</i>
	14. <i>Archomatium oxaliferum</i>	30. <i>Chiromonas thummi</i>
	15. <i>Tetramitus pyriformis</i>	31. <i>Caenomopha medusula</i>
	16. <i>Euglena viridis</i>	
Kelompok $\alpha$ - Mesosaprobik (B)	1. <i>Lenamitus lacteus</i>	12. <i>Closterium uncinata</i>
	2. <i>Oscillatoria formosa</i>	13. <i>Closterium acresum</i>
	3. <i>Nitzschia palaea</i>	14. <i>Anthophsa vegetans</i>
	4. <i>Chilomonas paramecium</i>	15. <i>Vorticella convalararis</i>
	5. <i>Hantzchia amphioxys</i>	16. <i>Stratomis chamaelon</i>
	6. <i>Stephanodiscus sp.</i>	17. <i>Herpobdella atomaria</i>
	7. <i>Stentor coeruleus</i>	18. <i>Coelastrum sp.</i>
	8. <i>Spirostomum ambigum</i>	19. <i>Chaetoceros sp.</i>
	9. <i>Spharium cornium</i>	20. <i>Rhizosolenia sp.</i>
	10. <i>Uronema marinum</i>	21. <i>Navicula sp.</i>
	11. <i>Chilodenella uncinata</i>	22. <i>Eudorina sp.</i>
Kelompok $\beta$ - Mesosaprobik (C)	1. <i>Asterionella formosa</i>	13. <i>Polycelis cornuta</i>
	2. <i>Oscillatoria rubescens</i>	14. <i>Uroglena volvox</i>
	3. <i>Oscillatoria redeksii</i>	15. <i>Stylaria lacustris</i>
	4. <i>Melosira varians</i>	16. <i>Hydropsyche lepida</i>
	5. <i>Colleps hirtus</i>	17. <i>Cloendipterum larva</i>
	6. <i>Scenedesmus caudricaudata</i>	18. <i>Branchionus ureus</i>
	7. <i>Aspesdisca lynceus</i>	19. <i>Actyosphaerium eichhornii</i>
	8. <i>Synura uvella</i>	20. <i>Nauplius sp.</i>
	9. <i>Tabellaria fenestrata</i>	21. <i>Anabaena sp.</i>
	10. <i>Paramecium bursaria</i>	22. <i>Hidrocillus sp.</i>
	11. <i>Cladophora erispate</i>	23. <i>Ceratium sp.</i>
	12. <i>Spyrogira crassa</i>	
Kelompok Oligosaprobik (D)	1. <i>Cyclotella bodanica</i>	11. <i>Clodophora glomera</i>
	2. <i>Synedra acus var.</i>	12. <i>Eastrum oblongum</i>
	3. <i>Holteria cirrivera</i>	13. <i>Fontilus antipyrotica</i>
	4. <i>Holopedium gebberum</i>	14. <i>Planaria gonochepala</i>
	5. <i>Tabellaria flocculosa</i>	15. <i>Larva of oligoneura</i>

- |                                  |                                      |
|----------------------------------|--------------------------------------|
| 6. <i>Bibochaesta mirabilis</i>  | 16. <i>Larva of perla bipunctata</i> |
| 7. <i>Strombidinopsis sp.</i>    | 17. <i>Notholca longispina</i>       |
| 8. <i>Staurastrum puntulatum</i> | 18. <i>Skeletonema sp.</i>           |
| 9. <i>Ulotrix zonata</i>         | 19. <i>Pinnularia sp.</i>            |
| 10. <i>Vorticella nebulivera</i> |                                      |

---

(Liebmann, 1962 & Basmi, 2000)

Saprobik Indeks (SI) merefleksikan tingkat pencemaran air laut yang diindikasikan oleh organisme mikroskopik seperti plankton (Anggoro, 1983). Total Saprobik Indeks (TSI) adalah analisis yang berdasarkan evaluasi terhadap parameter air laut yang berdampak pada produktivitas. Kelimpahan plankton berdasarkan kelompok saprobik diperlihatkan pada Tabel 2.3.

Tabel 2.3. Nilai SI dan TSI dan Indikasinya di Perairan

Nilai SI dan TSI	Saprobik	Indikasi
-3 s/d -2	Polisaprobik	Pencemaran berat
-2 s/d 0,5	$\alpha$ -Mesosaprobik	Pencemaran sedang sampai berat
0,5 s/d 1,5	$\beta$ -Mesosaprobik	Pencemaran ringan sampai sedang
1,5 s/d 2,0	Oligosaprobik	Pencemaran ringan atau belum tercemar

Lee *et al.* (1978) dan Knobs (1978) dalam Anggoro (1983)

Sistem saprobitas menggunakan dua pendekatan yaitu pendekatan kualitatif dan kuantitatif (Fachrul, 2007). Pada pendekatan kualitatif dilakukan dengan hanya melihat kelompok organisme sedangkan pada pendekatan kuantitatif dapat menggunakan koefisien saprobik (X) sebagai berikut.

$$X = \frac{C+3D-B-3A}{A+B+C+D} \dots\dots\dots\text{Dresscher dan van der Mark dalam Fachrul}$$

(2007)

dimana,

X = koefisien saprobik (-3 sampai dengan 3)

A = kelompok organisme Ciliata

B = kelompok organisme Euglena

C = kelompok organisme Chloroccales dan Diatomae

D = kelompok organisme Peridinae, Chrysophyceae dan Conjugaceae

A, B, C dan D = jumlah organisme yang berbeda di dalam masing-masing kelompok

Berdasarkan nilai koefisien saprobik, pencemaran perairan diklasifikasikan dalam lima tingkatan (Tabel 2.4.)

Tabel 2.4. Hubungan Antara Koefisien Saprobik (X) dengan Tingkat Pencemaran Perairan

Bahan Pencemar	Tingkat Pencemaran	Fase Saprobik	Koefisien Saprobik
Bahan organik	Sangat berat	Polisaprobik	-3 s/d -2
		Poli/ $\alpha$ mesosaprobik	-2 s/d -1,5
	Cukup berat	$\alpha$ meso/polisaprobik	-1,5 s/d -1
		$\alpha$ mesosaprobik	1- s/d -0,5
Bahan organik dan anorganik	Sedang	$\alpha/\beta$ mesosaprobik	-0,5 s/d 0
		$\beta/\alpha$ mesosaprobik	0 s/d -0,5
	Ringan	$\beta$ mesosaprobik	0,5 s/d 1
		$\beta$ meso/oligosaprobik	1,0 s/d 1,5


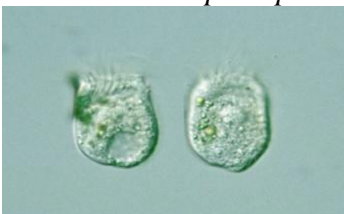
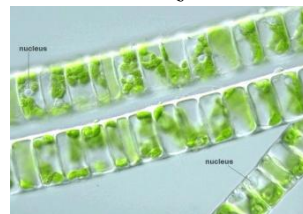

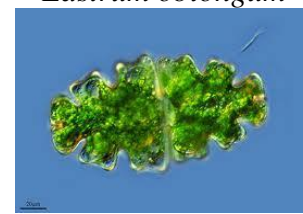


Bahan organik dan anorganik

Sangat ringan

Oilgo/ $\beta$  mesosaprobik  
Oligosaprobik

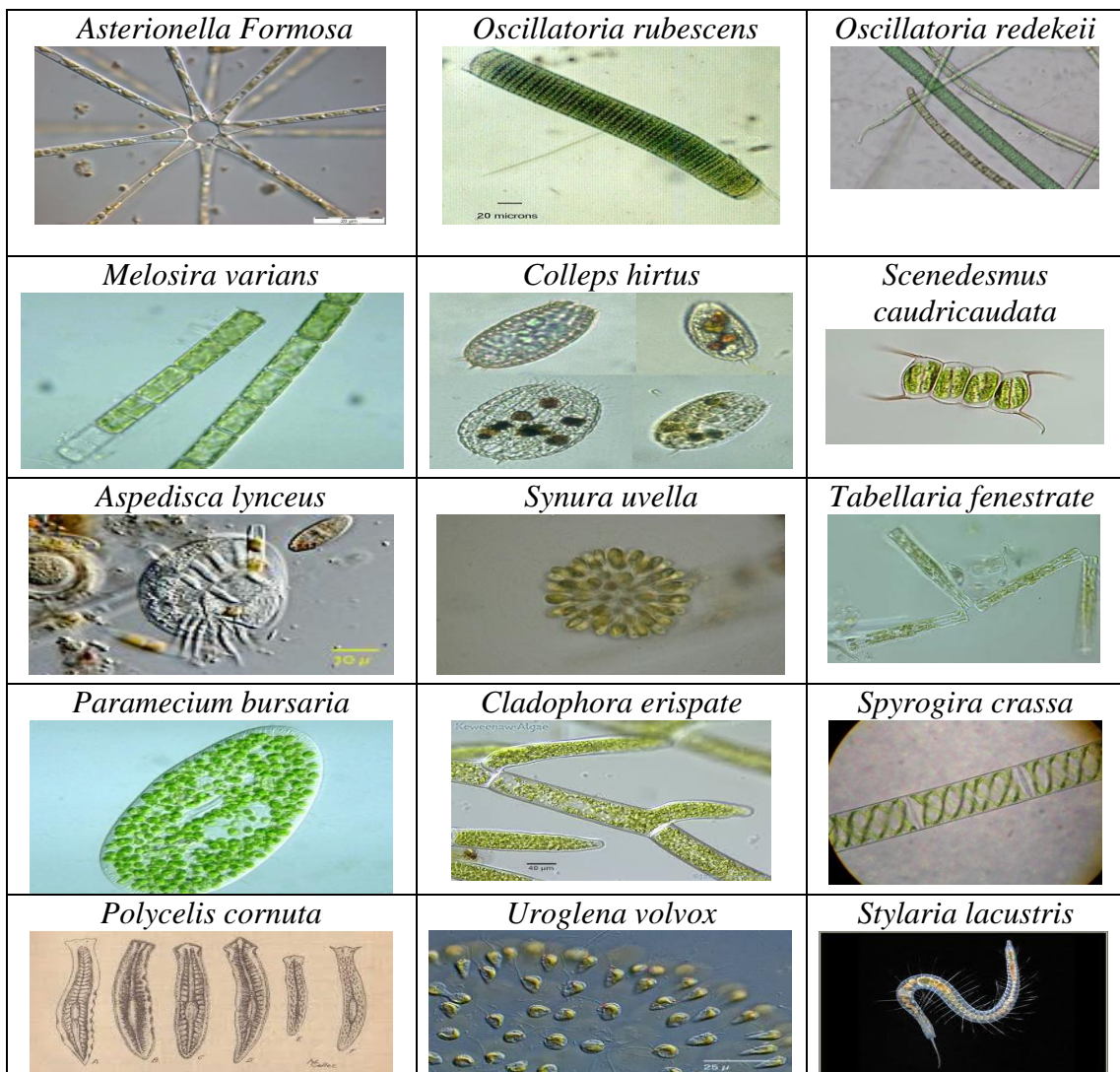
1,5 s/d 2  
2,0 s/d 3,0

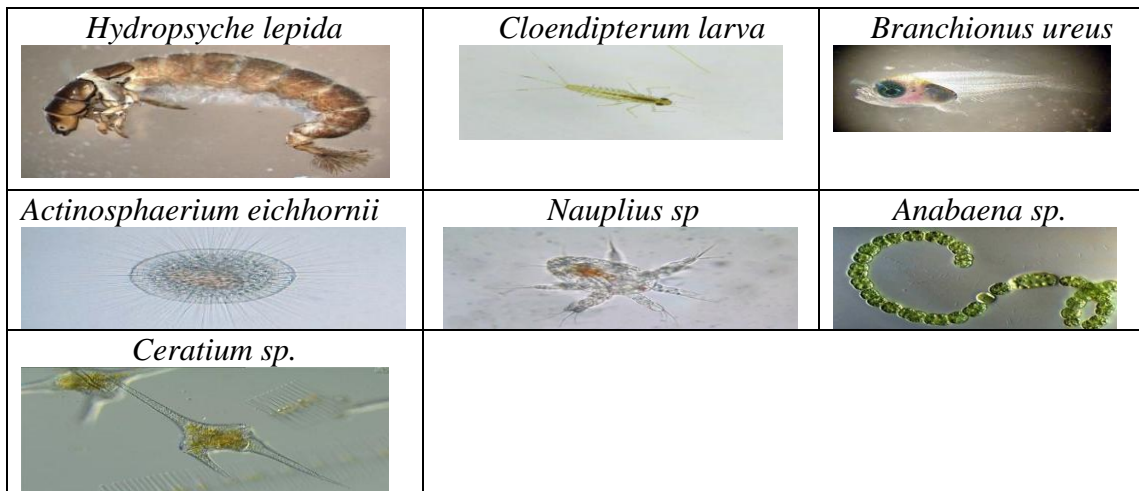
Sumber : Fachrul, 2007

<p><i>Cyclotella bodanica</i></p> 	<p><i>Synedra acus var.</i></p> 	<p><i>Holteria cirriversa</i></p> 
<p><i>Holopedium gibberum</i></p> 	<p><i>Tabellaria flocculosa</i></p> 	<p><i>Bibochaeta mirabilis</i></p> 
<p><i>Strombidinopsis sp.</i></p> 	<p><i>Staurastrum puntulatum</i></p> 	<p><i>Ulotrix zonata</i></p> 
<p><i>Vorticella nebulivera</i></p> 	<p><i>Cladophora glomerata</i></p> 	<p><i>Eastrum oblongum</i></p> 
<p><i>Fontilus antifytotica</i></p> 	<p><i>Planaria gonocephala</i></p> 	<p>Larva of oligoneura</p> 

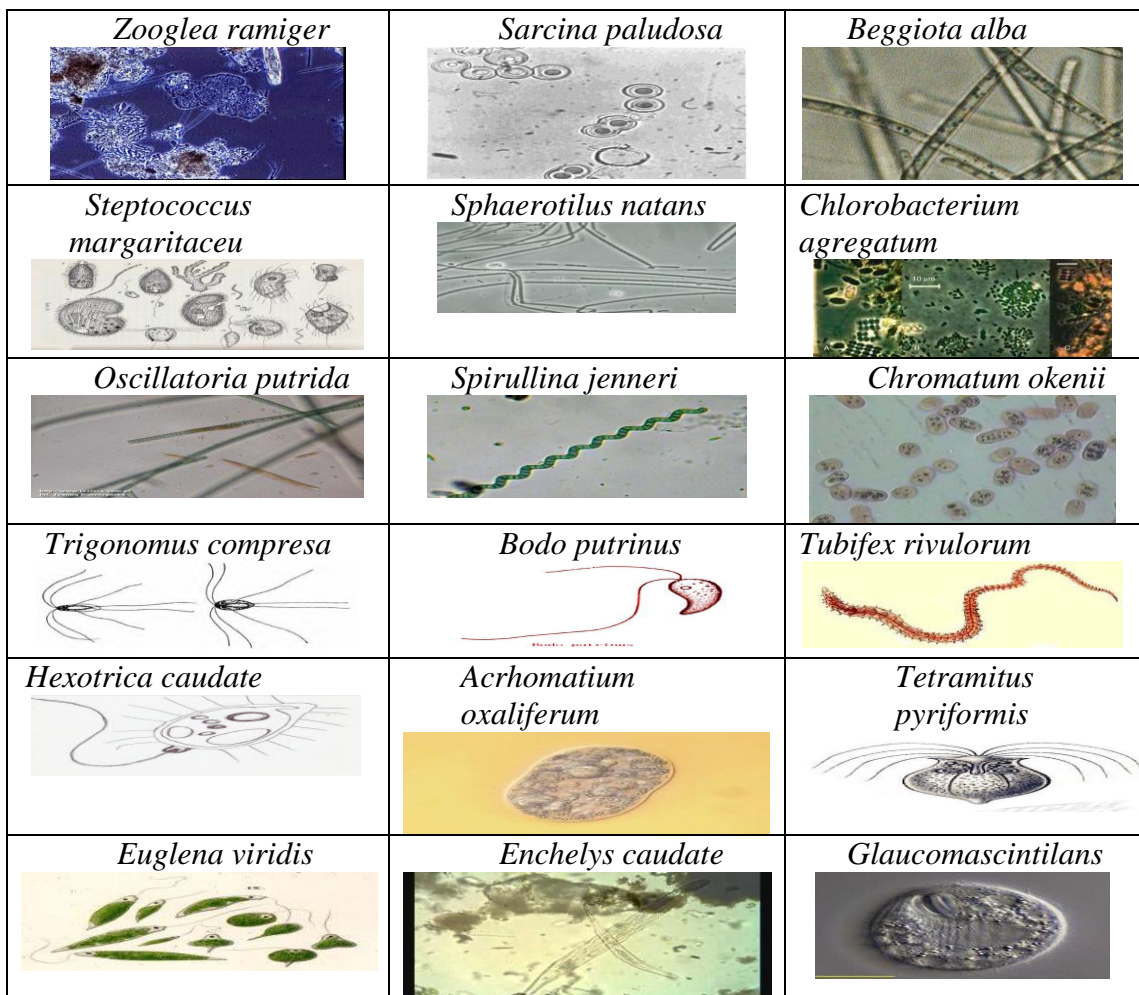


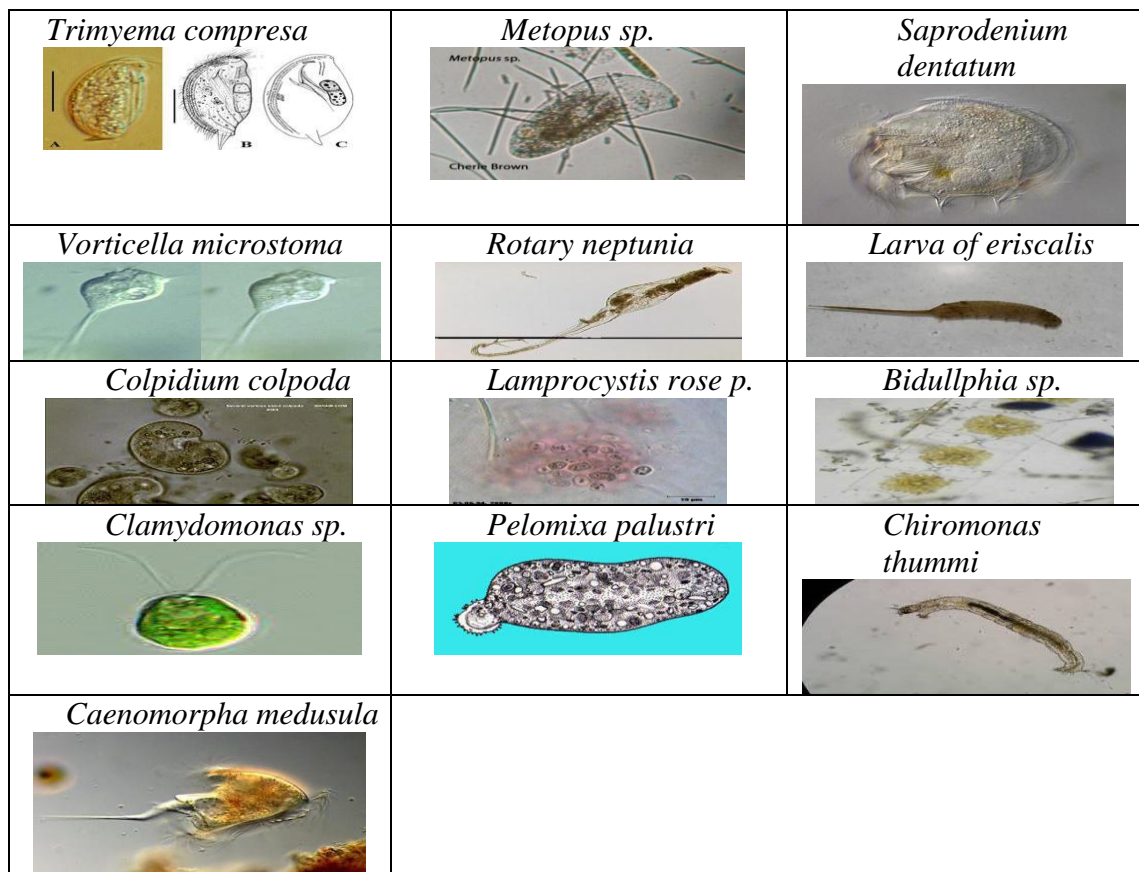
Gambar 2.16. Organisme penyusun saprobitas Oligosaprobik, terpolusi ringan (Liebmann,1962)





Gambar 2.17. Organisme penyusun saprobitas  $\beta$ -Mesosaprobik (C), terpolusi sedang (Liebmann,1962)





Gambar 2.18. Organisme penyusun Saprobitas Polisaprobik (A), terpolusi berat (Liebmann,1962)

## J. Analisis SWOT

Analisis SWOT (*Strenghts, Weaknesses, Opportunity, Threats*) merupakan analisis dengan didasarkan pada logika untuk dapat memaksimalkan kekuatan (*strenghts*) dan peluang (*opportunity*), namun dapat meminimalkan ancaman (*threats*) dan kelemahan (*weaknesses*) (Rangkuti, 2006).

Pembuatan analisis SWOT dengan membuat kuadran I sampai dengan IV, dimana pada kuadran I berisi peluang dan kekuatan organisasi yang dapat dimanfaatkan yaitu mendukung kebijakan pertumbuhan yang agresif. Kuadran II berisi kekuatan dari segi internal dan strategi yang harus diterapkan untuk memanfaatkan peluang yang ada. Kuadran III berisi

kendala/kelemahan internal sehingga bagaimana sebuah organisasi meminimalkan masalah internal organisasi. Sedangkan kuadran IV berisi situasi yang sangat tidak menguntungkan sehingga terdapat ancaman dan kelemahan internal.

Tahapan penyusunan perencanaan strategis ini meliputi tahap pengumpulan data, tahap analisis dan pengambilan keputusan. Tahap pertama adalah tahap pengumpulan data yang dilakukan dengan pembuatan matrik strategi eksternal yang meliputi penyusunan kolom, pemberian bobot, penghitungan rating, perkalian bobot dan penjumlahan skor. Selanjutnya pembuatan faktor strategis internal organisasi untuk merumuskan *strength* dan *weakness* organisasi yang meliputi penentuan faktor kekuatan pada kolom 1, pemberian bobot pada faktor tersebut, penghitungan rating, perkalian bobot dan penjumlahan skor pembobotan. Kemudian disusun matrik profil kompetitif yang dipergunakan untuk mengetahui posisi relatif organisasi yang dianalisis dibandingkan dengan organisasi lainnya.

Tahap kedua adalah tahap analisis dimana pada tahap ini dilakukan penyusunan matrik SWOT yang menggambarkan peluang dan ancaman eksternal yang dihadapi disesuaikan dengan kekuatan dan kelemahan yang dimiliki. Pada matrik ini menghasilkan empat set kemungkinan strategis yaitu strategi SO, ST, WO dan strategi WT. Sedangkan tahap ketiga yaitu tahap pengambilan keputusan melalui pembuatan matrik perencanaan strategis kuantitatif.

## K. Coastal Sediment Cell Teluk Semarang

Menurut Suripin (2014), pengelolaan wilayah pantai pada dasarnya merupakan bagian pengelolaan wilayah sungai dengan permasalahan yang ada seperti erosi dan abrasi pantai, kerusakan mangrove, pencemaran pantai, penurunan muka tanah, banjir dan rob.

*Coastal cell* Teluk Semarang membentang dari delta Bodri di Kabupaten Kendal sampai Delta Wulan di Kabupaten Demak. Permasalahan utama teluk Semarang erosi pantai dan banjir rob. Menurut Suripin, permasalahan tersebut harus diselesaikan secara integral dari hulu ke hilir, yaitu dengan pembuatan sabuk pantai dengan tidak mengabaikan infrastruktur yang sudah ada seperti pelabuhan, fasilitas nelayan. Penanganan badan sungai dilakukan dengan restorasi, kawasan hulu dilakukan pengendalian debit air dengan konversasi sumberdaya air di kawasan tersebut. Fasilitas resapan atau penampungan dapat dibangun untuk meminimalisir banjir.



Gambar 2.19. Coastal Cell Teluk Semarang (Suripin, 2014)

Menurut Khakim dalam Saputro (2010), pantai utara Jawa Tengah terdiri dari lima sel sedimen yaitu antara muara sungai Comal Pemalang sampai muara sungai Bodri Kendal, antara muara sungai Bodri Kendal sampai Banjir Kanal Timur Semarang, antara Banjir Kanal Timur Semarang sampai muara sungai Wulan Demak, antara muara sungai Wulan Demak sampai Teluk Awur Jepara dan antara Tanjung Bugel Pati sampai pantai Lasem Rembang.

Sedangkan Kota Semarang terdiri dari tiga sub sel sedimen yaitu antara muara sungai Bendo dan Plumbon sampai muara sungai Siangker, antara muara sungai Siangker sampai muara sungai Banjir Kanal Timur dan antara Banjir Kanal Timur sampai muara sungai Babon.

#### **L. Pengelolaan Air *Ballast* Kapal Niaga**

Pemerintah Indonesia telah meratifikasi Konvensi *Ballast Water* pada sidang Majelis Internasional IMO ke-29 di London. Ratifikasi tersebut menunjukkan komitmen Indonesia untuk melakukan perlindungan lingkungan laut. Menurut Ignasius Jonan (Menteri Perhubungan) saat ini terdapat 45 negara yang telah menandatangani Konvensi BWM (*Ballast Water Management*) (Antara News, 26 November 2015).

Pemerintah negara yang telah menandatangani Konvensi BWM tersebut harus menyiapkan sertifikasi, survei, pemeriksaan bagi kapal bendera negara tersebut. Sertifikasi yang diminta yaitu *Ballast Water Management System Certificate* sedangkan di kapal terdapat *log* yaitu *Ballast Water Record Book*.

Pemerintah Indonesia harus memastikan bahwa kapal yang mengibarkan bendera otoristany harus dilakukan survei atau disertifikasi terlebih dahulu sebelum diberikan sertifikat BWM (Pasal 7, BWM). Pemerintah Indonesia juga harus mengendalikan perpindahan organismen air yang berbahaya dan pathogen melalui air *ballast* kapal dan sedimen dan menyediakan fasilitas resepsi sedimen di dalam pelabuhan dan terminal dimana terdapat pembersihan dan atau perbaikan tangki *ballast*, tersedianya cukup fasilitas untuk resepsi sedimen (Pasal 4 dan 5, IMO BWM).

Kapal dengan berat lebih dari atau sama dengan 400 GRT harus mengikuti survei yaitu survei awal sebelum kapal melakukan dok atau sebelum sertifikasi, survei pembaharuan secara interval dalam waktu tidak melebihi lima tahun, survei *intermediate* yaitu tiga bulan sebelum atau setelah tanggal ulang tahun Sertifikat yang kedua atau dalam tiga bulan sebelum atau setelah tanggal ulang tahun Sertifikat yang ketiga, survei tahunan dalam tiga bulan atau setelah tanggal ulang tahun Sertifikat dan survei tambahan yang harus dilakukan setelah terjadi perubahan, penggantian atau perbaikan struktur, peralatan, sistem, perabot, pengaturan dan material penting untuk memenuhi Konvensi (seksi E, IMO BWM).

Sebuah kapal yang telah memenuhi aturan sertifikasi tersebut harus dapat dilakukan pemeriksaan oleh petugas yang berwenang untuk pemeriksaan verifikasi keabsyahan sertifikat BWM tersebut, pemeriksaan *Ballast Water Record Book*, pengambilan sampel air *ballast*. Bila kapal tersebut tidak membawa Sertifikat BWM yang syah atau awak kapal tidak

terbiasa dengan prosedur tentang BWM maka otoritas yang berwenang dapat melakukan pemeriksaan dengan lebih terperinci (Pasal 9, BWM).

Tabel 2.5. Jadwal standar D1 dan D2 untuk kapal Konvensi

Tahun Kapal dibuat	Kapasitas Air Ballast (m <sup>3</sup> )	Fase standar D1 dan D2 dari Konvensi Manajemen Air								
		<i>Ballast</i>								
		2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	
<2009	1.500-5.000	D1 atau D2					D2			
< 2009	< 1.500 sampai 1.500	D1 atau D2							D2	
2009	< 5.000	D1 atau D 2	D 2							
			D 2							
2010	< 5.000	D 2								
2009	>5.000	D1 atau D 2							D2	
< 2012										
2012	>5.000	D 2								

(Water Science & Technology Board, 2011)

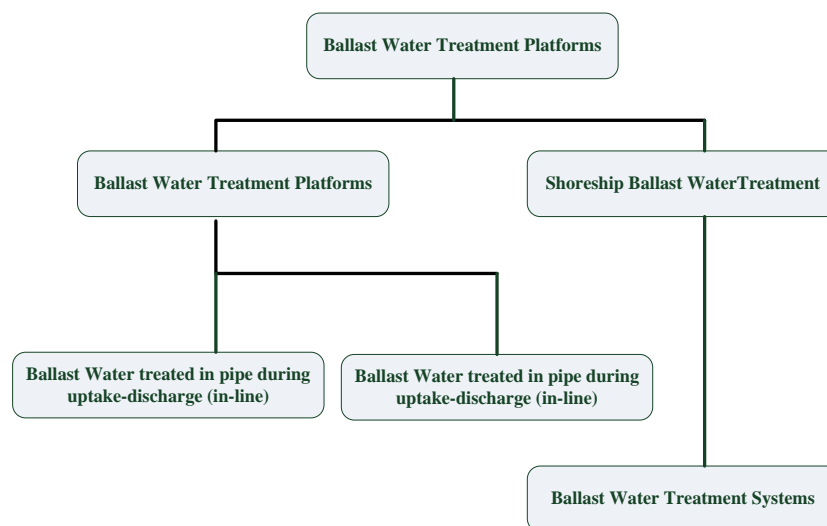
Tabel 2.5. di atas menjelaskan bahwa kapal terdiri dari dua yaitu kapal baru dan kapal lama. Kapal baru yaitu kapal yang dibangun setelah tahun 2009 dan kapal lama yaitu kapal yang dibangun sebelum tahun 2009.

Terdapat tiga standar pengelolaan manajemen air *ballast* kapal niaga yaitu standar D-1, D-2 dan D-3 (seksi D, IMO BWM). Standar D 1 yaitu kapal melakukan pertukaran air *ballast* pada jarak 200 mil sebelum masuk ke pelabuhan terdekat atau dengan kedalaman 200 mil sebelum memasuki pelabuhan terdekat. Kapal yang melakukan standar ini harus melakukan pertukaran sedikitnya 95% dari setiap tangki *ballast*nya. Terdapat tiga metode pertukaran air *ballast* yaitu metode *sequential*, *dillution* dan *flow through*.

Standar kinerja D-2 yaitu standar kinerja dimana kapal harus mengeluarkan kurang dari 10 organisme sehat setiap m<sup>3</sup> dengan ukuran lebih dari atau sama dengan 50 µm dan kurang dari 10 organisme sehat setiap mL dengan ukuran kurang dari 50 µm dalam dimensi minimum dan lebih besar dari atau sepadan dengan 10 µm dalam dimensi minimum. Mikroba indikator sebagai standar kesehatan manusia yang terdapat dalam air *ballast* yang dikeluarkan oleh kapal niaga harus memenuhi persyaratan yaitu *Vibrio cholerae* toksik (O1 dan O139) kurang dari 1 koloni setiap 100 mL atau kurang dari 1 koloni setiap 1 gram sampel zooplankton, *Escherichia coli* kurang dari 250 koloni setiap 100 mL dan *Intestinal Enterococci* kurang dari 100 koloni setiap 100 mL.

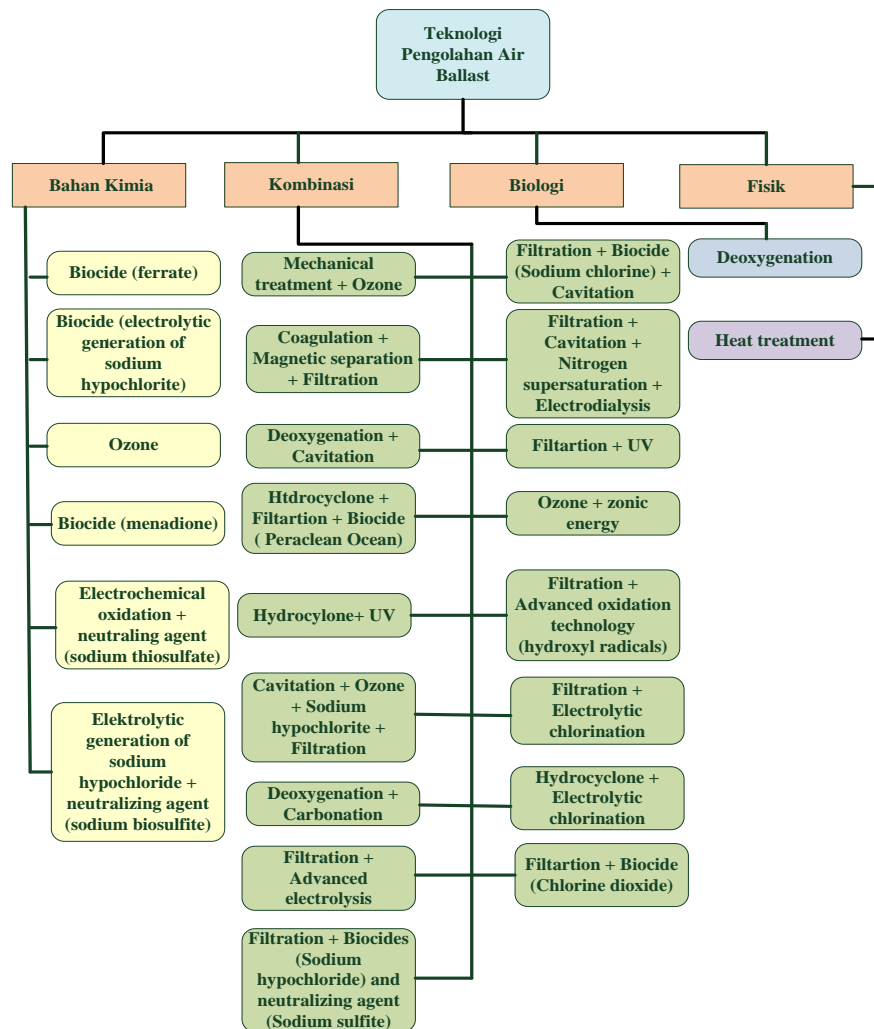
Standar D-3 berisi penggunaan unsur aktif harus terlebih dahulu mendapat persetujuan IMO dan peralatan yang terdapat di kapal niaga harus aman bagi awak kapal (seksi D, IMO BWM).

Untuk kapal yang dibangun sebelum 2009 dengan kapasitas air *ballast* antara 1.500 sampai dengan 5.000 m<sup>3</sup>, harus melakukan manajemen air *ballast* sesuai dengan regulasi D 1 atau D 2 sampai dengan 2014, dan pada tahun 2016 ini harus memenuhi standar regulasi D 2. Kapasitas air *ballast* kurang dari 1.500 atau lebih besar dari 5.000 m<sup>3</sup> harus melakukan standar regulasi D 2 sampai 2016, setelah tahun 2016 harus sedikitnya memenuhi standar yang ditetapkan regulasi D 2 (Regulasi B-3, BWM 2004 IMO).



Gambar 2.20. Jenis teknologi pengolahan air ballast kapal niaga (Waterboard, 2005)

Pengembangan pengolahan air *ballast* terdiri dari 2 jenis yaitu pengolahan di kapal dan pengolahan di darat . Pengolahan di kapal melalui teknologi yang terintegrasi ke sistem *ballast*. Air *ballast* dapat diolah pada pipa keluaran atau pada tangki *ballast* selama pelayaran (Waterboard 2005; Abu-Khader *et al.* 2011). Pengolahan di darat seperti tercantum pada panduan BWM bahwa negara yang menandatangani Konvensi harus menyediakan fasilitas resepsi sedimen dan pengolahan air *ballast* di pelabuhan/terminal.



Gambar 2.21. Teknologi pengolahan air *ballast* kapal niaga (Abu-Khader *et al.* 2011)

Pengembangan pengolahan air *ballast* terdiri dari lima macam kategori yaitu mekanis, kimia, fisika, biologi dan kombinasi (Gambar 2.19). Terdapat 25 teknologi pengolahan air *ballast* yang berbeda, dimana 17 darinya menggunakan bahan kimia dengan pengolahan dan diklasifikasikan sebagai berikut yaitu a) 6 teknologi menggunakan klorin atau pembangkitan elektrolitik dari sodium hipoklorid, b) menggunakan klorin dioksida untuk mengolah air *ballast*, c) empat sistem menggunakan ozon, d) menggunakan ozon dan elektrolitik klorinasi, e) menggunakan *ferrate*, f) menggunakan

campuran asam perasetik, hidrogen peroksida dan asam asetat (Peraclean Ocean) dan g) tiga menggunakan oksidasi lanjut atau proses elektrolitik termasuk bromin, klorin, dan/atau radikal hidroksil (Abu-Khader *et al.* 2011).



**BAB III**  
**KERANGKA TEORI, KERANGKA KONSEP**  
**DAN HIPOTESIS**

**A. KERANGKA TEORI**

Peningkatan perdagangan menimbulkan konsekuensi peningkatan kedatangan kapal niaga, karena 80% komoditas yang diangkut mempergunakan moda transportasi laut. Kapal niaga yang datang dari wilayah *bioregion* yang berbeda membawa air *ballast* untuk pengaturan stabilitas, *trim*, *stress* dan menjaga keselamatan kapalnya. Dalam proses memuat di wilayah perairan pelabuhan yang dimasukinya terdapat prosedur *deballasting* yaitu pembuangan air *ballast*.

Air *ballast* yang dikeluarkan dari tangki *ballast* yang dihisap oleh pompa *Ballast* membawa organisme, mikroorganisme, sedimen, kista dan logam berat yang dapat membahayakan kelangsungan hidup bagi organisme dan makhluk hidup di wilayah pelabuhan dan perairan setempat.

Apabila secara terus menerus kapal niaga yang sama tersebut datang dari wilayah *bioregion* yang berbeda ke wilayah pelabuhan yang sama secara rutin maka menimbulkan multipel efek sehingga menjadi masalah bagi lingkungan setempat.

Keberhasilan bioinvasi terdiri dari tiga fase, mulai dari masuknya spesies, dominasi dan terakhir ketahanan terhadap lingkungan baru (Wonham *et al.*, 2000). Kadar salinitas yang lebih rendah pada daerah penerima juga menjadi faktor keberhasilan invasi (Ba *et al.*, 2010). Carlton

(1996) sendiri berpendapat terdapat enam hubungan dalam proses invasi yaitu perubahan wilayah donor, wilayah donor baru, perubahan wilayah penerima, pintu invasi, peristiwa inokulasi stokastik dan perubahan perpindahan vektor.

Pembuangan air *ballast* yang tidak dilakukan pengolahan terlebih dahulu telah menimbulkan dampak pada wilayah Amerika Serikat yaitu organisme perairan yang bukan merupakan habitat asli pada wilayah tersebut. May (2007) menyebutkan organisme asing yang telah masuk di wilayah tersebut meliputi belut laut (*sea lamprey*), kepiting sarung tangan (*chinese mitten crab*), *nothern snake head*, *round goby*, kerang zebra (*zebra mussel*).

Berdasarkan riset Drake (2009) terdapat spesies asing di perairan Eropa yang meliputi *Alexandrium catenella*, *Chattonella cf. Verruculosa*, *Coscinodiscus wailessii*, *Odontella sinensis*, *Undaria pinnatifida*, *Neogobius melanostomus* dan *Dikerogammarus villosus*. Sedangkan pada perairan air tawar pada wilayah Australia, berdasarkan riset Pimentel (2009) terdapat spesies ikan asing yang masuk ke wilayah tersebut antara lain ikan mas Eropa (*Cyprinus carpio*), *forel* coklat (*Salmo trutta*) dan *forel* pelangi (*Oncorhynchus mykiss*).

Pembuangan air *ballast* kapal niaga yang tidak diolah terlebih dahulu juga dapat menimbulkan pengeluaran logam berat yang terkandung pada tangki *ballast* dan berasal dari wilayah pelabuhan sebelumnya. Logam berat yang dimungkinkan masuk ke tangki *ballast* antara lain Merkuri (Hg), Kadmium (Cd), tembaga (Cu), timbal (Pb), seng (Zn), Arsen (As), nikel (Ni).

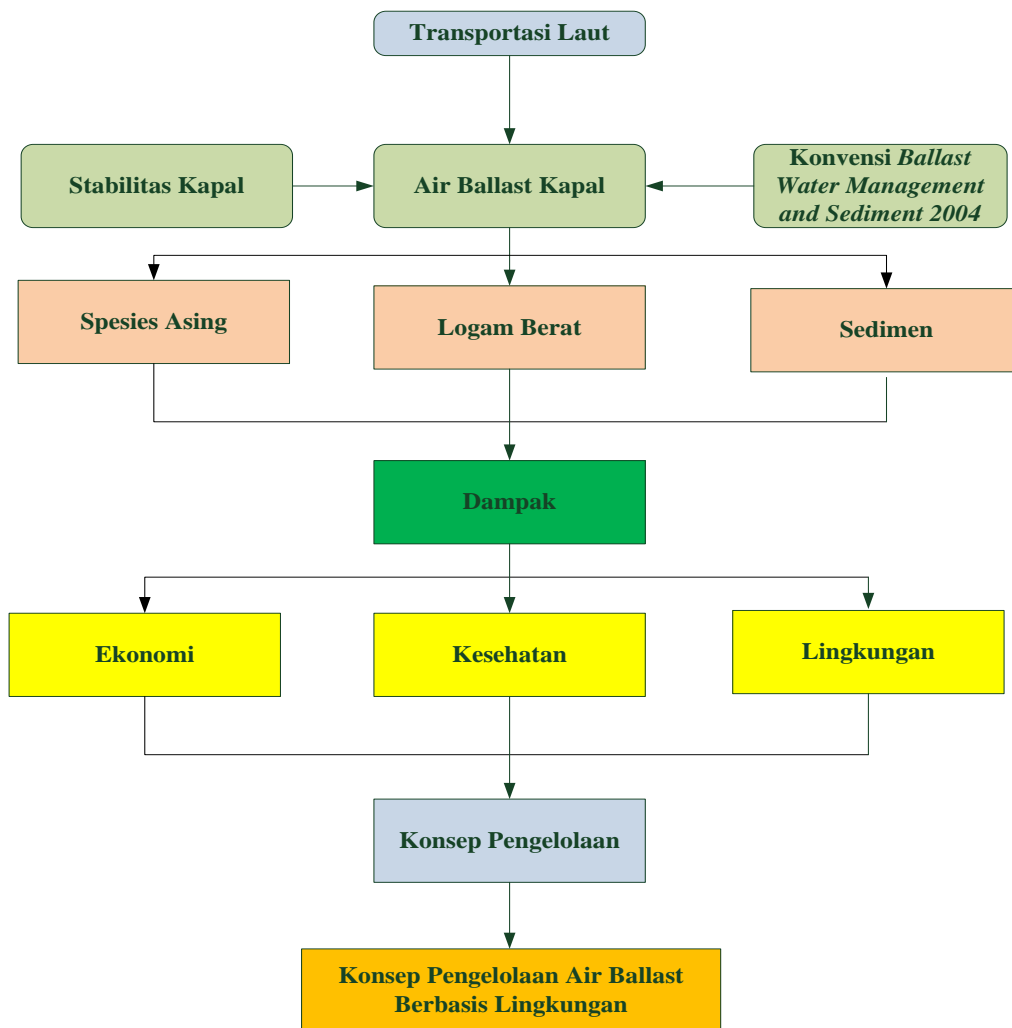
Pengelolaan merupakan proses penentuan apa yang harus dicapai yaitu standar yang meliputi pelaksanaan, penilaian dan perbaikan sehingga diharapkan pelaksanaan sesuai dengan rencana yaitu selaras dengan standar, tujuan pengendalian. Sedangkan strategi adalah sejumlah keputusan dan tindakan yang mengarah pada penyusunan suatu strategi atau sejumlah strategi yang efektif untuk membantu mencapai sasaran (Purwanto, 2006).

Ilmuwan telah mengembangkan sistem pengolahan air *ballast* yang terdiri dari sistem mekanis, desinfeksi fisik dan kimia (*Classification Society, 2013*). Sistem mekanis meliputi filterisasi, pemisahan siklonik dan pemisahan elektro-mekanis, sedangkan sistem desinfeksi fisik meliputi ultraviolet, deoksigenasi. Pada pengolahan secara kimia meliputi desinfeksi biosida, elektrolitik klorinasi, substansi aktif dan preparat.

Konvensi Internasional Manajemen Air *Ballast* dan Sedimen merupakan konvensi yang telah diadopsi menjadi peraturan internasional dan telah disahkan menjadi peraturan internasional oleh IMO pada 16 Februari 2004. Air *ballast* telah menjadi masalah bagi lingkungan pelabuhan yang dimasuki kapal niaga karena di dalam air *ballast* kapal terkandung bakteri, mikroba, invertebrata kecil, telur, kista dan larva berbagai macam spesies. Konvensi meminta kepada kapal yang mengimplementasikan aturan ini menerapkan *Ballast Water Management Plan, Ballast Water Record Book*, dan melaksanakan prosedur manajemen air *ballast*.

Pada proses penerapan ini terdapat beberapa tahap yang meliputi standar D1, D2, dan D3. Standar D1 yaitu tahap dimana kapal harus melakukan

pertukaran air *ballast* di laut dalam perjalanan menuju ke pelabuhan selanjutnya yang disinggahinya. Standar D2 yaitu implementasi sistem pengolahan air *ballast* di kapal sedangkan standar D3 mensyaratkan sistem manajemen air *ballast* disahkan oleh Administrasi. Konvensi ini akan berlaku secara internasional 12 bulan setelah diratifikasi oleh 30 negara yang mewakili 35% tonase kapal niaga dunia, sampai dengan saat ini (Februari, 2015), konvensi tersebut telah ditandatangani oleh 44 negara yang mewakili 32,86% tonase kapal niaga dunia (*imo.org*).



Gambar 3.1 Kerangka Teori

## B. KERANGKA KONSEP

Air *ballast* kapal niaga merupakan sistem yang digunakan untuk menjaga stabilitas kapal. Stabilitas kapal niaga sangat penting artinya bagi keselamatan kapal itu sendiri berikutan awak kapal dan muatan yang dibawanya. Tanpa adanya stabilitas, akan membawa bencana bagi kapal itu sendiri.

Air *ballast* diambil di pelabuhan dengan menggunakan pompa *Ballast*, saat kapal selesai melakukan pembongkaran kargo. Air *ballast* tersebut berfungsi untuk menurunkan *draft* kapal agar baling-baling kapal dapat tercelup sempurna sehingga laju kapal dapat terjaga, disamping itu untuk menjaga *trim* (perbedaan *draft* depan dan belakang) sehingga saat berlayar stabilitasnya baik. Hal yang paling penting dari *ballast* kapal adalah menjaga *listing* (kemiringan) kapal, sehingga saat terjadi adanya pengaruh gaya dari luar kapal seperti ombak, angin dan arus, maka kapal dapat kembali ke posisi semula dan tidak tenggelam. Air *ballast* mengandung empat komunitas hidup yaitu plankton (organisme yang melayang secara pasif atau berenang di air), nekton (spesies yang berenang bebas di air, *fouling* (organisme yang menempel, termasuk bakteri film, pada dinding vertikal dan horizontal di tangki *ballast*) dan *benthos* (spesies yang tinggal di dasar tangki). Sedangkan logam berat yang terkandung pada air *ballast* kapal kadmium, tembaga, timbal dan seng yang terambil dari pelabuhan asal dan berpotensi menyebabkan penambahan cemaran di perairan.

*Ballast* dan *deballast* pada kapal dari pelabuhan asing telah dilaporkan sebagai vektor masuknya tanaman dan binatang perairan *non-native*. Spesies seperti mikroalga, termasuk spesies dinoflagellata yang berbahaya, dapat tinggal berbulan-bulan dalam bentuk *dorman* pada sedimen tangki *ballast*. Penelitian yang dilakukan selama empat tahun di pelabuhan Teluk Tampa (pelabuhan Tampa dan Manatee), ditemukan *Alexandrium balechii* (Steidinger) F.J.R. (Taylor) -dinoflagellata berbahaya, dalam bentuk kista yang mengindikasikan kapal yang melakukan pergantian air *ballast* di Teluk Tampa mempunyai potensi membawa spesies *HAB* ke pelabuhan lain yang sifat ekologisnya sama. Pada contoh tangki air *ballast* juga ditemukan 13 spesies yang berbahaya dari mulai dinoflagellata, diatom dan taksa lainnya (Garrett *et. al*, 2011).

Jarak dan sebaran air *ballast* yang mengandung mikroorganisme dan logam berat dihitung dengan formula yang dikemukakan Wolinsky & Pratson (2007), keluaran air *ballast* dipengaruhi oleh kecepatan arus maksimum (C), faktor pengali berdasarkan pasang surut (Q) dan konstanta hanyut (Z). Sebaran air *ballast* juga dipengaruhi oleh besarnya mawar arus.

Prinsip pengelolaan air *ballast* menggunakan prinsip 2 R yaitu *reduce* dan *recycling*. *Reduce* yaitu upaya menurunkan jumlah mikroorganisme yang terkandung pada air *ballast* kapal niaga yaitu dengan prinsip MOE (*Mid Ocean Exchange*/pertukaran air *ballast* di tengah samudera). Standar MOE ini merupakan standar awal (tahap D1) bagi kapal niaga yang akan memasuki wilayah negara asing dari wilayah negara asal. Penelitian yang

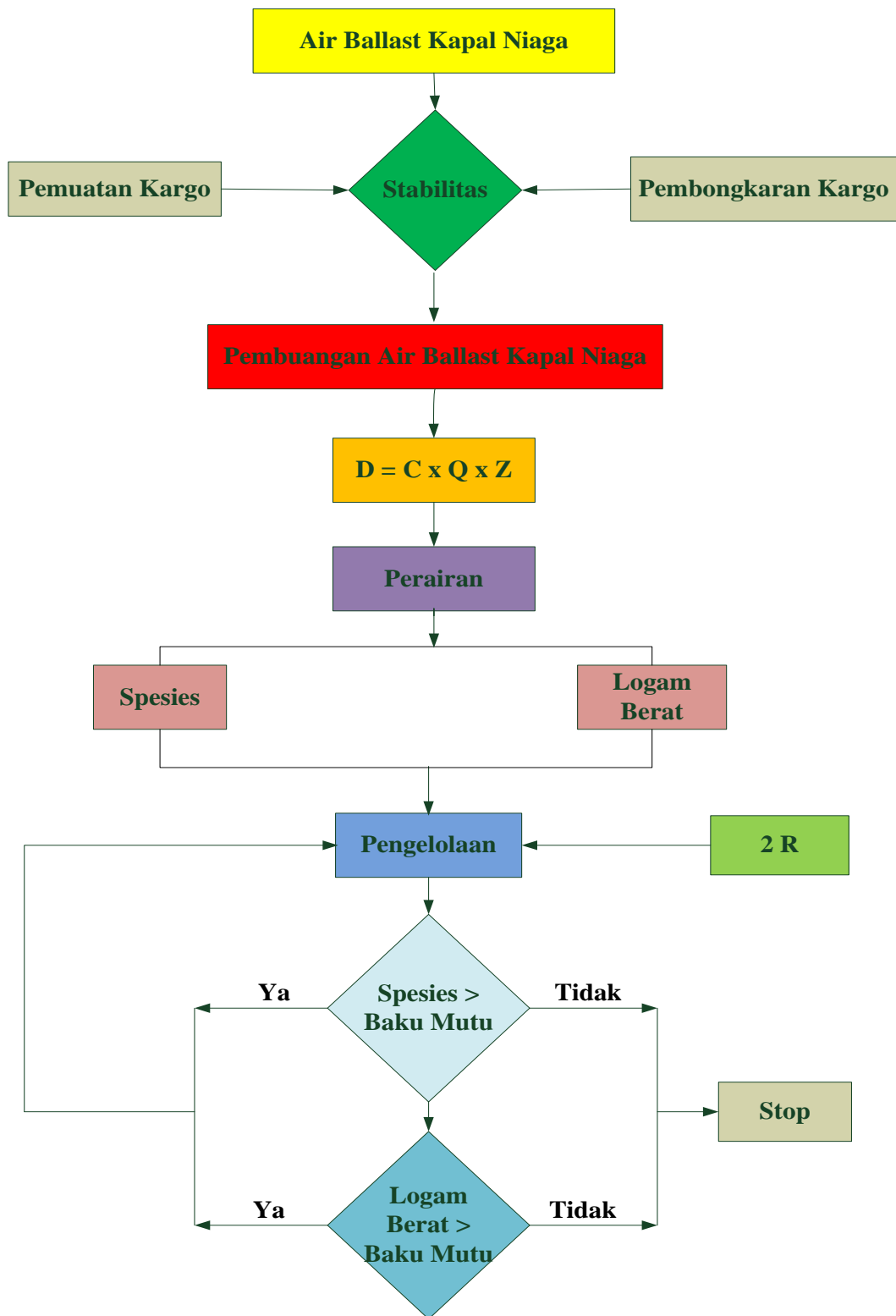
dilakukan oleh Zhang & Dickman (1999) dan Klein *et al.* (2009), kapal niaga yang melakukan *MOE* menunjukkan terjadi penurunan kelimpahan spesies sebesar 87% dibandingkan pelabuhan asal, sedangkan efektifitas untuk menurunkan diatom dan dinoflagellata sebesar 48% dibanding tanpa upaya *MOE*.

Terdapat tiga metode *MOE* yaitu *sequential* (proses dengan pengosongan air *ballast* dan diisi kembali untuk memperoleh paling sedikit 95% volumetrik pertukaran), *flow-through* (proses penggantian air *ballast* yang dipompakan sehingga air keluar melalui *overflow* atau susunan yang lain) dan metode *dilution* (proses penggantian air *ballast* yang diisi melalui bagian atas tangki *ballast* dengan pengeluaran yang simultan dari dasar tangki).

*Recycling* merupakan upaya daur ulang air *ballast* yang telah digunakan sebagai stabilitas kapal. Tahap ini merupakan standar D2 yaitu pengolahan air *ballast* yang dapat dilakukan di kapal itu sendiri maupun dengan disediakan oleh pihak otoritas pelabuhan. Pengolahan air *ballast* meliputi sistem mekanis, desinfeksi fisik dan pengolahan kimia (*Germanischer Lloyd*, 2013). Sistem mekanis terdiri dari tiga macam yaitu filtrasi (pengeluaran sedimen dan partikel dengan filter selama pengisapan air *ballast*), pemisahan siklonik (pemisahan partikel padat dari air karena gaya sentrifugal) dan pemisahan elektro-mekanis (injeksi *flocculent* pada organisme dan sedimen dimana pemisahan dan filtrasi magnet dapat dilakukan pada partikel padat). Sistem desinfeksi fisik terdiri dari 3 jenis

yaitu ultraviolet dimana (radiasi ultraviolet digunakan untuk mematikan membran sel atau melumpuhkan kemampuan bereproduksi), kavitasi/ultrasonik (menggunakan pipa venturi untuk menghasilkan gelembung kavitasi dan energi gelembung yang tinggi akan menghasilkan gaya hidrodinamik dan osilasi ultrasonik) dan deoksigenasi (metode untuk mengeluarkan oksigen terlarut pada air *ballast* dan menggantinya dengan gas non aktif seperti nitrogen atau inert gas). Sedangkan pengolahan kimia terdiri dari 4 jenis yaitu desinfeksi *biosida* (menggunakan desinfektan ke dalam aliran air *ballast* dan mematikan organism hidup dengan bahan kimia beracun atau deoksigenasi), elektrolitik klorinasi (menggunakan arus listrik pada aliran air *ballast* dalam ruang elektrolitik sehingga menghasilkan klorin bebas, sodium hipoklorit dan hidrosil radikal dan menyebabkan oksidasi elektrokimia melalui pembentukan ozone dan hydrogen peroksida), substansi aktif meliputi substansi atau organisme termasuk virus atau jamur yang dapat melawan organism perairan berbahaya dan pathogen dan preparat (dengan menggunakan formulasi komersial dari satu atau lebih senyawa aktif termasuk bahan tambahan).

Dengan diperolehnya data spesies, jumlah kapal, kapasitas air *ballast* kapal di pelabuhan, pola rute kapal yang mendatangi suatu pelabuhan dapat diperoleh data yang dapat digunakan dalam menyusun strategi pengendalian spesies asing dan logam berat.



Gambar 3.2. Bagan Kerangka Konsep

### C. HIPOTESIS

Berdasarkan latar belakang, rumusan masalah dan tujuan penelitian yang dilakukan, dapat dirumuskan hipotesis sebagai berikut.

1. Terdapat korelasi positif phytoplankton, zooplankton dan logam berat di dalam air *ballast* kapal niaga terhadap phytoplankton, zooplankton dan logam berat di perairan PTES

a. Korelasi antara antara zooplankton pada air *ballast* kapal niaga terhadap zooplankton di perairan PTES

$H_0$  : tidak terdapat korelasi antara zooplankton pada air *ballast* kapal niaga terhadap zooplankton di perairan PTES

$H_1$  : terdapat korelasi antara zooplankton pada air *ballast* kapal niaga terhadap zooplankton di perairan PTES

b. Korelasi antara antara phytoplankton pada air *ballast* kapal niaga terhadap phytoplankton di perairan PTES

$H_0$  : tidak terdapat korelasi antara phytoplankton pada air *ballast* kapal niaga terhadap zooplankton di perairan PTES

$H_1$  : terdapat korelasi antara phytoplankton pada air *ballast* kapal niaga terhadap zooplankton di perairan PTES

c. Korelasi antara Cd pada air *ballast* kapal niaga terhadap Cd di perairan PTES

$H_0$  : tidak terdapat korelasi antara Cd pada air *ballast* kapal niaga terhadap Cd di perairan PTES

- $H_1$ : terdapat korelasi antara Cd pada air *ballast* kapal niaga terhadap Cd di perairan PTES
- d. Korelasi antara Zn pada air *ballast* kapal niaga terhadap Zn di perairan PTES
- $H_0$  : tidak terdapat korelasi antara Zn pada air *ballast* kapal niaga terhadap Zn di perairan PTES
- $H_1$  : terdapat korelasi antara Zn pada air *ballast* kapal niaga terhadap Zn di perairan PTES
- e. Korelasi antara Cu pada air *ballast* kapal niaga terhadap Cu di perairan PTES
- $H_0$  : tidak terdapat korelasi antara Cu pada air *ballast* kapal niaga terhadap Cu di perairan PTES
- $H_1$  : terdapat korelasi antara Cu pada air *ballast* kapal niaga terhadap Cu di perairan PTES
- f. Korelasi antara Pb pada air *ballast* kapal niaga terhadap Pb di perairan PTES
- $H_0$  : tidak terdapat korelasi antara Pb pada air *ballast* kapal niaga terhadap Pb di perairan PTES
- $H_1$  : terdapat korelasi antara Zn pada air *ballast* kapal niaga terhadap Zn di perairan PTES

2. Kepatuhan awak kapal niaga di PTES dalam mengimplementasikan Konvensi *Ballast Water Management*

Pada penelitian dilakukan kegiatan angket bagi awak kapal niaga apakah mematuhi aturan BWM atau tidak sehingga terdapat dua kemungkinan sebagai berikut.

- a. Awak kapal niaga tidak mematuhi pada peraturan Konvensi *Ballast Water Management*
- b. Awak kapal niaga mematuhi pada peraturan Konvensi *Ballast Water Management*

3. (Tidak dikemukakan/analisis deskriptif)

Pada penelitian ini diharapkan diperoleh data tentang strategi yang dapat dilakukan baik oleh pihak regulator yaitu KSOP Semarang maupun PT Pelindo III selaku pelaksana bagaimana upaya yang dilakukan setelah dilakukan angket terhadap pihak-pihak tersebut. Analisis kemudian dilakukan dengan metode SWOT sehingga akan diperoleh kekuatan dan ancaman yang terjadi di pelabuhan tersebut.

4. (Tidak dikemukakan/analisis deskriptif)

Data kedatangan kapal niaga dalam negeri dan luar negeri ke PTES yang diperoleh dari KSOP Semarang dapat dilakukan analisis sehingga dapat dimunculkan model pengelolaan air *ballast* yang sesuai dengan kebutuhan di wilayah PTES.

## **BAB IV**

### **METODE PENELITIAN**

#### **A. Tempat dan Waktu Penelitian**

Penelitian dilakukan di kawasan Pelabuhan Tanjung Emas Semarang (PTES) yang terletak di Semarang yaitu pada pantai utara Jawa Tengah. PTES diambil sebagai sampel dikarenakan beberapa alasan sebagai berikut (Pelabuhan Indonesia III, 2012):

1. PTES merupakan pelabuhan yang mengalami kenaikan arus barang rata-rata sebesar 10% dari tahun 1970-1983. Arus barang yang lancar dapat mempermudah dan meningkatkan kegiatan perekonomian masyarakat di Jawa Tengah;
2. PTES merupakan pelabuhan persinggahan bagi kapal pesiar asing sehingga kapal yang membawa wisatawan asing dapat dengan mudah mengunjungi destinasi wisata di wilayah Jawa Tengah seperti Candi Borobudur dan kawasan Kota Lama dalam waktu sehari dan tidak perlu bermalam di hotel sehingga dalam waktu sehari dapat langsung melanjutkan ke destinasi wisata lainnya di Indonesia. Kedatangan wisatawan dari kapal pesiar ini berdampak pada peningkatan kegiatan perekonomian melalui peningkatan jumlah biro pariwisata dan belanja wisatawan terhadap produk lokal;
3. PTES merupakan salah satu pelabuhan bagi kapal wisata untuk menuju ke kepulauan Karimunjawa sehingga dengan keberadaan PTES ini

mendorong jumlah kunjungan wisatawan domestik yang menuju ke kepulauan Karimunjawa;

4. Keberadaan PTES ini sangat penting bagi kegiatan ekspor impor bahan baku dan hasil industri sebagai pendukung pergerakan komoditas bagi kawasan industri di kota Semarang seperti kawasan industri Terboyo, Candi, Wijayakusuma, Ungaran, Bukit Semarang Baru dan kawasan industri baru lainnya yang dapat dikembangkan di Jawa Tengah;
5. PTES mendukung kegiatan suplai pupuk melalui kapal dari PT Pupuk Sriwijaya yang mensuplai pupuk dari pabrik di Palembang ke Jawa Tengah sehingga pasokan kebutuhan pertanian dapat terjaga;
6. Kebutuhan LPG (*Liquid Petroleum Gas*) dapat terpenuhi melalui keberadaan PTES ini sehingga kebutuhan konsumsi gas bagi rumah tangga dan industri di Jawa Tengah dapat terpenuhi melalui kapal milik Pertamina yang selalu rutin mensuplai gas dari daerah Lampung dan Banyuwangi;
7. Kebutuhan masyarakat akan sarana transportasi yang murah dapat terpenuhi dengan kedatangan kapal penumpang milik PT Pelnindo ke PTES sehingga memudahkan masyarakat dari golongan bawah yang mencari sarana transportasi yang murah menuju dan dari pelabuhan di Kalimantan;
8. Penelitian dilakukan melalui dua tahap yaitu tahap pertama survei yang telah dilakukan pada bulan Juni 2014 dengan melihat kondisi tangki ballast di kapal latih Bima Sakti. Tahap kedua dilakukan survei di kapal

(dengan DWT di atas 400 MT) yang bersandar di PTES dari bulan Desember 2014 sampai dengan Desember 2015. Sedangkan tahap ketiga dilakukan penelitian di perairan pelabuhan Semarang dari bulan Agustus 2015 sampai dengan Januari 2016.

## **B. Desain Penelitian**

Jenis penelitian yang digunakan dalam penelitian ini yaitu penelitian deskriptif analitik yang memberikan gambaran atau uraian atas suatu keadaan sejelas mungkin dan mendalam tanpa ada perlakuan terhadap obyek yang diteliti sehingga dapat mudah dipahami dan disimpulkan (Kountur, 2007; Fauzi, 2009; Nasehudin & Gozali, 2012).

Fakta di lapangan dalam desain survei yang digali dalam penelitian berupa informasi tingkat pencemaran pada air *ballast* kapal niaga berdasarkan nilai biotik dan abotik dengan metode saprobitas yang mengindikasikan tingkat pencemaran air ballast kapal niaga ke wilayah pelabuhan yang dimasukinya. Elemen dalam survei ini selain menggunakan angket juga menggunakan wawancara pada pihak regulator dan pengguna jasa.

Pendekatan penelitian ini menggunakan pendekatan kuantitatif dimana pada prinsipnya untuk menjawab masalah muncul (Sugiyono, 2010). Pada penelitian ini, masalah yang muncul, bertitik tolak dari studi pendahuluan dari obyek yang diteliti. Permasalahan tentang cemaran air *ballast* kapal niaga telah dilakukan melalui studi pendahuluan, baik melalui penelusuran di jurnal nasional ataupun internasional maupun studi lapangan

ke kapal niaga untuk pengambilan sampel awal dan kemudian dilakukan analisa terhadap sampel tersebut.

## **C. Populasi dan Sampel**

### **1. Populasi**

#### **a. Populasi kapal niaga yang masuk ke PTES**

Sesuai dengan tema penelitian yaitu tentang air *ballast*, populasinya adalah kapal niaga (bukan kapal perang, kapal pemerintah Republik Indonesia, *tug boat*, tongkang ataupun Kapal Layar Motor) dengan ukuran lebih dari 400 Gross Tonnage (kapal konvensi) yang datang ke pelabuhan Tanjung Emas Semarang. Dalam kurun waktu Januari 2011 sampai dengan Desember 2012 (PPSPB KAP Tanjung Emas Semarang), pelabuhan tersebut mendapat kedatangan kapal niaga minimum pada bulan Oktober 2011 kapal dari luar negeri sejumlah 46 kapal, kapal dalam negeri sejumlah 328 kapal. Untuk kapal niaga dengan rute dalam negeri yang berbobot di atas 400 GT, berjumlah 23 kapal. Sedangkan pada bulan Februari 2012, pelabuhan Tanjung Emas mendapatkan kedatangan kapal yang mencapai maksimum, baik dari luar negeri maupun dalam negeri. Untuk kapal niaga yang dari luar negeri terdapat 29 kapal niaga, sedangkan dari rute dalam negeri terdapat 317 kapal niaga, sedangkan yang berbobot di atas 400 GT terdapat 131 kapal.

b. Populasi awak kapal untuk pengambilan angket

Awak kapal pertama yang digunakan dalam pengisian angket adalah mahasiswa yang telah melaksanakan praktek berlayar di kapal niaga selama setahun penuh, meliputi kelas Teknika yaitu T VII dan T VIII, kelas Nautika yaitu N VII dan N VIII pada Semester Gasal periode 2014/2015. Mahasiswa tersebut telah melaksanakan praktek berlayar selama setahun penuh di atas kapal niaga pada Semester V dan Semester VII. Selama di atas kapal niaga, mahasiswa dibekali materi/tugas CRB (*Cadet Record Book*) dan KKP (Kertas Kerja Prola), dimana selama di atas kapal niaga mahasiswa harus mampu menjawab dan melaporkan tugasnya di atas kapal. Selain itu mahasiswa diberi tugas untuk mengumpulkan bukti dan permasalahan di atas kapal niaga sehingga pada saat nantinya menginjak Semester VIII mereka mampu membuat Skripsi yang merupakan hasil sintesa mereka sewaktu melaksanakan praktek berlayar.

Awak kapal kedua yang digunakan dalam pengisian angket adalah siswa atau disebut Perwira Siswa yaitu awak kapal niaga yang telah melaksanakan tugas sebagai awak kapal niaga dan bertugas di kapal niaga selama minimum dua tahun. Awak kapal kedua tersebut menempuh Diklat Pelaut di tingkat yang lebih tinggi di Politeknik Ilmu Pelayaran (PIP) Semarang.

Populasi awak kapal pertama berjumlah 344 orang. Populasi awak kapal kedua adalah Perwira Siswa (Pasis) yang sedang menempuh

pendidikan dan latihan di PIP Semarang pada periode Oktober 2014 sampai dengan Juni 2015, peserta Diklat Angkatan XXVII meliputi Teknik ATT IV, ATT III, ATT II dan Nautika ANT IV, ANT III, ANT II. Populasi awak kapal kedua berjumlah 387 orang.

## 2. Sampel

### a. Penentuan Jumlah Sampel Kapal Niaga

Untuk menentukan jumlah sampel dari populasi kapal niaga dengan menggunakan rumus dari Taro Yamane atau Slovin (Riduwan, 2009) sebagai berikut.

$$n = \frac{N}{N.d^2 + 1}, \text{ dimana}$$

n = jumlah sampel

N = jumlah populasi

d = presisi (ditetapkan 10% dengan tingkat kepercayaan 90%)

Kapal niaga rute dalam negeri yang memasuki pelabuhan Tanjung Emas Semarang pada bulan Februari 2012 populasinya berjumlah 347 kapal, setelah dikurangi dengan kapal non konvensi dan kapal yang datang dari luar negeri menjadi 131 kapal. Dari populasi 131 kapal tersebut diperoleh sampel penelitian sejumlah 57 kapal. Pengambilan sampel dilakukan pada tangki *ballast* kapal niaga dimana kapal niaga tersebut sedang melakukan pemuatan kargo, sampel yang diambil cukup dilakukan dari satu tangki *ballast* dengan asumsi pada saat kapal niaga tersebut meninggalkan pelabuhan (dalam keadaan kargo yang kosong) telah melakukan pengisian air

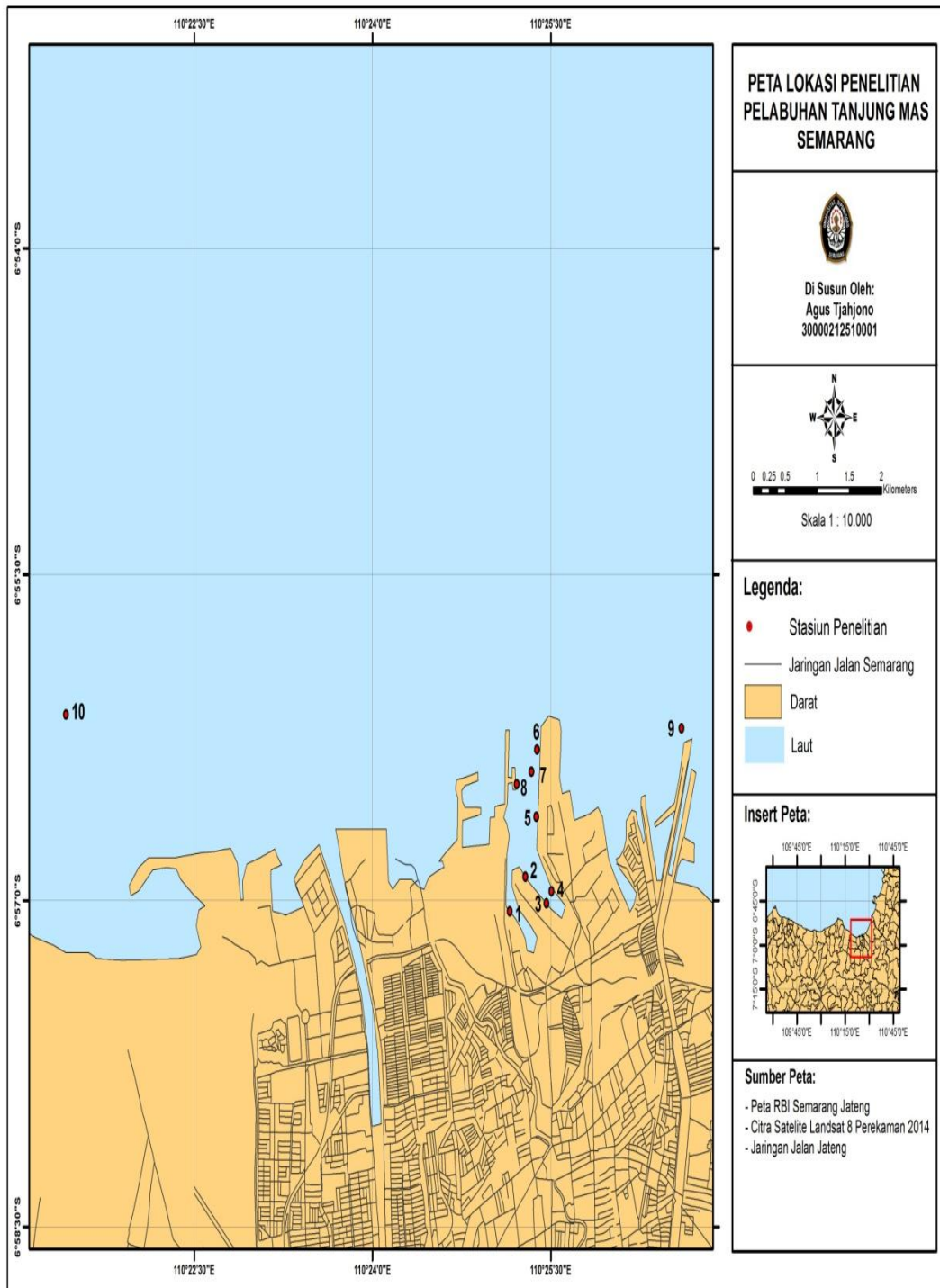
*ballast* pada keseluruhan tangki ballastnya atau dianggap air laut yang mengisi tangki ballast berasal dari satu pelabuhan.

b. Penentuan Sampel Tangki Ballast Kapal Niaga

Tangki ballast kapal niaga pada umumnya terdiri dari *Fore Peak Tank*, *After Peak Tank* dan *Wing Tank*. Pada *Fore Peak Tank* dan *After Peak Tank* umumnya diisi dengan air tawar, sehingga sampel air *ballast* dilakukan pada *Wing Tank* yaitu satu tangki *ballast* baik tangki kiri maupun kanan karena pada saat pengambilan air laut di pelabuhan, Muallim kapal berusaha mengatur kemiringan kapal/*listing* dengan mengisi tangki *Wing* yang bersamaan baik kiri maupun kanan .

c. Penentuan Sampel Lokasi Lingkungan Perairan Pelabuhan

Perairan PTES (Gambar 4.1) merupakan muara dari tiga sungai yaitu Kali Baru, Kali Banger dan Kali Banjir Kanal Timur sehingga dalam penelitian ini lokasi pengambilan sampel dilakukan pada muara Kali Baru, karena untuk muara Kali Banger dan sungai Banjir Kanal Timur tidak mengarah ke kolam pelabuhan. Pengambilan sampel air pada perairan dilakukan mulai dari stasiun 1 (muara Kali Baru), stasiun 2 (dermaga PT Pusri), stasiun 3 (dermaga Sriboga), stasiun 4 (dermaga kapal penumpang/PT Peln), stasiun 5 (dermaga nomor 25), stasiun 6 (dermaga kapal kontainer), stasiun 7 (titik tengah atau muara keluaran dari kolam pelabuhan) dan stasiun 8 (dermaga LPG Pertamina).



Gambar 4.1. Stasiun Pengambilan Sampel

Luas bidang penelitian pada perairan PTES adalah 155,397 hektar atau 1,554 km<sup>2</sup>. Berdasarkan penelitian pendahuluan yang telah dilakukan pada 23 Januari 2015, pada perairan tersebut diambil delapan stasiun meliputi:

- 1). Stasiun 1 (Lintang 6° 57,059' Selatan, Bujur 110° 25,150' Timur)

Muara kali Baru, kedalaman 6,21 meter (surut), diambil pada bagian tengah luaran muara sungai, diambil dua buah sampel air pada permukaan dan dasar sungai.

- 2). Stasiun 2 (Lintang 6° 56,911' Selatan, Bujur 110° 25,271' Timur)

Dermaga PT Pusri merupakan tempat sandar kapal milik PT Pupuk Sriwidjaja dan kapal tanker kecil. Kedalaman 5,20 meter (surut), diambil dua buah sampel, pada permukaan dan dasar perairan.

- 3). Stasiun 3 (Lintang 6° 57,030' Selatan, Bujur 110° 25,458' Timur)

Dermaga milik PT Sriboga, merupakan dermaga khusus untuk kapal curah. Kedalaman 10,40 meter (surut), diambil dua sampel pada permukaan dan dasar perairan.

- 4). Stasiun 4 (Lintang 6° 56,957' Selatan, Bujur 110° 25,505' Timur)

Dermaga kapal penumpang baik untuk PT Peln, PT Darma Lautan Utama (DLU) maupun kapal wisata lainnya. Kedalaman

8,80 meter (surut), diambil dua buah sampel air pada permukaan dan dasar perairan.

5). Stasiun 5 (Lintang  $6^{\circ} 56,615'$  Selatan, Bujur  $110^{\circ} 25,379'$  Timur)  
Dermaga nomor 25, tempat sandar kapal kargo padat maupun curah. Kedalaman 11,70 meter (surut), diambil dua buah sampel air, yaitu pada permukaan dan dasar perairan.

6). Stasiun 6 (Lintang  $6^{\circ} 56,305'$  Selatan, Lintang  $110^{\circ} 25,383'$  Timur)  
Dermaga kapal kontainer, kedalaman 11,72 meter (surut), diambil dua buah sampel air, pada permukaan dan dasar perairan.

7). Stasiun 7 (Lintang  $6^{\circ} 56,408'$  Selatan, Bujur  $110^{\circ} 25,337'$  Timur)  
Muara aliran keluaran dari dermaga, diambil di bagian tengah antara dermaga LPG Pertamina dan dermaga kapal kontainer. Kedalaman 12,76 meter, diambil dua buah sampel air, pada permukaan dan dasar perairan.

8). Stasiun 8 (Lintang  $6^{\circ} 56,464'$  Selatan, Bujur  $110^{\circ} 25,213'$  Timur)  
Dermaga khusus kapal LPG Pertamina. Kedalaman 9,50 meter, diambil dua buah sampel air, pada permukaan dan dasar perairan.

- 9). Stasiun 9 (Lintang  $6^{\circ} 56,207'$  Selatan, Bujur  $110^{\circ} 26,599'$  Timur)

Muara sungai Banjir Kanal Timur. Kedalaman 1,03 m; diambil satu buah sampel air pada permukaan, digunakan sebagai titik kontrol karena tidak terdapat kapal niaga di muara tersebut.

- 10). Stasiun 10 (Lintang  $6^{\circ} 56,145'$  Selatan, Bujur  $110^{\circ} 21,422'$  Timur)

Muara sungai Siangker. Kedalaman 0,8 m, diambil satu buah sampel air pada permukaan, digunakan sebagai titik kontrol karena tidak terdapat kapal niaga yang bersandar di daerah tersebut.

- d. Metode pengambilan sampel yaitu dengan *non random sampling* yaitu cara pengambilan sampel yang tidak semua anggota sampel diberi kesempatan untuk dipilih sebagai anggota sampel (Sugiyono, 2013). Metode yang digunakan dalam penelitian ini adalah metode *purposive sampling* yaitu cara pengambilan sampel dengan menetapkan ciri yang sesuai dengan tujuan.

Sampel awak kapal niaga yang pertama menggunakan mahasiswa di Politeknik Ilmu Pelayaran Semarang yang telah melaksanakan praktek berlayar yaitu pada Semester Ganjil 2014 meliputi kelas Teknik T VII A (23 orang), T VII B (23 orang), T VIII A (32 orang), T VIII B (32 orang), T VIII C (31 orang), T VIII D (32 orang) dan kelas Nautika meliputi kelas N VII A (28 orang), N VII B (28 orang), N VIII A (29 orang), N VIII B (29 orang), N VIII C (28 orang) dan N

VIII D (28 orang). Dengan demikian populasi mahasiswa yang telah melaksanakan praktek berlayar sejumlah 344 orang. Untuk menentukan jumlah sampel responden, menggunakan rumus Isaac &

Michael (Sugiyono, 2010), yaitu 
$$s = \frac{\lambda^2 \cdot N \cdot P \cdot Q}{d^2(N-1) + \lambda^2 \cdot P \cdot Q}$$
 sehingga

dengan populasi 344 orang maka sampel responden berjumlah 172 orang dengan taraf kesalahan 5%.

Sampel awak kapal niaga yang kedua yaitu Pasis yang melaksanakan pendidikan dan pelatihan setingkat lebih tinggi di PIP Semarang, meliputi Teknika ATT IV (80 orang), ATT III (40 orang), ATT II (67 orang) dan Nautika ANT IV (81 orang), ANT III (55 orang), ANT II (64 orang). Sehingga populasi responden kedua berjumlah 387 orang, dengan menggunakan rumus yang sama diperoleh 251 orang dengan taraf kesalahan 5%.

#### **D. Variabel Penelitian**

##### 1. Nama variabel

- a. Phytoplankton, zooplankton dan logam berat dalam air ballast kapal niaga dan perairan PTES

Identifikasi phytoplankton dan zooplankton di perairan pelabuhan sangat tergantung pada parameter lingkungan di perairan pelabuhan yang meliputi parameter fisika (kecepatan arus, kebauan, suhu, TSS, TDS, kekeruhan) dan kimia (DO, BOD, pH, salinitas, H<sub>2</sub>S, alkalinitas, senyawa fenol total). Sedangkan phytoplankton dan zooplankton di

tangki *ballast* kapal niaga juga tergantung pada parameter fisika (suhu, TDS) dan kimia (DO, BOD, pH, salinitas). Logam berat di perairan pelabuhan dan di tangki *ballast* kapal niaga tergantung pada parameter fisika (TDS, TSS, suhu) dan kimia (pH, salinitas, H<sub>2</sub>S, phenol). Kandungan logam berat yang diteliti pada perairan pelabuhan dan tangki *ballast* kapal niaga meliputi Pb, Cd, Cu dan Zn. Struktur phytoplankton di perairan dan tangki *ballast* kapal niaga yang dianalisis menggunakan kelimpahan individu (N), indeks keanekaragaman jenis (H'), indeks kemerataan (E), indeks dominansi (D), indeks saprobitas (X) dan indeks total saprobitas (TSI), sedangkan zooplankton di perairan dan tangki *ballast* kapal niaga menggunakan kelimpahan individu (N), indeks keanekaragaman jenis (H'), indeks kemerataan (E) dan indeks dominansi (D). Karakteristik air *ballast* di kapal niaga yang diteliti adalah kapasitas keluaran air *ballast* (dalam ton/tahun) yang telah dikeluarkan dari kapal niaga yang sedang sandar di pelabuhan Tanjung Emas Semarang pada saat kapal tersebut sedang melakukan pemuatan.

b. Kepatuhan awak kapal niaga

Kepatuhan terhadap Konvensi *Ballast Water Management* yang telah ditetapkan IMO dilakukan dengan menggunakan kuesioner untuk menjawab pertanyaan sejauh mana Konvensi telah dilaksanakan dan juga wawancara dengan responden. Prosedur sampling dengan menggunakan metode *random sampling* yaitu proses pemilihan

sampel dengan seluruh anggota populasi mempunyai kesempatan yang sama untuk dipilih (Kountur, 2007). Metode yang dipilih dengan menggunakan *cluster random sampling* yaitu mengelompokkan anggota populasi ke dalam kelompok, kelompok pertama populasi responden yang telah mengalami praktek berlayar satu tahun, kelompok kedua adalah responden dengan pengalaman berlayar lebih dari dua tahun.

- c. Pihak regulator yaitu KSOP Semarang merupakan pihak di pelabuhan yang menentukan arah kebijakan dalam pengambilan keputusan dalam pengelolaan air *ballast* kapal niaga. Pada KSOP tersebut terdapat Seksi Keselamatan, MI (Marine Inspector) dan PSC (Port State Control) yang berfungsi mengawasi penegakan aturan di lingkungan pelabuhan yang menjadi tanggung jawabnya.

2. Definisi konseptual variabel

Tabel 4.1. Tabel Konseptual Variabel Pertama

No	Parameter	Definisi Konseptual	Cara Ukur	Alat ukur/ metode	Hasil ukur
Parameter pertama					
1.	Perairan pelabuhan				
Parameter yang mempengaruhi					
1.	Kebauan	Bau yang tidak diinginkan dalam kadar dan waktu tertentu yang dapat mengganggu kesehatan manusia dan kenyamanan lingkungan		Organoleptis	
2.	Padatan tersuspensi	Bahan tersuspensi (diameter > 1 µm)	- Ditimbang, catat kertas saring yang akan dipakai	Potensiometri	mg/liter

	total (TSS)	yang tertahan pada saringan <i>millipore</i> dengan diameter pori 0,45 $\mu\text{m}$ .	(A gr) - 500 ml sampel air saring, sisihkan dalam gelas piala - Kertas saring yang sudah dipakai tadi dikeringkan, diamkan pada suhu kamar - Setelah kering, kertas dan padatannya ditimbang (B gr) - Hitung		
3.	Suhu	Ukuran atau derajat panas dinginnya suatu benda yang dinyatakan dengan satuan derajat	Alat dicelupkan ke perairan, tunggu beberapa menit dan dicatat suhunya	pH meter dan thermometer PHDLX	<i>In situ</i>
4.	pH	Derajat keasaman yang digunakan untuk menyatakan tingkat keasaman	Buffer pH 7, bilas elektroda dengan air, keringkan, nyatakan pH meter	pH meter dan thermometer PHDLX /SNI 06-6989.11-2004	<i>In situ</i>
5.	Salinitas	Padatan total di dalam air, setelah semua karbonat dikonversi menjadi oksida, semua bromide dan iodide digantikan oleh klorida dan semua bahan organik telah dioksidasi.	- Alat dicelupkan ke perairan, beberapa saat muncul nilai salinitas dari alat tersebut	Salinometer SA-287/Argentometri	<i>In situ</i>
6.	Sulfida ( $\text{H}_2\text{S}$ )	Senyawa bersifat toksik serta menimbulkan bau, toksisitas ditandai dengan penurunan pH	- Tekan power pada alat Spektrofotometer DR/2010 - Tekan nomor program 690 enter, layar akan menunjukkan dial pada 615 nm - Putar panjang gelombang hingga pada layar menunjukkan 665 nm - Tekan enter, layar akan menunjukkan mg/liter $\text{S}^2$ .	Spektrofotometri	mg/liter

			<ul style="list-style-type: none"> <li>- Pipet 25 ml sampel ke dalam kuvet (sebagai sampel)</li> <li>- Pipet 25 ml aquadest ke dalam kuvet (sebagai blangko)</li> <li>- Ditambahkan 1 ml Sulfide 1 Reagent ke dalam sampel dan blangko</li> <li>- Ditambahkan 1 ml Sufide 2 Reagent ke dalam sampel dan blangko</li> <li>- Tekan SHIFT TIMER, 5 menit masa reaksi akan dimulai</li> <li>- Setelah waktu tercapai, masukkan kuvet yang berisi blangko ke dalam Spektrofotometer DR/2010, kemudian tutup</li> <li>- Tekan ZERO, layar akan menampilkan 0,000 mg/liter S<sup>2-</sup></li> <li>- Setelah itu masukkan kuvet yang berisi sampel ke dalam Spektrofotometer DR/2010, kemudian tutup</li> <li>- Tekan READ, catat hasil analisa S<sup>2-</sup> yang akan ditunjuk pada layar</li> </ul>		
7.	Senyawa fenol total	Senyawa yang banyak digunakan dalam dunia industri seperti industri farmasi, perminyakan dan petrokimi, kulit dan industri cat, dan mempunyai efek karsinogenik.	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Dibuat larutan fenol 5 ppm dengan pelarut air bebas ion</li> <li>- Ditentukan panjang gelombang maksimum dengan menggunakan Spektrofotometer Hitachi U 2010</li> <li>- Spektra yang dihasilkan digunakan sebagai standar fenol murni</li> </ul>	Spektrofotometri	Laboratorium

8.	Kekeruhan	Sifat optik air yang ditentukan berdasarkan banyaknya cahaya yang masuk ke badan air	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Persiapan alat dan bahan yang akan digunakan</li> <li>- Menyambungkan turbidimeter dengan sumber listrik, diamkan selama 15 menit</li> <li>- Larutan standar diletakkan pada tempat sampel dalam turbidimeter, adakan pengukuran, sesuaikan dengan nilai standar</li> <li>- Sampel dimasukkan pada tempat sampel pada turbidimeter</li> <li>- Baca skala ukuran kekeruhan</li> </ul>	<i>Turbidimeter</i>	<i>In situ</i>
9.	DO	Jumlah oksigen terlarut dalam air yang berasal dari fotosintesa dan absorpsi atmosfer/udara.	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Tambahkan larutan <math>MnCl_2</math> dan <math>NaOH</math> pada sampel sehingga terjadi endapan <math>MnO_2</math>.</li> <li>- Tambahkan <math>H_2SO_4</math> atau <math>HCl</math></li> <li>- Titrasi dengan <math>Na_2S_2O_3</math> dan gunakan indikator larutan amilum</li> </ul>	Metode titrasi iodometri	mg $O_2$ /liter
10.	BOD	Banyaknya oksigen yang dibutuhkan oleh mikroorganisme untuk menguraikan bahan organik yang terdapat dalam air buangan secara biologi	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Tambahkan larutan <math>MnCl_2</math> dan <math>NaOH-KI</math> pada sampel sehingga terjadi endapan <math>MnO_2</math>.</li> <li>- Tambahkan <math>H_2SO_4</math> atau <math>HCl</math></li> <li>- Titrasi dengan larutan standar <math>Na_2S_2O_3</math> dan gunakan indikator larutan amilum (kanji)</li> </ul>	Metode Winkler (titrasi iodometri)	mg/liter
11.	Kecepatan arus	Besarnya aliran air dalam perairan	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Pelampung dilepas pada kira-kira 20-50 m di sebelah hulu observasi pertama</li> <li>- Setelah sampai pada titik observasi kedua, hentikan <i>stopwatch</i></li> <li>- Catat waktu sampai ke titik observasi kedua</li> </ul>	Bola tenis	cm/detik
12.	Kadmium	Logam yang tidak	- Sampel diproses dengan	SNI	mg/liter

	(Cd)	larut dalam air namun senyawa	asam, pisahkan jenis logamnya , sentrifugal dengan ekstraksi balik asam, analisa asam klorida	6989.16:2009	
13.	Tembaga (Cu)	Bahan yang berbentuk kristal dengan warna kemerahan dengan NA (nomor atom) 29 dan BA (berat atom) 63,546.	<ul style="list-style-type: none"> <li>- AAS dinyalakan 10-15 menit sebelum pemakaian</li> <li>- Masukkan larutan standar logam tertentu ke dalam tabung reaksi besar, untuk mengukur Cu dalam air maka menggunakan standar Cu dengan deret standar 1 ppm, 3 ppm, 5 ppm , 7 ppm dan 9 ppm</li> <li>- Masukkan sampel yang akan diukur kandungan logamnya dengan menggunakan tabung reaksi kecil</li> <li>- Untuk mengetahui kandungan Cu dalam sampel maka menggunakan lampu Cu</li> </ul>	AAS	mg/liter
14.	Timbal (Pb)	Unsur yang masuk dalam golongan IV-A pada tabel periodic unsure kimia, mempunyai NA 82 dan BA 207,2	<ul style="list-style-type: none"> <li>- AAS dinyalakan 10-15 menit sebelum pemakaian</li> <li>- Masukkan larutan standar logam tertentu ke dalam tabung reaksi besar, untuk mengukur Pb dalam air maka menggunakan standar Pb dengan deret standar 1 ppm, 3 ppm, 5 ppm , 7 ppm dan 9 ppm</li> <li>- Masukkan sampel yang akan diukur kandungan logamnya dengan menggunakan tabung reaksi kecil</li> <li>- Untuk mengetahui kandungan Pb dalam sampel maka</li> </ul>	SNI 06-6989.51-2005	mg/liter

			menggunakan lampu Pb		
15.	Seng (Zn)	Unsur yang ditemukan dalam jumlah melimpah di alam dan digunakan dalam industri besi baja, cat, karet, tekstil, kertas dan bubur kertas	<ul style="list-style-type: none"> <li>- AAS dinyalakan 10-15 menit sebelum pemakaian</li> <li>- Masukkan larutan standar logam tertentu ke dalam tabung reaksi besar, untuk mengukur Zn dalam air maka menggunakan standar Zn dengan deret standar 1 ppm, 3 ppm, 5 ppm, 7 ppm dan 9 ppm</li> <li>- Masukkan sampel yang akan diukur kandungan logamnya dengan menggunakan tabung reaksi kecil</li> <li>- Untuk mengetahui kandungan Zn dalam sampel maka menggunakan lampu Zn</li> </ul>	SNI 6989.7:2009	mg/liter
16.	Phytoplankton	Jasad hidup nabati (tumbuhan), hidup bebas, kemampuan terbatas, gerakannya mengikuti arus	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Phytoplankton yang akan diamati diteteskan di atas objek glass, ditutup dengan mikroskop cover glass</li> <li>- Atur posisi objek glass sehingga objek yang diamati berada pada lapangan pandang</li> <li>- Jepit objek glass dengan penjepit yang terletak di atas meja objek</li> <li>- Atur focus lensa dengan menaik turunkan lensa objektif</li> </ul>	Pencacahan	Laboratorium
17.	Zooplankton	merupakan organisme yang berukuran kecil yang hidupnya terombang-ambing oleh arus di lautan bebas yang hidupnya sebagai hewan	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Zooplankton yang akan diamati diteteskan di atas objek glass, ditutup dengan mikroskop cover glass</li> <li>- Atur posisi objek glass sehingga objek yang diamati berada pada lapangan pandang</li> </ul>	Pencacahan	Laboratorium

			<ul style="list-style-type: none"> <li>- Jepit objek glass dengan penjepit yang terletak di atas meja objek</li> <li>- Atur focus lensa dengan menaik turunkan lensa objektif</li> </ul>		
--	--	--	--	--	--

Tabel 4.2. Tabel Konseptual Variabel Kedua

No	Parameter	Definisi Konseptual	Cara Ukur	Alat ukur/ metode	Hasil ukur
<b>Parameter kedua</b>					
1.	<i>Air Ballast</i>	Air yang ditempatkan di kapal untuk menaikkan draft, mengubah trim, mengatur stabilitas atau menjaga beban stress dalam batas yang diterima; termasuk sedimen yang terakumulasi di tangki ballast dan palka			
<b>Parameter yang mempengaruhi</b>					
1.	Kebauan	Bau yang tidak diinginkan dalam kadar dan waktu tertentu yang dapat mengganggu kesehatan manusia dan kenyamanan lingkungan		Organoleptis	
2.	Padatan tersuspensi total (TSS)	Bahan tersuspensi (diameter > 1 µm) yang tertahan pada saringan <i>millipore</i> dengan diameter pori 0,45 µm.	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Ditimbang, catat kertas saring yang akan dipakai (A gr)</li> <li>- 500 ml sampel air saring, sisihkan dalam gelas piala</li> <li>- Kertas saring yang sudah dipakai tadi dikeringkan, diamkan pada suhu kamar</li> <li>- Setelah kering, kertas dan padatannya ditimbang (B gr)</li> <li>- Hitung</li> </ul>	Spektrofotometri	mg/liter

3.	Suhu	Ukuran atau derajat panas dinginnya suatu benda yang dinyatakan dengan satuan derajat	Alat dicelupkan ke perairan, tunggu beberapa menit dan dicatat suhunya	<i>pH meter dan thermometer PHDLX /SNI 06-6989.11-2004</i>	<sup>0</sup> C
4.	pH	Derajat keasaman yang digunakan untuk menyatakan tingkat keasaman	Buffer pH7, bilas elektroda dengan air, keringkan, nyatakan pH meter	<i>pH meter dan thermometer PHDLX /SNI 06-6989.11-2004</i>	
5.	Salinitas	Padatan total di dalam air, setelah semua karbonat dikonversi menjadi oksida, semua bromide dan iodide digantikan oleh klorida dan semua bahan organik telah dioksidasi.	- Alat dicelupkan ke perairan, beberapa saat muncul nilai salinitas dari alat tersebut	<i>Salinometer SA-287/Argentometri</i>	‰
6.	Sulfida (H <sub>2</sub> S)	Senyawa bersifat toksik serta menimbulkan bau, toksisitas ditandai dengan penurunan pH	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Tekan power pada alat Spektrofotometer DR/2010</li> <li>- Tekan nomor program 690 enter, layar akan menunjukkan dial pada 615 nm</li> <li>- Putar panjang gelombang hingga pada layar menunjukkan 665 nm</li> <li>- Tekan enter, layar akan menunjukkan mg/liter S<sup>2</sup>.</li> <li>- Pipet 25 ml sampel ke dalam kuvet (sebagai sampel)</li> <li>- Pipet 25 ml aquadest ke dalam kuvet (sebagai blangko)</li> <li>- Ditambahkan 1 ml Sulfide 1 Reagent ke dalam sampel dan blangko</li> <li>- Ditambahkan 1 ml Sufide 2 Reagent ke dalam sampel dan blangko</li> <li>- Tekan SHIFT TIMER, 5 menit masa reaksi akan</li> </ul>	Spektrofotometri	mg/liter

			<p>dimulai</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- Setelah waktu tercapai, masukkan kuvet yang berisi blangko ke dalam Spektrofotometer DR/2010, kemudian tutup</li> <li>- Tekan ZERO, layar akan menampilkan 0,000 mg/liter <math>S^{2-}</math></li> <li>- Setelah itu masukkan kuvet yang berisi sampel ke dalam Spektrofotometer DR/2010, kemudian tutup</li> <li>- Tekan READ, catat hasil analisa <math>S^{2-}</math> yang akan ditunjuk pada layar</li> </ul>		
7.	Senyawa fenol total	Senyawa yang banyak digunakan dalam dunia industri seperti industri farmasi, perminyakan dan petrokimi, kulit dan industri cat, dan mempunyai efek karsinogenik.	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Dibuat larutan fenol 5 ppm dengan pelarut air bebas ion</li> <li>- Ditentukan panjang gelombang maksimum dengan menggunakan Spektrofotometr Hitachi U 2010</li> <li>- Spektra yang dihasilkan digunakan sebagai standar fenolmurni</li> </ul>	Spektrofotometri	mg/liter
8.	Kadmium (Cd)	Logam yang tidak larut dalam air namun senyawa	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Sampel diproses dengan asam, pisahkan jenis logamnya , sentrifugal dengan ekstraksi balik asam, analisa asam klorida</li> </ul>	SNI 6989.16:2009	mg/liter
9.	Tembaga (Cu)	Bahan yang berbentuk kristal dengan warna kemerahan dengan NA (nomor atom) 29 dan BA (berat atom) 63,546.	<ul style="list-style-type: none"> <li>- AAS dinyalakan 10-15 menit sebelum pemakaian</li> <li>- Masukkan larutan standar logam tertentu ke dalam tabung reaksi besar, untuk mengukur Cu dalam air maka menggunakan standar Cu dengan deret standar 1 ppm, 3 ppm, 5 ppm , 7 ppm dan 9 ppm</li> <li>- Masukkan sampel yang akan diukur kandungan logamnya dengan menggunakan tabung</li> </ul>	AAS	mg/liter

			reaksi kecil - Untuk mengetahui kandungan Cu dalam sampel maka menggunakan lampu Cu		
10.	Timbal (Pb)	Unsur yang masuk dalam golongan IV-A pada tabel periodik unsur kimia, mempunyai NA 82 dan BA 207,2	- AAS dinyalakan 10-15 menit sebelum pemakaian - Masukkan larutan standar logam tertentu ke dalam tabung reaksi besar, untuk mengukur Pb dalam air maka menggunakan standar Pb dengan deret standar 1 ppm, 3 ppm, 5 ppm, 7 ppm dan 9 ppm - Masukkan sampel yang akan diukur kandungan logamnyadengan menggunakan tabung reaksi kecil - Untuk mengetahui kandungan Pb dalam sampel maka menggunakan lampu Pb	SNI 06-6989.51-2005	mg/liter
11.	Seng (Zn)	Unsur yang ditemukan dalam jumlah melimpah di alam dan digunakan dalam industri besi baja, cat, karet, tekstil, kertas dan bubuk kertas	- AAS dinyalakan 10-15 menit sebelum pemakaian - Masukkan larutan standar logam tertentu ke dalam tabung reaksi besar, untuk mengukur Zn dalam air maka menggunakan standar Zn dengan deret standar 1 ppm, 3 ppm, 5 ppm, 7 ppm dan 9 ppm - Masukkan sampel yang akan diukur kandungan logamnyadengan menggunakan tabung reaksi kecil - Untuk mengetahui kandungan Zn dalam sampel maka menggunakan lampu Zn	SNI 6989.7:2009	mg/liter
12.	Phytoplankton	Jasad hidup nabati (tumbuhan), hidup bebas, kemampuan	- Phytoplankton yang akan diamati diteteskan di atas objek glass, ditutup	Pencacahan	Laboratorium

		terbatas, gerakannya mengikuti arus	<p>dengan mikroskop cover glass</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- Atur posisi objek glass sehingga objek yang diamati berada pada lapangan pandang</li> <li>- Jepit objek glass dengan penjepit yang terletak di atas meja objek</li> <li>- Atur focus lensa dengan menaik turunkan lensa objektif</li> </ul>		
13.	Zooplankton	merupakan organisme yang berukuran kecil yang hidupnya terombang-ambing oleh arus di lautan bebas yang hidupnya sebagai hewan	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Zooplankton yang akan diamati diteteskan di atas objek glass, ditutup dengan mikroskop cover glass</li> <li>- Atur posisi objek glass sehingga objek yang diamati berada pada lapangan pandang</li> <li>- Jepit objek glass dengan penjepit yang terletak di atas meja objek</li> <li>- Atur focus lensa dengan menaik turunkan lensa objektif</li> </ul>	Pencacahan	Laboratorium

Tabel 4.3. Kepatuhan awak kapal niaga terhadap peraturan BWM

No.	Indikator	Dokumen/Metode	Pelaksana
1	Melakukan pertukaran <i>air ballast</i> di tengah laut	<i>Ballast Water Record Book</i>	Ya/Tidak
2	Perencanaan manajemen <i>air ballast</i>	<i>Ballast Water Management Plan</i>	Ya/Tidak
3	Lokasi pertukaran <i>air ballast</i> di tengah laut	<i>Ballast Water Record Book</i>	Ya/Tidak
4	Pemenuhan aturan <i>ballast water</i> manajemen	<i>International Ballast Water Management Certificate</i>	Ya/Tidak
5	Pertukaran <i>air ballast</i> di tengah laut dengan proses <i>sequential</i>	Proses pada tangki <i>ballast</i> yang membawa <i>air ballast</i> dengan pengosongan tangki, kemudian diisi kembali dengan <i>air ballast</i> untuk memperoleh	Ya/Tidak

		paling sedikit 95% pertukaran volumetrik	
6	Pertukaran <i>air ballast</i> di tengah laut dengan proses <i>dilution</i>	Proses penggantian <i>air ballast</i> dengan pengisian dari puncak tangki <i>ballast</i> sambil melakukan pengeluaran <i>air ballast</i> dari dasar tangki dan dijaga pada level yang konstan melalui sistem pertukaran <i>ballast</i>	Ya/Tidak
7	Pertukaran <i>air ballast</i> di tengah laut dengan proses <i>flow through</i>	Proses penggantian <i>air ballast</i> dengan pemompaan ke tangki <i>ballast</i> untuk membawa <i>air ballast</i> , sehingga air mengalir melalui pipa <i>overflow</i> atau <i>manhole</i>	Ya/Tidak
8	Pengolahan <i>air ballast</i> di kapal dengan sistem mekanis	Filtrasi, pemisahan siklonik atau pemisahan <i>elektro-mekanis</i>	Ya/Tidak
9	Pengolahan <i>air ballast</i> di kapal dengan desinfeksi fisik	Berupa sistem ultraviolet, kavitasi/ultrasonik atau deoksigenasi	Ya/Tidak
10	Pengolahan <i>air ballast</i> di kapal dengan kimia	Berupa desinfeksi biosida, elektronik klorinasi, substansi aktif atau preparat/ bahan tambahan	Ya/Tidak

### 3. Definisi operasional variabel

Tabel 4.4. Tabel Definisi Operasional Variabel Pertama

No	Parameter	Cara pengukuran/ pengumpulan data	Skala variabel	Satuan Variabel	Rentang nilai variabel
Parameter Pertama					
1.	Perairan pelabuhan				
Parameter yang mempengaruhi					
1.	Kebauan	Pengambilan sampel dan pengujian laboratorium	Rasio	-	
2.	Kekeruhan	Pengambilan sampel di lapangan	Rasio	NTU	

3.	Padatan tersuspensi total (TSS)	Pengambilan sampel dan pengujian laboratorium	Rasio	mg/liter	
4.	Suhu	Pengukuran langsung dilakukan dengan thermometer	Rasio	<sup>0</sup> C	Suhu normal
5.	pH	Pengambilan sampel dan pengujian <i>in situ</i>	Rasio	–	
6.	Salinitas	Pengambilan sampel dan pengujian <i>in situ</i>	Rasio	‰	
7.	H <sub>2</sub> S	Pengambilan sampel dan pengujian laboratorium	Rasio	mg/liter	
8.	Senyawa fenol total	Pengambilan sampel dan pengujian laboratorium	Rasio	mg/liter	
9.	DO	Pengambilan sampel dan pengujian laboratorium	Rasio	mg O <sub>2</sub> /liter	
10.	BOD	Pengambilan sampel dan pengujian laboratorium	Rasio	mg/liter	
11.	Kecepatan arus	Pengambilan sampel di lapangan	Rasio	cm/detik	
12.	Cd	Pengambilan sampel dan pengujian laboratorium	Rasio	mg/liter	
13.	Cu	Pengambilan sampel dan pengujian laboratorium	Rasio	mg/liter	
14.	Pb	Pengambilan sampel dan pengujian laboratorium	Rasio	mg/liter	
15.	Zn	Pengambilan sampel dan pengujian laboratorium	Rasio	mg/liter	
16.	Phytoplankton	Pengambilan sampel dan pengujian laboratorium	Rasio	Jumlah individu/l	
17.	Zooplankton	Pengambilan sampel dan pengujian laboratorium	Rasio	Jumlah individu/l	

Tabel 4.5. Tabel Definisi Operasional Variabel Kedua

No	Parameter	Cara pengukuran/ pengumpulan data	Skala variabel	Satuan Variabel	Rentang nilai variabel
Parameter Kedua					
1.	Air ballast	Air yang ditempatkan di kapal untuk menaikkan draft,			

		mengubah trim, mengatur stabilitas atau menjaga beban stress dalam batas yang diterima; termasuk sedimen yang terakumulasi di tangki ballast dan palka			
Parameter yang mempengaruhi					
1.	Kebauan	Pengambilan sampel dan pengujian laboratorium	Rasio	-	
2.	Padatan tersuspensi total (TSS)	Pengambilan sampel dan pengujian laboratorium	Rasio	mg/liter	
3.	Suhu	Pengukuran langsung dilakukan dengan thermometer	Rasio	<sup>0</sup> C	Suhu normal
4.	pH	Pengukuran langsung dilakukan dengan ph meter	Rasio	-	
5.	Salinitas	Pengukuran langsung dilakukan dengan salinometer	Rasio	‰	
6.	H <sub>2</sub> S	Pengambilan sampel dan pengujian laboratorium	Rasio	mg/liter	
7.	Senyawa fenol total	Pengambilan sampel dan pengujian laboratorium	Rasio	mg/liter	
8.	Cd	Pengambilan sampel dan pengujian laboratorium	Rasio	mg/liter	
9.	Cu	Pengambilan sampel dan pengujian laboratorium	Rasio	mg/liter	
10.	Pb	Pengambilan sampel dan pengujian laboratorium	Rasio	mg/liter	
11.	Zn	Pengambilan sampel dan pengujian laboratorium	Rasio	mg/liter	
12.	Phytoplankton	Pengambilan sampel dan pengujian laboratorium	Rasio	Jumlah individu/l	
13.	Zooplankton	Pengambilan sampel dan pengujian laboratorium	Rasio	Jumlah individu/l	

## **E. Materi Penelitian**

Materi yang dikaji dalam penelitian ini sebagai berikut.

- a. Sampel air laut pada stasiun yang ditentukan meliputi parameter fisika (kecepatan arus, kebauan, suhu, TSS, TDS, kekeruhan), kimia (DO, BOD, pH, salinitas, H<sub>2</sub>S, alkalinitas, senyawa fenol total) dan logam berat (Cd, Cu, Pb, Zn). Untuk parameter biologi meliputi organisme phytoplankton dan zooplankton
- b. Sampel air laut dalam tangki *ballast* pada kapal niaga meliputi parameter fisika (kebauan, TSS, suhu), parameter kimia (DO, pH, salinitas, H<sub>2</sub>S, senyawa fenol total), logam berat (Cd, Cu, Pb, Zn). Untuk parameter biologi meliputi organisme dalam air *ballast* yang meliputi kelimpahan phytoplankton, zooplankton
- c. Sampel kepatuhan awak kapal niaga di PTES dalam mengimplementasikan Konvensi *Ballast Water Management* yang diambil meliputi awak kapal niaga yang kapalnya bersandar di PTES baik mahasiswa yang sedang melaksanakan praktek laut di kapal niaga tersebut, pelaut di atas kapal niaga

## **F. Teknik Pengumpulan Data**

- a. Sampel phytoplankton dan zooplankton dalam perairan pelabuhan
  - 1). Menyiapkan peralatan dan bahan *in situ* penelitian yang digunakan (Fachrul, 2007 dan Yulianto & Effendi, 2012) meliputi plankton net ukuran 30  $\mu$ m, planktonet ukuran 150  $\mu$ m, alat GPS (*Global Positioning System*) untuk ketepatan dalam penentuan stasiun, *current*

*meter* untuk mengukur kecepatan arus air, piring secchi (*sechii disk*) untuk mengukur kecerahan perairan, larutan lugol atau formalin dengan konsentrasi 4% untuk pengawetan sampel, tali untuk mengukur kedalaman perairan, bola meja tenis, arloji atau *stopwatch*, thermometer, pipet tetes, botol sampel, jeriken ukuran 5 liter untuk pengambilan contoh air.

- 2). Menuju lokasi yang telah ditentukan sesuai rencana penelitian (dimulai dari stasiun 1 menuju ke stasiun 8). Pada stasiun 1, kapal dihentikan setelah sesuai dengan lokasi yang ditentukan/diset oleh GPS.
- 3). Pada stasiun 1 tersebut diambil sampel air untuk parameter fisika, kimia dan logam berat dimulai dengan mengambil sampel pada permukaan kemudian dimasukkan ke dalam *water sampler @ 5 liter*. Untuk sampel air di dasar perairan dilakukan dengan mencelupkan ember yang telah diberi pemberat, sehingga sampel air yang terambil juga dapat dimasukkan ke dalam *water sampler* sebanyak 5 liter.
- 4). Untuk sampel pythoplankton dilakukan dengan menarik jala planktonet berukuran 30  $\mu\text{m}$  dari permukaan (dengan kecepatan 10 cm/detik) kemudian dimasukkan ke dalam botol sampel 50 ml, diberi 20 tetes larutan lugol, ditutup, kemudian dikocok dan dimasukkan ke dalam thermos es yang telah diberi es. Untuk sampel phytoplankton pada dasar perairan dilakukan dengan memasukkan planktonet yang telah diberi pemberat agar dapat turun sampai ke dasar perairan,

kemudian diangkat dengan kecepatan 10 cm/detik, dimasukkan ke dalam botol sampel @ 50 ml, ditetesi dengan 20 tetes larutan lugol, ditutup kemudian dikocok, dimasukkan ke dalam thermos es yang telah diberi es sebagai pengawet sampel.

- 5). Demikian juga untuk sampel zooplankton, prosedurnya sama dengan point 4, hanya yang digunakan adalah planktonet zooplankton dengan ukuran jala 150  $\mu\text{m}$
- 6). Untuk sampel phytoplankton dan zooplankton segera dibawa ke laboratorium mikrobiologi untuk segera dilakukan analisis. Sedangkan untuk analisis fisika, kimia dan logam berat (pada 2 buah *water sampler* @ 5 liter) dapat segera dibawa ke laboratorium kimia untuk juga dilakukan analisis.
- 7). Menyiapkan peralatan *ex situ* dalam analisis meliputi *Sedgewick Rafter* untuk melakukan penghitungan plankton, mikroskop untuk pencacahan dan analisis jenis dan morfologi plankton.

b. Sampel logam berat di dalam perairan pelabuhan

- 1). Pengambilan contoh dilakukan dengan menyiapkan peralatan botol *vandorn water sampler*. Contoh air yang diambil berjumlah 250 ml kemudian contoh air dimasukkan ke dalam botol yang sudah disterilkan dan ditambahkan asam nitrat sebagai pengawet dan disimpan dalam *cool box*.
- 2). Contoh sedimen dilakukan dengan menggunakan *ekman grab* dan dimasukkan ke dalam plastik, selanjutnya disimpan dalam *coolbox*.

3). Contoh air dan sedimen dibawa ke laboratorium untuk dianalisis.

c. Sampel phytoplankton dan zooplankton dalam tangki ballast kapal niaga

- 1). Menyiapkan peralatan dan bahan *in situ* penelitian yang digunakan (Fachrul, 2007) meliputi pompa untuk mengambil sampel air dari tangki ballast (spesifikasi merk Sanyo, model P-WH137C, sumber tegangan 220 V ~ 50 Hz, daya keluaran 125 W, kapasitas air maksimum 30 liter/menit), selang isap (diameter  $\frac{3}{4}$ " , panjang 10 meter), plankton net ukuran 30  $\mu$ m dan 150  $\mu$ m, larutan lugol atau formalin dengan konsentrasi 4% untuk pengawetan sampel, *ice box*, es batu, sounding meter untuk mengukur kedalaman tangki ballast, pH meter dan thermometer, pipet tetes, botol sampel, thermos es, es untuk pengawetan sampel
- 2). Menghubungi agen/pemilik kapal untuk memperoleh informasi kapan dan dimana kapal sandar
- 3). Naik ke kapal untuk bertemu dengan *Chief Officer*, menanyakan DWT kapal, jumlah tangki *ballast*, kapasitas tangki *ballast*, air laut pada tangki *ballast* yang dapat diambil sampelnya, asal pelabuhan .
- 4). Mengambil 10 liter air sampel dan dimasukkan ke dalam dua buah jeriken @ 5 liter, untuk sampel phytoplankton dan zooplankton, diambil dengan menyaring air 100 liter yang disaring dengan menggunakan jaring plankton net ukuran 30  $\mu$ m dan 150  $\mu$ m. Sampel air untuk phytoplankton (dua buah tabung @ 50 ml) masing-masing ditetesi dengan 20 tetes larutan lugol, dikocok kemudian ditutup dan

dimasukkan ke dalam thermos es yang telah diberi es batu sebagai pengawet sampel. Demikian juga untuk sampel zooplankton (dua tabung @ 100 ml), masing-masing ditetesi terlebih dahulu dengan 20 tetes larutan lugol, dikocok, ditutup dan dimasukkan ke dalam thermos es yang telah diberi es sebagai pengawet.

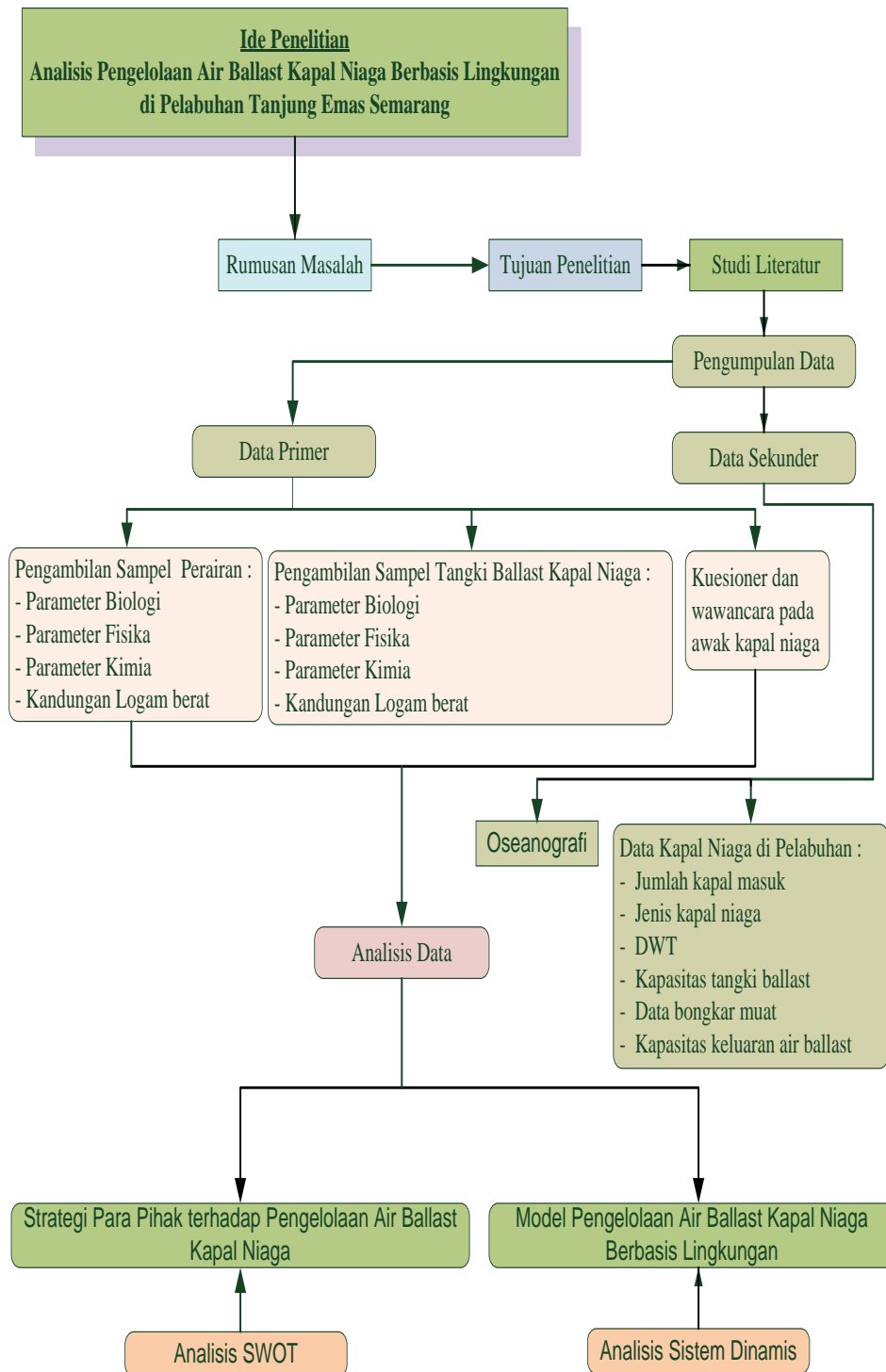
- 5). Pengambilan sampel dilakukan dua kali yaitu dengan memasukkan ujung pipa isap pada permukaan dan di dekat dasar tangki *ballast*.
- 6). Menuju ke geladak kapal untuk mengambil sampel air dari pipa sounding pada tangki yang akan diambil sampelnya dengan menggunakan pompa portabel yang dibawa.
- 7). Bila tidak memungkinkan yaitu kondisi kapal *laden*, sampel air *ballast* dapat diambil dengan membuka terlebih dahulu *cover man hole*, setelah terbuka barulah sampel air *ballast* dapat diambil.
- 8). Bila hal tersebut tidak juga tidak memungkinkan maka dapat menuju ke *engine room* untuk mengambil sampel air *ballast* pada Pompa *Ballast* dengan cara mengendorkan pipa penghubung yang menuju ke manometer, sehingga air *ballast* dapat keluar melalui pipa yang nipple dikendorkan tersebut.
- 9). Keempat botol sampel selanjutnya segera dibawa ke laboratorium untuk dilakukan identifikasi.
- 10). Menyiapkan peralatan *ex situ* dalam analisis meliputi *Sedgewick Rafter* untuk melakukan penghitungan plankton, mikroskop untuk

pencacahan dan analisis jenis dan morfologi plankton (dari buku Tomas, 1997)

- b. Sampel logam berat di dalam tangki ballast kapal niaga
- 1). Menyiapkan peralatan dan bahan *in situ* penelitian yang digunakan (Fachrul, 2007 dan Yulianto & Effendi, 2012) meliputi pompa untuk mengambil sampel air dari tangki *ballast* (spesifikasi merk Sanyo, model P-WH137C, sumber tegangan 220 V ~ 50 Hz, daya keluaran 125 W, kapasitas air maksimum 30 liter/menit), selang isap (diameter  $\frac{3}{4}$ " , panjang 10 meter), *sounding* meter untuk mengukur kedalaman tangki *ballast*, pH meter dan thermometer.
  - 2). Menghubungi agen/pemilik kapal untuk memperoleh informasi kapan dan dimana kapal sandar
  - 3). Naik ke kapal untuk bertemu dengan *Chief Officer*, menanyakan DWT kapal, jumlah tangki ballast, kapasitas tangki *ballast*, air laut pada tangki *ballast* yang dapat diambil sampelnya, asal pelabuhan .
  - 4). Contoh air yang diambil pertama dilakukan dengan memasukkan selang isap di dekat permukaan tangki *ballast*, pada saat pompa sedang bekerja, dengan menyiapkan peralatan botol *vandorn water sampler*. Contoh air yang diambil berjumlah 250 ml kemudian contoh air dimasukkan ke dalam botol yang sudah disterilkan dan ditambahkan asam nitrat sebagai pengawet dan disimpan dalam *cool box*.

- 5). Contoh air yang kedua diambil dengan memasukkan selang isap di dekat dasar tangki. Contoh air yang diambil berjumlah 250 ml kemudian contoh air dimasukkan ke dalam botol yang sudah disterilkan dan ditambahkan asam nitrat sebagai pengawet dan disimpan dalam *cool box*
- 6). Kedua sampel air pada satu tangki *ballast* segera dibawa ke laboratorium.

## G. Alur Penelitian



Gambar 4.2. Alur Penelitian

Dari Gambar 4.2. tentang alur penelitian dapat dijelaskan bahwa air *ballast* yang terdapat pada kapal mengandung empat parameter yaitu parameter kimia, fisika, biologi dan logam berat. Parameter fisika meliputi kecerahan, kebauan, padatan tersuspensi total, suhu. Parameter kimia meliputi pH, salinitas, hidrogen sulfida (H<sub>2</sub>S), senyawa phenol total, nitrat dan fosfat. Kandungan logam berat meliputi kadmium, tembaga, timbal dan seng dipengaruhi oleh air yang diambil dari pelabuhan sebelumnya yang masuk ke dalam tangki *ballast* dan berpotensi menyebabkan pencemaran apabila dibuang di pelabuhan selanjutnya pada saat mengatur stabilitas kapal.

Data sekunder yang mempengaruhi air *ballast* kapal niaga meliputi jumlah dan jenis kapal niaga yang masuk ke PTES, DWT (Dead Weight Ton/bobot mati) kapal niaga, kapasitas tangki *ballast*, data bongkar muat dan kapasitas keluaran air *ballast* dari kapal niaga. Data sekunder lainnya yang mempengaruhi yaitu oceanografi yaitu arus, angin, mawar arus, jenis pasang surut yang berdampak pada sebaran keluaran air ballast kapal niaga.

Dampak sebaran keluaran air ballast dapat dihitung dengan teori Wolinsky & Pratson (2007) yang dipengaruhi oleh kecepatan arus maksimum, faktor pengali berdasarkan pasut dan konstanta hanyut.

Parameter biologi di dalam tangki ballast adalah organisme yang dapat bertahan dalam kondisi yang mengandung udara yang sedikit dan tanpa adanya sinar matahari. Air ballast mengandung empat komunitas hidup yaitu 1) plankton (organisme yang melayang secara pasif atau berenang di air), 2)

nekton (spesies yang berenang bebas di air, 3) *fouling* (organisme yang menempel, termasuk bakteri film, pada struktur dinding vertical dan horizontal dari kompartemen ballast, 4) *benthos*, tinggal di dasar, atau *benthic*, organisme semacam cacing laut yang tinggal di dasar yang berlumpur dan spesies yang terkait, dan kista, resting, tingkat tanaman plankton (phytoplankton) dan binatang plankton (zooplankton).

Dengan diperolehnya data spesies, jumlah kapal, kapasitas air ballast kapal di pelabuhan, pola rute kapal yang mendatangi suatu pelabuhan dapat diperoleh data yang dapat digunakan dalam menyusun strategi pengendalian spesies asing dan logam berat berdasarkan analisis sistem dinamis.

Pada tangki *ballast* terdapat air laut yang dipengaruhi oleh parameter fisika, kimia, biologi dan logam berat. Demikian juga pada perairan pelabuhan. Unsur abiotik sendiri mengandung dua parameter yaitu parameter kimia dan fisika. Parameter fisika pada perairan pelabuhan yang diteliti meliputi kecerahan, kebauan, padatan tersuspensi total, suhu. Parameter kimia meliputi DO, pH, salinitas, sulfida ( $H_2S$ ), senyawa phenol total. Kandungan logam berat meliputi kadmium, tembaga, timbal dan seng dipengaruhi oleh air yang diambil dari pelabuhan sebelumnya yang masuk ke dalam tangki *ballast* dan berpotensi menyebabkan pencemaran apabila dibuang di pelabuhan saat kapal tersebut mengisi muatan untuk mengatur stabilitas kapal.

Peran serta awak kapal niaga dalam mengendalikan spesies asing sangat berperan yaitu sejauh mana masyarakat mengetahui dan melaksanakan

regulasi yang ada yaitu standar D 1 (pertukaran air ballast), D2 (pengolahan air *ballast*) dan D3 (sistem manajemen air *ballast* disyahkan oleh Administrasi). Bagaimana peran perusahaan pelayaran dalam menerapkan teknologi pengolahan air *ballast* untuk meminimalkan polusi spesies asing pada perairan pelabuhan.

Dari data yang diperoleh, kemudian dianalisis dengan analisa SWOT dan analisa sistem dinamis untuk memperoleh rumusan evaluasi dan kontrol para pihak terhadap pengelolaan air *ballast* kapal niaga dan pengelolaan air *ballast* berbasis lingkungan.

## **H. Pengolahan dan Analisis Data**

### 1. Pengolahan data

Pengolahan data adalah kegiatan yang dilakukan meliputi *editing*, *coding* tabulasi, *coding* dan jenis pertanyaan, tempat kode dan tabulasi (Fauzi, 2009). Editing adalah pengecekan atau pengkoreksian data yang telah dikumpulkan, karena kemungkinan data yang masuk (*raw data*) atau data terkumpul itu tidak logis atau meragukan, *coding* merupakan usaha mengklasifikasi jawaban para responden menurut macamnya. Tabulasi merupakan kegiatan menyusun data ke dalam bentuk tabel. Selanjutnya data yang diperoleh diolah dengan menggunakan program statistik SPSS for Windows versi 21.

## 2. Analisis data

- a. Korelasi phytoplankton, zooplankton dan logam berat dalam tangki *ballast* kapal niaga dan perairan pelabuhan terhadap dampak lingkungan

- 1). Identifikasi phytoplankton di perairan pelabuhan

Identifikasi phytoplankton meliputi phytoplankton endemis yang terdapat pada perairan pelabuhan, parameter lingkungan selain kedalaman, kecepatan arus, arah arus pada tiap stasiun juga parameter fisika (kecerahan, BOD, DO, suhu), parameter kimia (pH, salinitas), sedangkan phytoplankton dianalisis menggunakan kelimpahan individu (N), indeks keanekaragaman jenis ( $H'$ ), indeks kemerataan (E), indeks dominansi (D), saprobik indeks (SI) dan total saprobik indeks (TSI) (Wibisono, 2005 & Effendi, 2007).

Berikut analisis yang dilakukan pada phytoplankton di perairan pelabuhan:

- a). Kelimpahan individu (N).....(Wibisono, 2005 & Effendi, 2003)

$$N = \frac{1}{A} \times \frac{B}{C} \times \frac{D}{E} \times F, \text{ dimana}$$

N = kelimpahan (individu /liter)

A = volume air tersaring (liter)

B = volume air dalam sampel (125 ml)

C = volume preparat saat identifikasi (1 ml)

D = luas *cover glass* (mm<sup>2</sup>)

E = luas lapang pandang (mm<sup>2</sup>)

F = rata-rata jumlah individu yang teramati

- b). Indeks keanekaragaman jenis (H') ..(Wibisono, 2005 & Effendi, 2003)

Indeks keanekaragaman jenis (*diversity index*) dan indeks pemerataan (*equitability index*) menurut Shannon-Wier (1949)

$H' = - \sum (p_i \ln p_i)$ , dimana

H' = indeks keanekaragaman jenis

N<sub>i</sub> = kelimpahan jenis pada peringkat ke -1

N = kelimpahan total

- c). Indeks pemerataan (E) .....(Wibisono, 2005 & Effendi, 2003)

$$E = \frac{H^1}{H^1 \text{maks}} \text{ dimana}$$

E = (Indeks pemerataan atau kemantapan)

$H_{\text{maks}} = \log_2 S = 3,3219 \log_{10} S$

S = jumlah taksa dalam suatu komunitas

- d). Indeks dominansi (D) .....( Wibisono, 2005 & Effendi, 2003)

Untuk mengetahui adanya dominasi jenis tertentu di perairan dapat digunakan indeks dominansi Simpson,

$$D = \sum_{i=1}^S \left| \frac{n_i}{N} \right|^2, \text{ dimana}$$

D = indeks dominansi Simpson

N<sub>i</sub> = jenis individu jenis ke -i

N = jumlah total individu

S = jumlah genera

Indeks dominansi antara 0-1

D = 0, berarti tidak terdapat spesies yang mendominasi spesies lainnya atau struktur komunitas dalam keadaan stabil

D = 1, berarti terdapat spesies yang mendominasi spesies lainnya atau struktur komunitas labil, karena terjadi tekanan ekologis.

e). Saprobik Indeks (SI).....Persoone & de Pauw dalam Anggoro (1988), (Wibisono,2005 & Effendi, 2003)

Digunakan untuk mengetahui tingkat pencemaran terhadap bahan organik pada air.

$$SI = \frac{C+3D+B-3}{A+B+C+D} \text{ dimana,}$$

SI = koefisien saprobik (-3 sampai dengan 3)

A = kelompok organisme Ciliata

C = kelompok organisme Chlorococcales dan Diatomae

D = kelompok organisme Peridinae, Chrysophyceae dan Conjugaceae

A, B, C dan D = jumlah organisme yang berbeda di dalam masing-masing kelompok

f). Tropik Saprobik Indeks (TSI).....Persoone & de Pauw dalam Anggoro (1988)

$$TSI = \frac{1(nC) + 3(nD) + (nB) - 3(nA)}{1(nA) + 3(nB) + 1(nC) + 1(nD)} \times \frac{nA + nB + nC + nD + nE}{nA + nB + nC + nD}$$

dimana,

N = jumlah individu organisme pada setiap kelompok saprobitas

nA = jumlah individu penyusun kelompok Polysaprobik

nB = jumlah individu penyusun kelompok  $\alpha$ -Mesosaprobik

nC = jumlah individu penyusun kelompok  $\beta$ -Mesosaprobik

nD = jumlah individu penyusun kelompok Ologosaprobik

nE = jumlah individu penyusun selain A, B, C dan D

2). Identifikasi zooplankton dalam perairan pelabuhan

Identifikasi zooplankton meliputi zooplankton endemis yang terdapat pada perairan pelabuhan, parameter lingkungan yang

diteliti meliputi parameter fisika (kecerahan, BOD, DO, suhu), parameter kimia (pH, salinitas, nitrat, fosfat). Parameter yang diteliti pada tiap stasiun juga arah arus, kecepatan arus. Zooplankton dianalisis menggunakan kelimpahan individu (N), indeks keanekaragaman jenis ( $H'$ ), indeks kemerataan (E) dan indeks dominansi (D) (Wibisono, 2005 & Effendi, 2003).

3). Identifikasi phytoplankton dalam tangki *ballast* kapal niaga

Identifikasi phytoplankton meliputi phytoplankton yang terdapat pada tangki ballast kapal niaga yang datang ke PTES, parameter lingkungan yang diteliti meliputi parameter fisika (kebauan, TSS, suhu), parameter kimia (pH, salinitas,  $H_2S$ , senyawa fenol total). Phytoplankton yang dianalisis menggunakan kelimpahan individu (N), indeks keanekaragaman jenis ( $H'$ ), indeks kemerataan (E), indeks dominansi (D), saprobik indeks (SI) dan total saprobik indeks (TSI) (Wibisono, 2005 & Effendi, 2003).

4). Identifikasi zooplankton dalam tangki *ballast* kapal niaga

Parameter lingkungan yang dianalisis sama dengan phytoplankton sedangkan untuk zooplankton yang dianalisis meliputi kelimpahan individu (N), indeks keanekaragaman jenis ( $H'$ ), indeks kemerataan (E) dan indeks dominansi (D) (Wibisono, 2005 & Effendi, 2003).

5). Identifikasi logam berat di perairan pelabuhan dan tangki *ballast* kapal niaga

Identifikasi yang dilakukan pada logam berat di perairan pelabuhan meliputi 8 stasiun pada kolam pelabuhan yang telah ditetapkan dengan tiap stasiunnya diambil 2 contoh sampel yaitu 0,5 m di bawah permukaan air dan pada sedimen dengan menggunakan *grap*. Logam berat yang diteliti pada perairan pelabuhan meliputi Cd, Cu, Pb, dan Zn. Parameter lingkungan perairan pelabuhan yang diamati meliputi parameter fisika (kebauan, TSS, suhu), parameter kimia (pH, salinitas, surfaktan, H<sub>2</sub>S, phenol). Untuk identifikasi logam berat pada tangki *ballast* kapal niaga dilakukan pada satu tangki *ballast* kapal niaga yang sedang bersandar di dermaga kolam PTES. Setiap tangki diambil dua buah sampel yaitu pada permukaan air dan dasar tangki yang meliputi parameter fisika (kebauan, TSS, suhu), parameter kimia (pH, salinitas, surfaktan, H<sub>2</sub>S, phenol) dan kandungan Cd, Cu, Pb dan Zn dikaitkan dengan baku mutu untuk perairan pelabuhan sesuai keputusan Menteri Negara Lingkungan Hidup Nomor 51/2004.

Penentuan konsentrasi logam berat dengan cara langsung untuk contoh air dan cara kering (pengabuan) untuk contoh sedimen. Pengukuran logam berat dengan menggunakan AAS (*Atomic Absorption Spectrofotometry*). Selanjutnya dihitung dengan

formula:

$$\text{Logam berat (ppm)} = \frac{[(Ac - Ab) - a] \times 100}{b \times W (\text{gr}) \times 1000} \quad \text{dimana,}$$

Ac : absorban contoh

Ab : Absorban blangko

a : Intercept dari persamaan regresi standar

b : Slope dari persamaan regresi standar

W : berat contoh (gram)

6). Kapasitas tangki *ballast* kapal niaga di pelabuhan

Air *ballast* yang dikeluarkan dari kapal niaga di sebuah pelabuhan dilakukan dengan analisis deskriptif dilakukan melalui statistika deskriptif, yaitu statistik yang digunakan untuk menganalisis data dengan cara mendeskripsikan atau menggambarkan data yang telah terkumpul dengan menggunakan penyajian data melalui tabel, grafik, diagram, persentase, frekuensi, perhitungan mean, median atau modus (Muhidin & Abdurahman, 2007), menggunakan data kapal niaga (di atas 400 GRT) yang melakukan pemuatan kargo (IMO & Butron et al., 2011) bahwa kapasitas air *ballast* kapal niaga dapat dihitung dari DWT dimana untuk kapal kargo 36,5%, curah padat 35%, curah cair 35%, container 30%, kargo campuran 33% dan Ro-Ro 33%. Kapasitas keluaran air *ballast* dihitung berdasarkan kapasitas kargo yang dimuat (David et al.,

2012), bila kargo yang dimuat kurang dari 50% DWT maka keluaran air *ballast* 20% dari muatan, bila memuat 50-80% DWT maka keluaran air *ballastnya* 25% dari muatan, dan bila lebih dari 80% DWT maka keluaran air *ballastnya* 33% dari muatan. Kandungan logam berat pada tangki *ballast* kapal

- 7). Korelasi phytoplankton, zooplankton dan logam berat pada air *ballast* kapal niaga dan perairan pelabuhan

Untuk mengetahui keeratan hubungan antara phytoplankton, zooplankton dan logam berat pada air ballast kapal niaga dibuat analisis korelasi, demikian juga untuk mengetahui keeratan hubungan antara phytoplankton, zooplankton dan logam berat pada perairan pelabuhan PTES dibuat analisis korelasi (Riduwan, 2009). Pengolahan data menggunakan SPSS for Windows Versi 21. Adapun koefisien korelasi antara antara phytoplankton, zooplankton dan logam berat pada air *ballast* kapal niaga dapat dihitung dengan rumus:

$$r = \frac{S_{xyz}}{\sqrt{(S_{xyz})^2 (S_x)^2 (S_y)^2 (S_z)^2}} \quad \text{dimana,}$$

$r$  = koefisien rata-rata korelasi

$S_{xyz}$  = sebaran nilai pengamatan x, y dan z

$S_x^2$  = keragaman nilai

$S_y^2$  = sebaran nilai y

$S_z^2 =$  sebaran nilai  $z$

- b. Implementasi awak kapal niaga dalam mematuhi ketentuan Konvensi *Ballast Water Management* yang telah ditetapkan IMO menggunakan kuesioner untuk menjawab pertanyaan sejauh mana Konvensi BWM telah dilaksanakan dan juga wawancara dengan responden. Metode dalam penarikan kesimpulan dengan menggunakan skala Guttman, responden diberi pertanyaan untuk menjawab ya dan tidak, ya diberi angka satu dan tidak diberi angka nol. Skala ini bertujuan untuk menentukan hingga manakah suatu skala sikap berdimensi satu atau *unidimensional*. Artinya apakah skala itu mengukur dimensi yang sama dari sikap tertentu dalam berbagai intensitas, dari yang paling kuat sampai yang paling lemah (Nasution, 2009). Analisis yang digunakan dengan deskriptif, dimana pada kuesioner ditanyakan kepada responden apakah pada kapalnya telah menerapkan *Konvensi Ballast Water Management*, dengan melihat ada tidaknya sertifikat *Konvensi Ballast Water Management*, dokumen *Ballast Water Record Book* dan dokumen *Ballast Water Management Plan*, untuk skala sikap ditanyakan apakah sudah melakukan pertukaran *air ballast*. Dari kuisisioner yang diedarkan tersebut dapat dilihat sejauh mana kapalnya baik yang berlayar di dalam negeri ataupun di luar negeri dalam menerapkan aturan. Sedangkan pada analisis kuantitatif, ditentukan dengan mencari batas yang disebut KR (*Koefisien Reproducibilitas*). Uji

lainnya yang dilakukan yaitu uji korelasi koefisien *Cramer* (Sujarweni, 2014).

- c. Strategi yang dilakukan para pihak di pelabuhan Tanjung Emas Semarang terhadap pengelolaan air *ballast* kapal niaga

Untuk merumuskan strategi yang dilakukan para pihak di pelabuhan Tanjung Emas Semarang dilakukan dengan analisis SWOT dan dengan dilakukan wawancara dengan pihak terkait di PTES yang meliputi petugas di KSOP (Kantor Kesyahbandaran dan Otoritas Pelabuhan), PT Pelindo III, Balai Karantina

- d. Model pengelolaan *air ballast* kapal niaga berbasis lingkungan untuk mencegah dampak lingkungan

Logam berat yang terdapat pada *air ballast* kapal dan perairan pelabuhan dilakukan dengan pengambilan sampel dan dilakukan analisis di laboratorium, selanjutnya diberikan langkah kebijakan yang dapat diambil dengan menggunakan analisis sistem dinamis. Strategi yang disusun telah melalui tahap-tahap penggambaran sistem, perubahan gambaran ke persamaan level dan *rate*, simulasi model, desain kebijakan dan struktur alternatif, didik dan debat, implementasi perubahan dalam kebijakan dan struktur.



Tabel 4.7. Matriks Keterkaitan Tujuan Penelitian, Hipotesa, Metode, Jenis Data, Parameter/Variabel Penelitian dan Analisis Data

No.	Tujuan Penelitian	Hipotesis	Metode	Jenis Data	Parameter/Variabel	Analisis Data
1.	Menganalisis korelasi phytoplankton, zooplankton dan logam berat dalam air ballast kapal niaga dan perairan	Dikemukakan hipotesis	Kuantitatif	Data Primer & Sekunder	Parameter : fisika, kimia, logam berat, biologi Variabel biologi : kelimpahan individu (N), indeks keanekaragaman jenis (H'), indeks pemerataan (E), indeks dominansi (D), indeks saprobitas (X), indeks total saprobitas (TSI)	N, H', E, D, X, uji korelasi
2.	Mendeskripsikan implementasi awak kapal niaga dalam mematuhi Konvensi Internasional Ballast Water Managemen	Dikemukakan hipotesis	Kuantitatif	Data primer	Parameter : skala Guttman	Kuantitatif
3.	Mengembangkan strategi yang dilakukan para pihak di pelabuhan terhadap pengelolaan air ballast kapal niaga	Tidak dikemukakan hipotesis	Deskriptif	Data Primer	Parameter : faktor internal dan eksternal Variabel : jumlah kekuatan, kelemahan, ancaman dan peluang	Analisis SWOT
4.	Mengembangkan model pengelolaan air ballast kapal niaga berbasis lingkungan untuk mencegah dampak lingkungan	Tidak dikemukakan hipotesis	Deskriptif	Data Primer	Parameter : faktor internal dan eksternal Variabel : jumlah kekuatan, kelemahan, ancaman dan peluang	Analisis sistem dinamis

## I. Keterbatasan Penelitian

Penelitian tangki air *ballast* di kapal niaga memiliki keterbatasan yang meliputi 1) penelitian air *ballast* di tangki *ballast* kapal memerlukan ijin dari agen/wakil pemilik kapal untuk dapat mengizinkan naik ke kapal dalam pengambilan sampel, 2) pada kapal tanker tidak diperkenankan mengambil foto di geladak karena dapat mengakibatkan kebakaran dan membuka *manhole* saat bongkar/muat sehingga menyulitkan bagi peneliti saat akan mengambil sampel, 3) bila kondisi kapal *laden* (memuat muatan, *air ballast* di tangki *ballast* tinggal sedikit), menyulitkan bagi penyedotan sampel air *ballast* karena pompa portabel yang dibawa tidak mampu menyedot sampel air *ballast* karena kedalaman sisa air *ballast* lebih dari 9 meter sehingga sampel tidak dapat diambil, 4) apabila sampel tidak bisa diambil, dengan seizin kru bagian mesin dapat mengambil membuka aliran yang menuju ke *pressure gauge* pada pompa *Ballast*, namun hal tersebut tidak dapat mewakili kondisi tangki *ballast*, melainkan keseluruhan tangki *ballast*, 5) pengambilan sampel air *ballast* sebaiknya dilakukan tepat pada saat kapal sandar, karena bila kapal sudah mendekati pertengahan atau akhir kapal bongkar, tangki *ballast* telah/akan diisi dengan air laut dari perairan setempat, 6) pada kapal sekitar 500 DWT, sampel air *ballast* diambil dengan menggunakan *Emergency Fire Pump*, sehingga tidak mewakili satu tangki melainkan keseluruhan tangki, dikarenakan kondisi geladak yang sempit, 7) untuk mengambil sampel air *ballast* dengan membuka *manhole* pada satu tangki *ballast* memerlukan waktu minimal satu jam dan dibatasi oleh waktu

keberangkatan kapal, 8) pengambilan sampel air *ballast* dilakukan pada satu tangki *ballast* saja pada setiap kapal niaga, 9) pada pelabuhan Semarang, lebih banyak kapal yang melakukan bongkar kargo daripada memuat, sehingga lebih banyak mengambil air laut dari perairan pelabuhan Semarang daripada memuat kargo (membuang air laut dari tangki *ballast* ke perairan), 10) kapal Ro-Ro (Roll on-Roll off/kapal penumpang dan kargo) merupakan kapal untuk mengangkut kendaraan bermotor dan penumpang dimana kendaraan dapat masuk dan keluar lewat buritan kapal atau masuk lewat buritan, keluar lewat haluan kapal, dimana kapal tersebut setelah diadakan penelitian, tangki *ballast*nya tidak diisi air laut namun air tawar, contohnya KM Egon, milik PT Peln.